

Evaluation des méthodes *in-situ* des mesures de résistance à l'enfoncement et de résistance au cisaillement de la neige



Sonde de Battage [SB]



Avatech SP1 [SP1]



Snow-Micro-Pen [SMP]



Scissomètre [SC]

PILLOIX Thibault

Master 2 Pro., Institut de Géographie Alpine, Grenoble

Stage réalisé au Centre d'étude de la Neige, St Martin d'Hères

Encadrement : Pascal HAGENMULLER



Introduction

Objectifs

- Evaluer les mesures des scissomètres disponibles au CEN
- Comparer la résistance à l'enfoncement obtenue par un nouveau pénétromètre (le SP1) à celle obtenue par le pénétromètre usuel (la sonde de battage) et un pénétromètre de référence (le Snow-Micro-Pen).

Pénétromètre et scissomètre ?

Pénétromètre: mesure de la **résistance à l'enfoncement** d'une sonde dans le manteau neigeux

Scissomètre: mesure la **résistance au cisaillement** d'une strate de neige en lui appliquant un moment de torsion

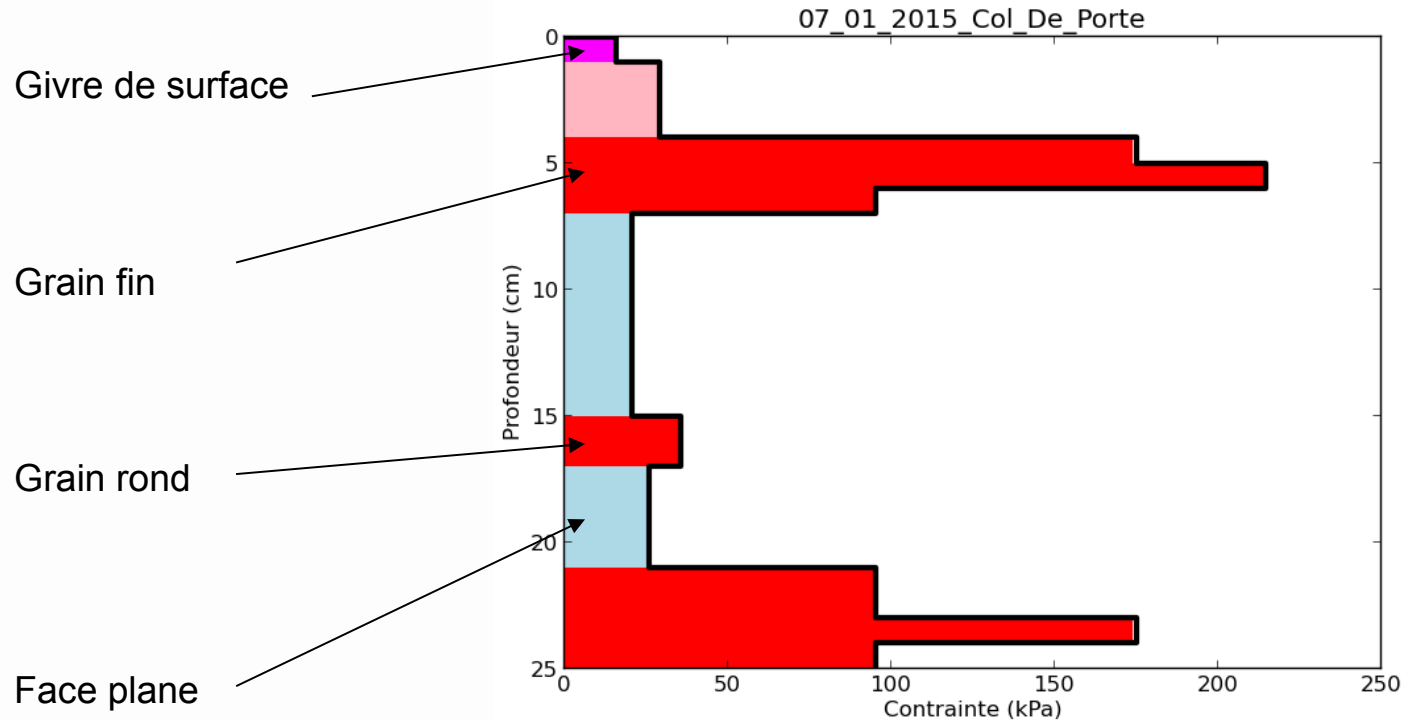
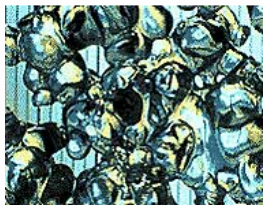
Pourquoi mesurer la résistance à l'enfoncement et au cisaillement?

→ traduit une notion de cohésion

la capacité de la neige à supporter une contrainte mécanique = aspect clef pour le prévisionniste avalanche !

Introduction

→ La cohésion est déterminée par les propriétés physiques des strates de neige (i.e. masse volumique, formes et tailles de grains)



Exemple de profil de résistance à l'enfoncement avec la sonde de battage en fonction de la stratigraphie

Introduction

→ La cohésion est un élément clef pour la stabilité du manteau neigeux

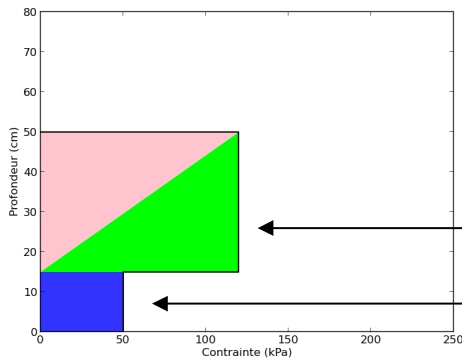
Conditions initiales :

- Pente $> 30^\circ$
- Traces de vent
- Élément déclencheur
- Une structure de plaque « friable »



Flaine, Nov. 2010

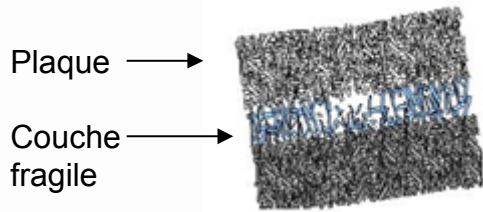
Source: T.Pilloix



Grain fin / particule reconnaissable = Plaque friable

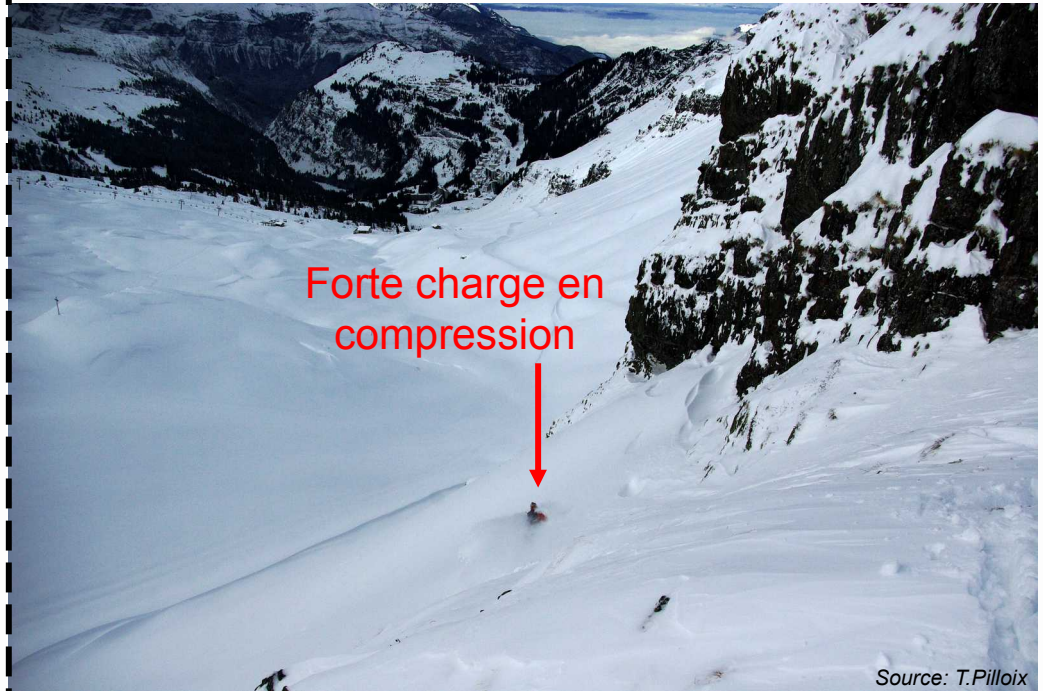
Gobelet = couche fragile

Introduction



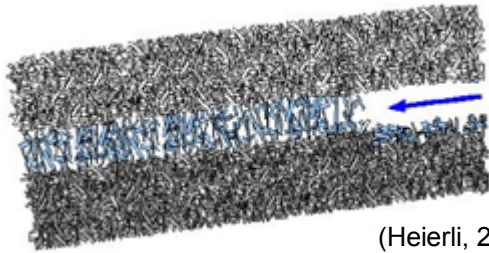
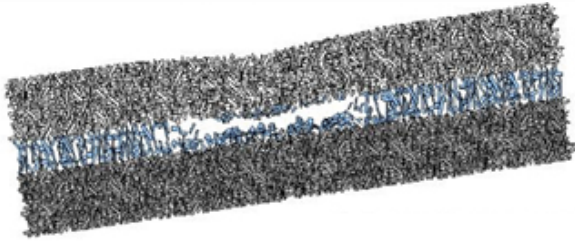
(Heierli, 2008)

→ La charge en compression est transmise par la plaque friable à la couche fragile, qui s'effondre du fait de sa très faible cohésion



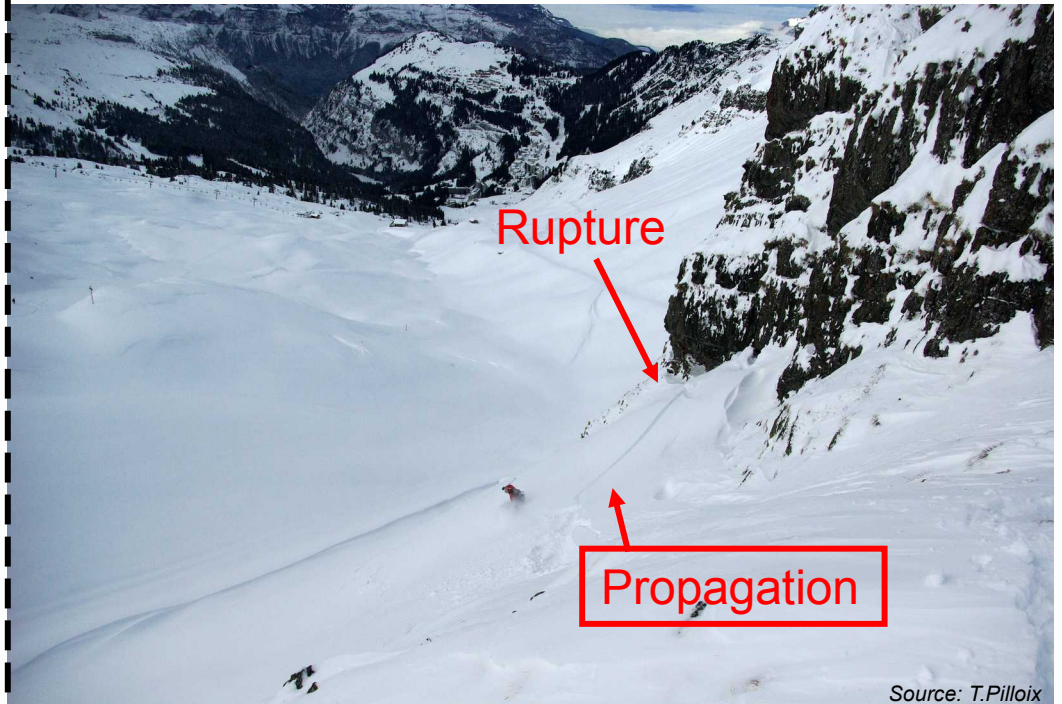
= Initiation

Introduction



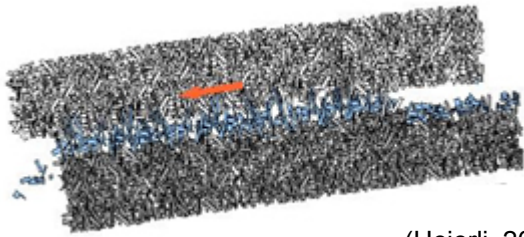
(Heierli, 2008)

→ La rupture se propage dans la couche fragile, jusqu'à un point de rupture de la plaque friable.



Source: T.Pilloix

Introduction



(Heierli, 2008)

→ Après s'être fissurée, la plaque se détache puisque la couche sous-jacente ne la retient plus.



Source: T.Pilloix

La cohésion est une notion clef pour l'analyse du risque d'avalanche

Plan de l'exposé

I – Présentation des pénétromètres

II – Méthodologie : Objectifs et protocoles de mesures

III – Comparaison

1- Approche visuelle

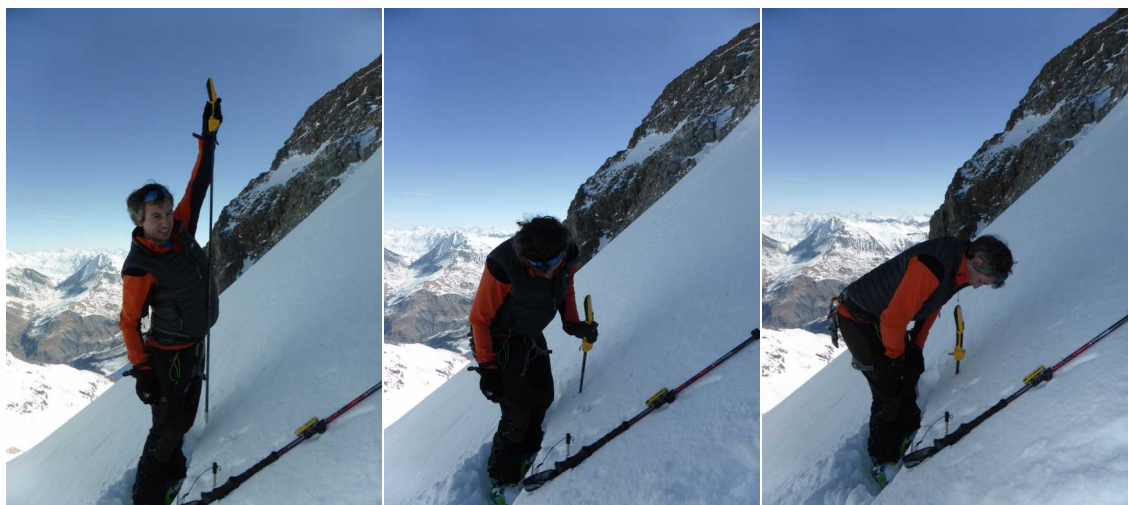
2- Mise en évidence des erreurs de
détection en profondeur

3- Résistance à l'enfoncement en fonction des tests en
compression

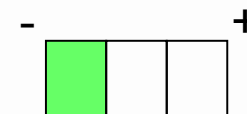
4- Comparaison des valeurs absolues de
contrainte entre SMP et SP1

Présentation des pénétromètres : le SP1

L'Avatech SP1 [SP1]



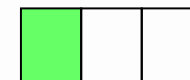
Poids :



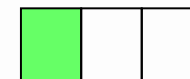
Prix :



Encombrement :



Temps de Sondage :



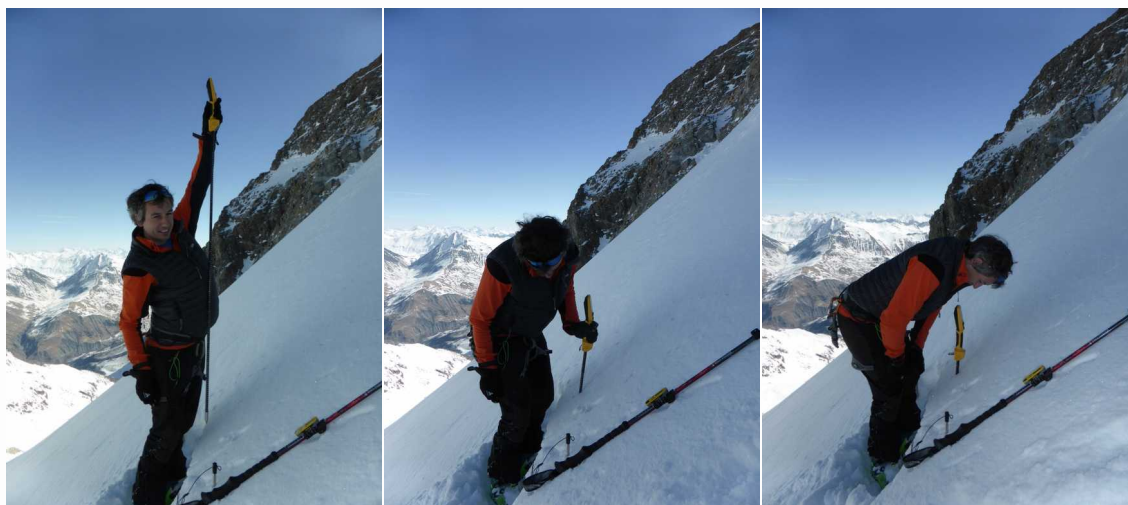
Entrainement : Manuel

Pointe (Ø): 0.544 cm

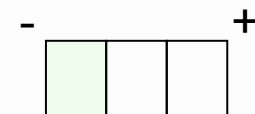
Résolution
en déplacement: 1 mesure/mm

Présentation des pénétromètres : le SP1

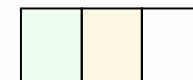
L'Avatech SP1 [SP1]



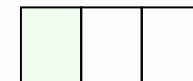
Poids :



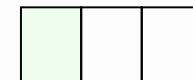
Prix :



Encombrement :



Temps de Sondage :



Entrainement : Manuel

Pointe (Ø): 0.544 cm

Résolution
en déplacement: 1 mesure/mm

→ Léger, rapide et facile
d'utilisation

→ Précision, résolution des
mesures ?

La sonde de battage [SB]

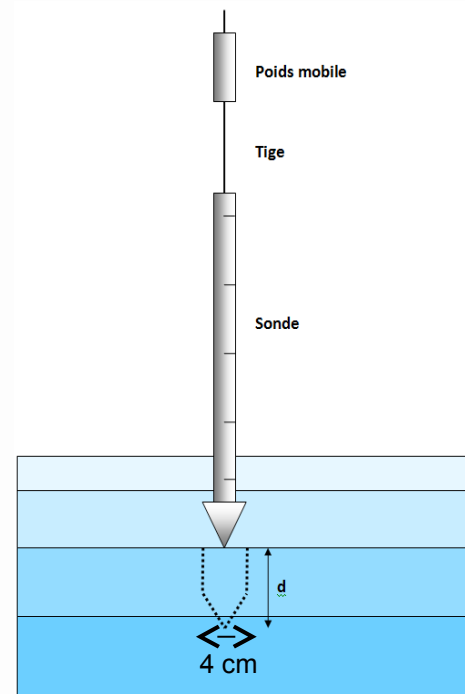


Poids :	-	+
Prix :		
Encombrement :		
Temps de Sondage :		

Entrainement : En force
(poids jeté)

Pointe (Ø): 4 cm

Résolution
en déplacement: Variable/1cm maximum



La sonde de battage [SB]



Poids :	-	+
Prix :		
Encombrement :		
Temps de Sondage :		

→ **Mesure longue et répétitive**

→ **Robuste**

Entrainement : En force
(poids jeté)

Pointe (Ø): 4 cm

Résolution
en déplacement: Variable/1cm maximum

Présentation des pénétromètres : le SMP

Le Snow-Micro-Pen [SMP]



Poids :



Prix :



Encombrement :



Temps de Sondage :



Entrainement : Automatique

Pointe (Ø): 0.5 cm

Résolution
en déplacement: 250 mesures/mm

Moteur pas à pas



Pointe
(position
initiale)

Présentation des pénétromètres : le SMP

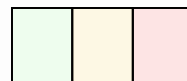
Le Snow-Micro-Pen [SMP]



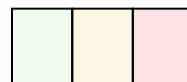
Poids :



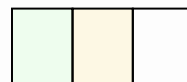
Prix :



Encombrement :



Temps de Sondage :



Entrainement : Automatique

Pointe (Ø): 0.5 cm

Résolution
en déplacement: 250 mesures/mm

→ **Lourd et encombrant**

→ **Fragile !**

→ **Résolution /Précision**

Plan de l'exposé

I – Présentation des pénétromètres

II – Méthodologie : Objectifs et protocoles de mesures

III – Comparaison

1- Approche visuelle

2- Mise en évidence des erreurs de
détection en profondeur

3- Résistance à l'enfoncement en fonction des tests en
compression

4- Comparaison des valeurs absolues de
contrainte entre SMP et SP1

Méthodologie : Objectifs et protocoles

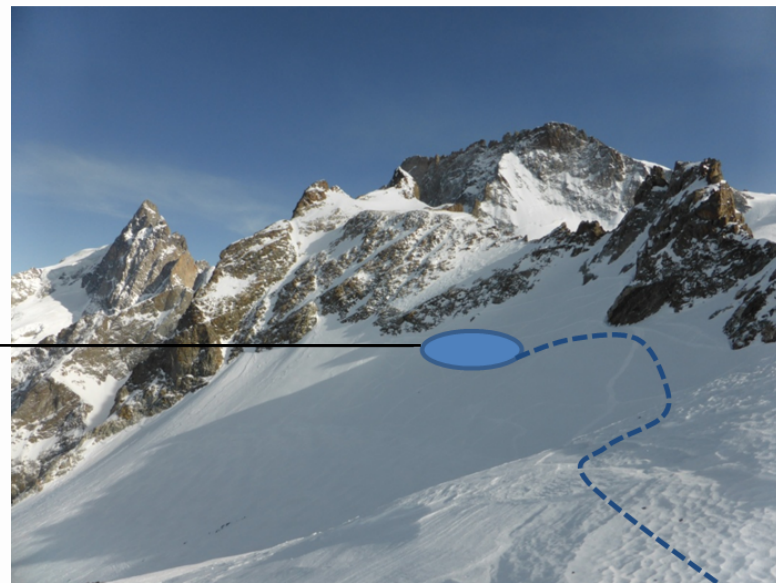
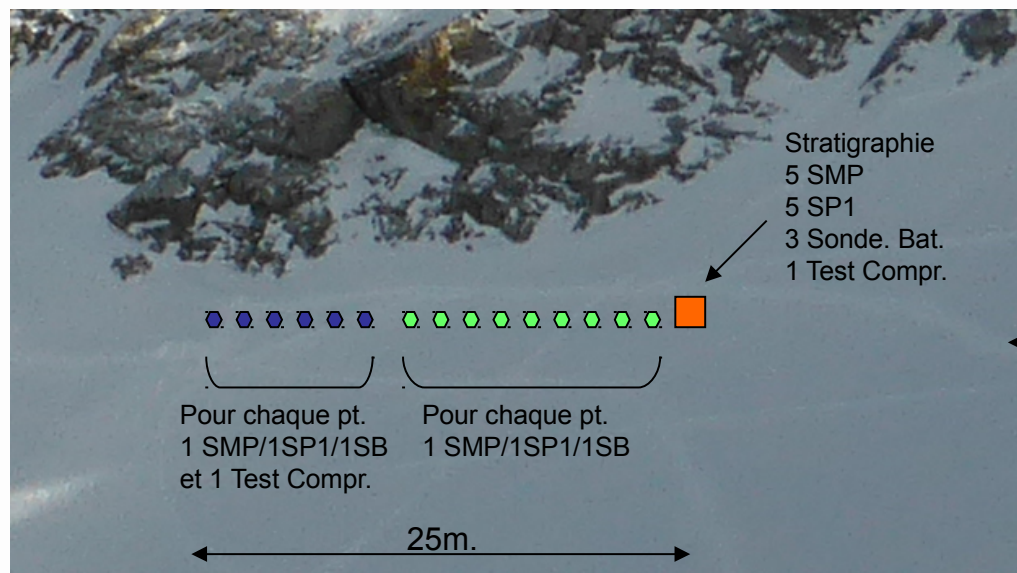
Objectif : Comparer les profils de résistance à l'enfoncement de trois pénétromètres

Protocole : établir plusieurs sondages à quelques centimètres de distance et pouvoir répéter l'opération dans l'espace

Sous-objectifs :

Les mesures sont-elles reproductibles au sein de cette zone ?

Les pénétromètres capturent-ils la même variabilité spatiale ?



Plan de l'exposé

I – Présentation des pénétromètres

II – Méthodologie : Objectifs et protocoles de mesures

III – Comparaison

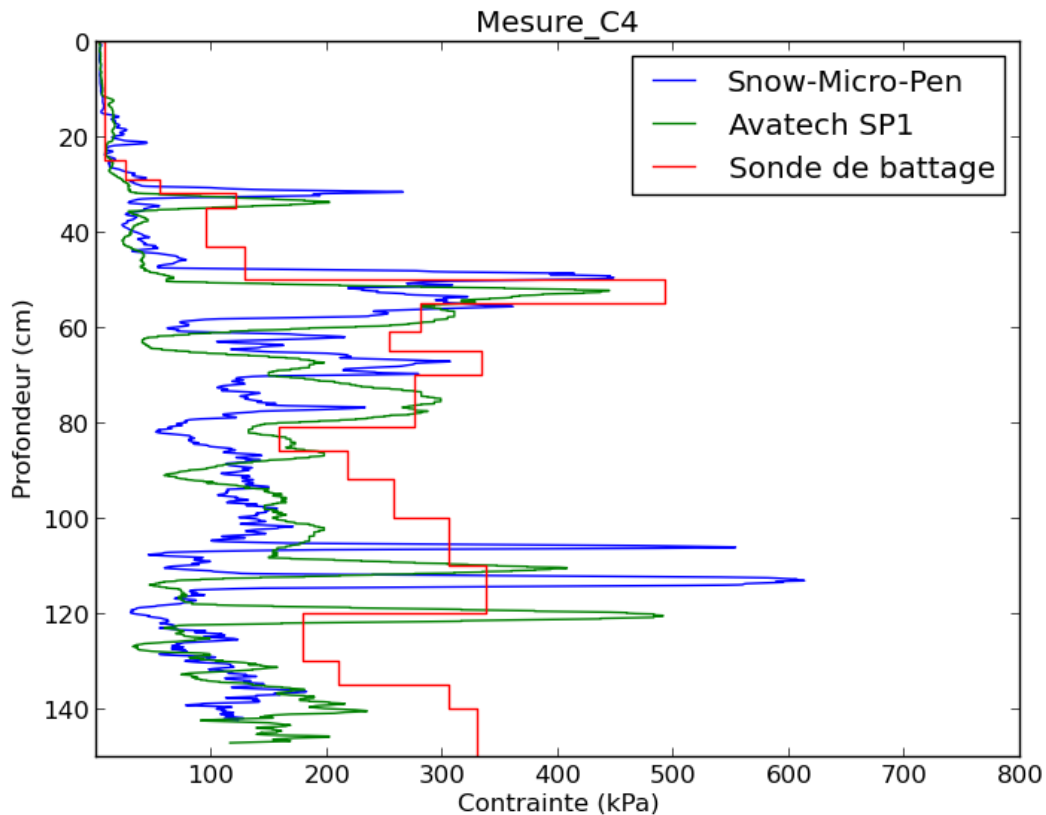
1- Approche visuelle

**2- Mise en évidence des erreurs de
détection en profondeur**

**3- Résistance à l'enfoncement en fonction des tests en
compression**

**4- Comparaison des valeurs absolues de
contrainte entre SMP et SP1**

Résultats : Comparaison (1/4)



Pré-requis : normalisation
par l'emprise de la pointe
du pénétromètre =
conversion en kPa

Approche visuelle:

SB : bonne concordance avec
SMP et SP1 mais effet de
résolution et surestimation des
contraintes

**SP1/SMP : très bonne
concordance**

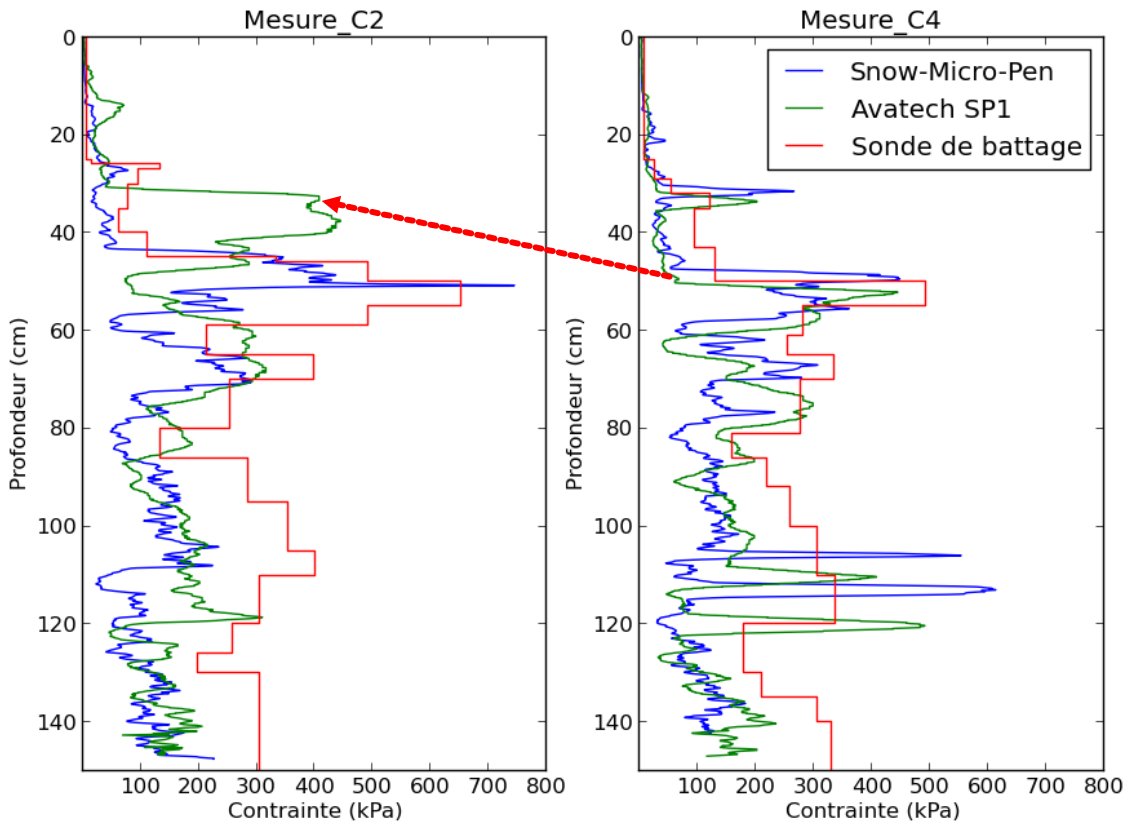
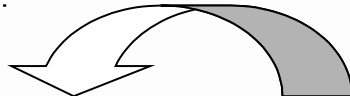
Mesure de résistance à l'enfoncement.

La Grave, Glacier de la Girose. Mars 2015

MAIS...

Résultats : Comparaison (1/4)

4m40 entre les deux points
de mesures



Pas systématiquement !

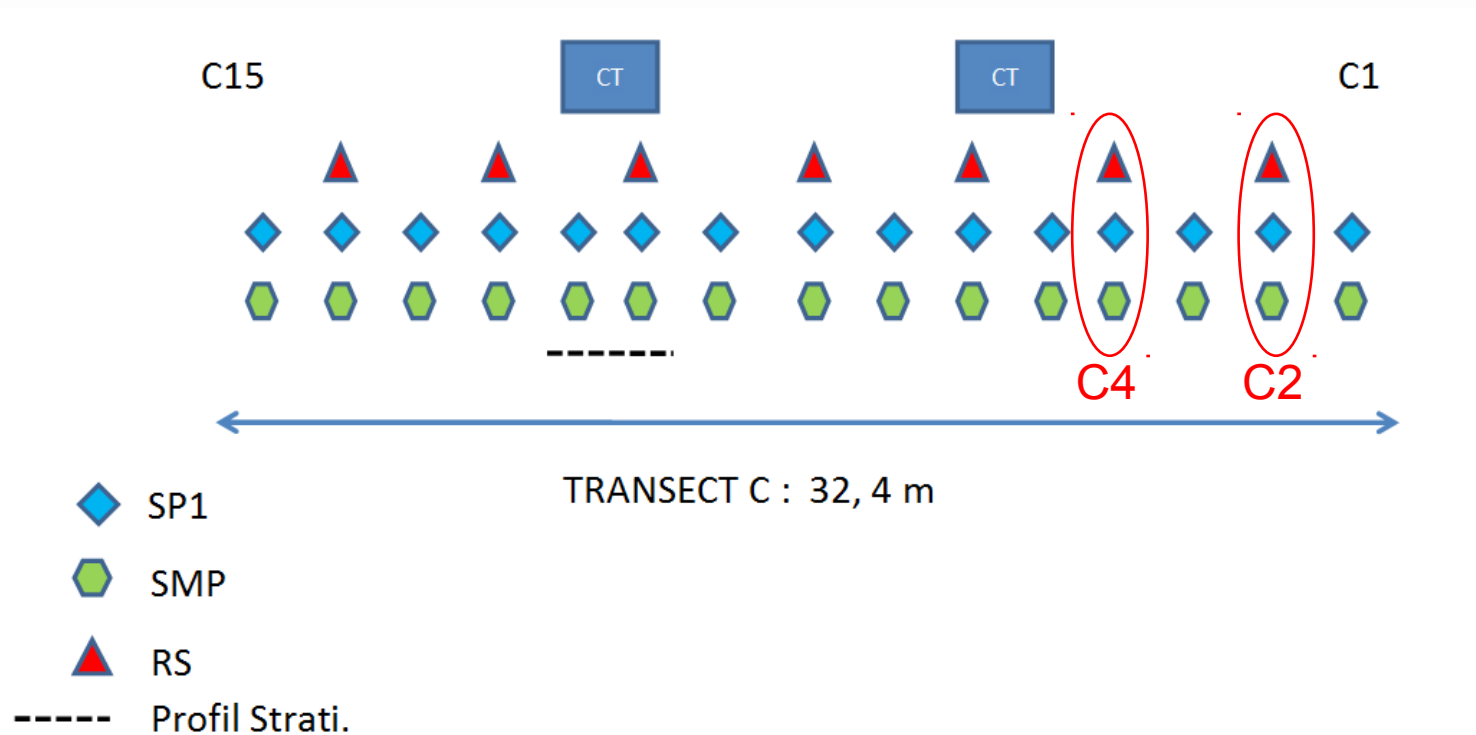
SP1 : Mauvaise détection
de la position spatiale des
couches.

→ Le SMP = référence du
fait de son moteur pas a
pas (entrainement
automatique)

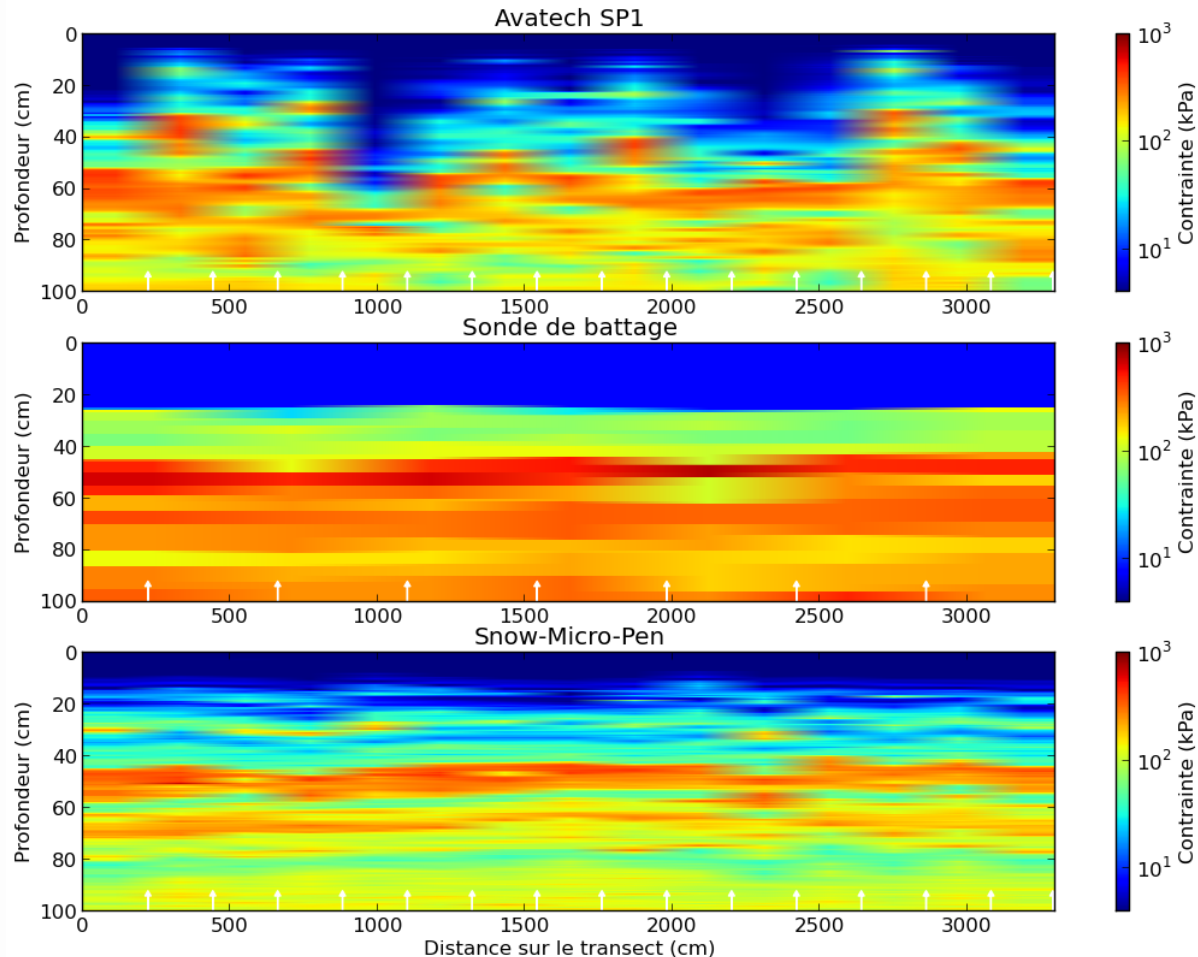
Mesure de résistance à l'enfoncement.

La Grave, Glacier de la Girose. Mars 2015

Résultats : Comparaison (1/4)



Résultats : Comparaison (2/4)



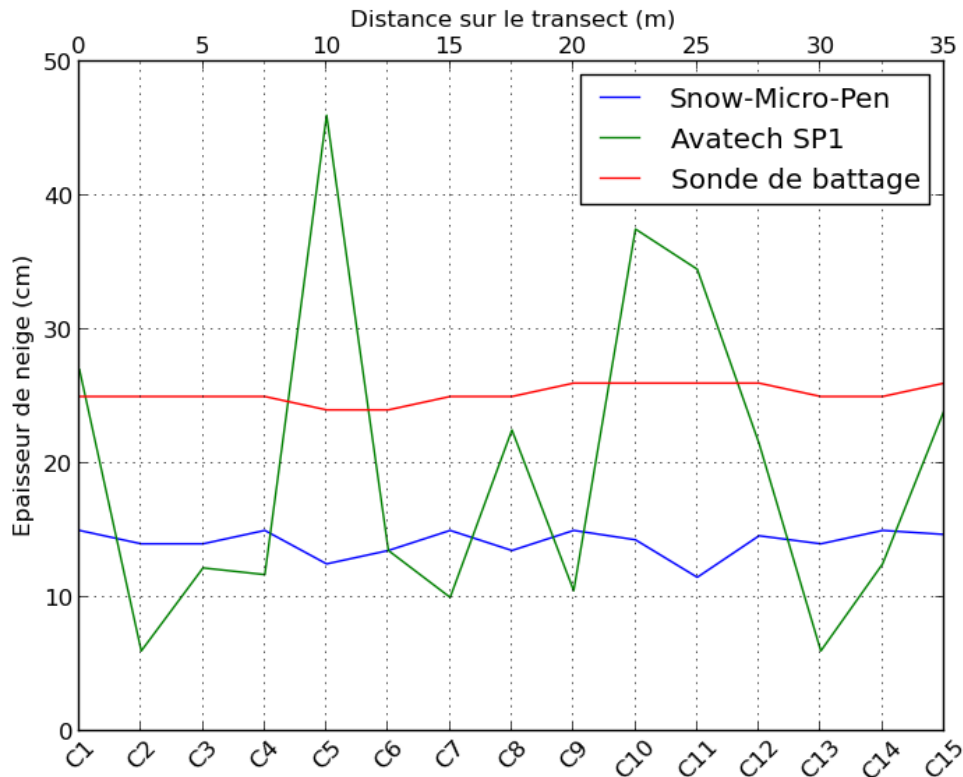
Le transect C :

Un manteau neigeux non perturbé par des accumulations récentes liées au vent.

Une continuité spatiale représentée par la sonde de battage et le SMP **mais pas par le SP1**

Extrapolation spatiale des mesures de sondage effectuées sur un transect de 32,4 m

Résultats : Comparaison (2/4)



Epaisseur de neige tendre en surface (< 8 kPa)

- Erreur du SP1 = écart-type de 12,5 cm concernant la détection en profondeur
- Biais systématiques entre SMP et SB : Poids et inertie de la sonde de battage

Résultats : Comparaison (3/4)

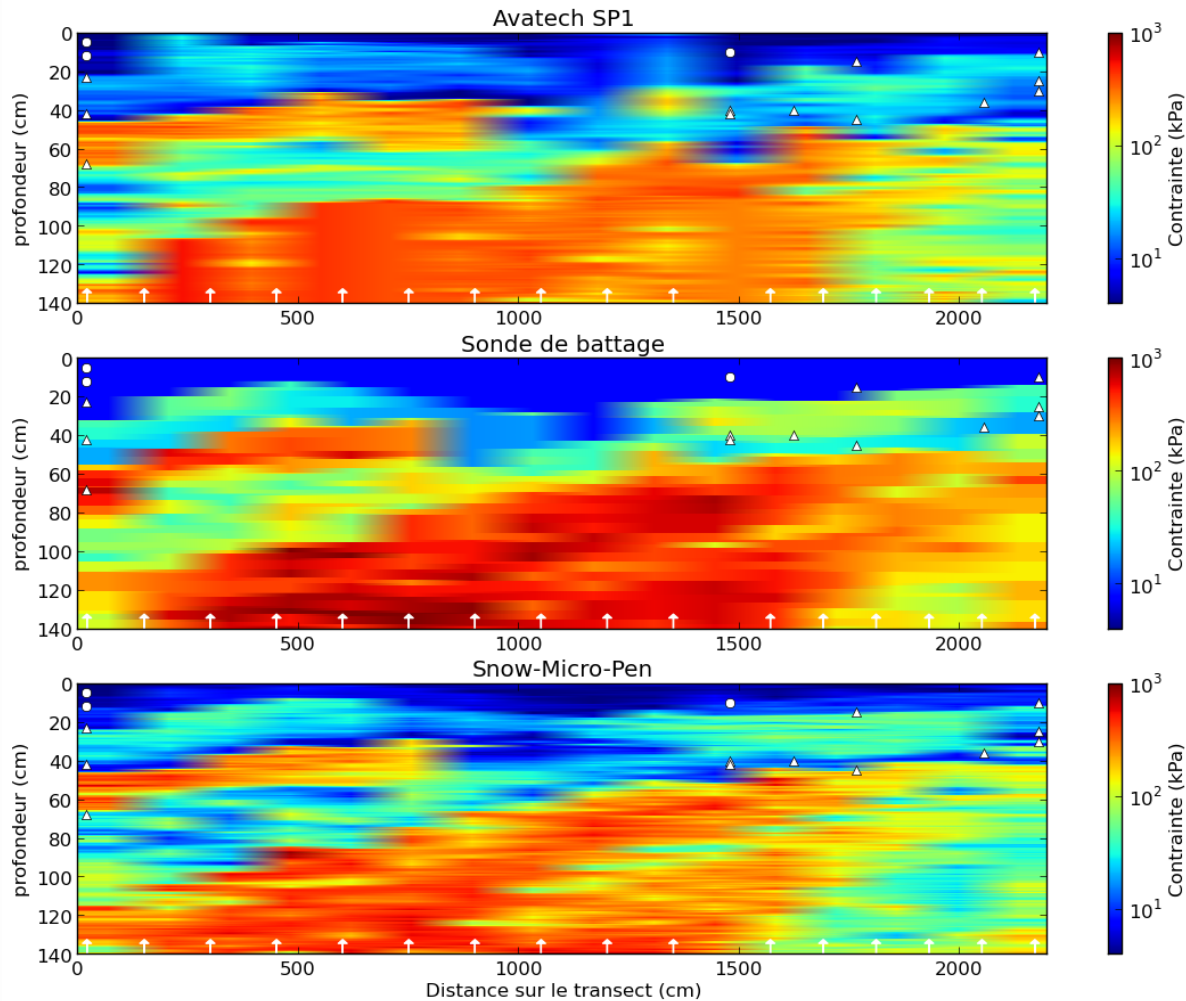
La détection des fines couches fragiles, un enjeu clef pour les pénétromètres électroniques



Le test en compression → un test de stabilité qui permet de repérer la position de couches fragiles et la facilité avec laquelle une fracture peut être initiée dans ces couches

Mesure de test en compression.
La Grave, Glacier du Vallon. Mars 2015

Résultats : Comparaison (3/4)



SB : Aucune interfaces détectées dans la neige de surface.

SMP: Détection des couches fragiles et concordance avec variabilité spatiale

SP1 : Détection des couches fragiles mais imprécision pour appréhender leurs variabilités spatiales.

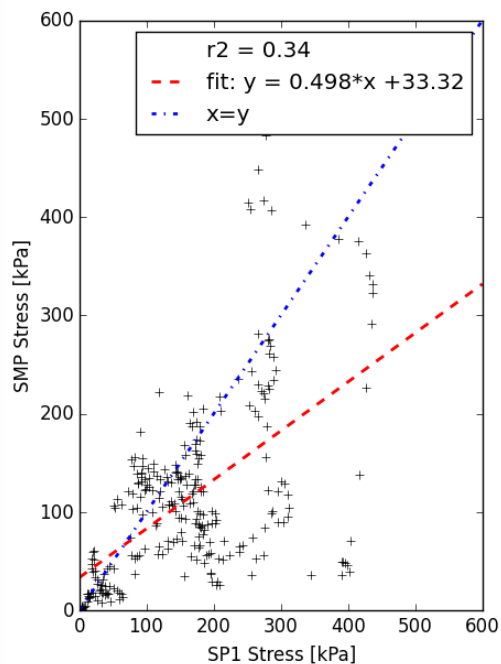
Test en compression :

Rond = Coups de 1 à 10

Triangle = Coups de 10 à 20

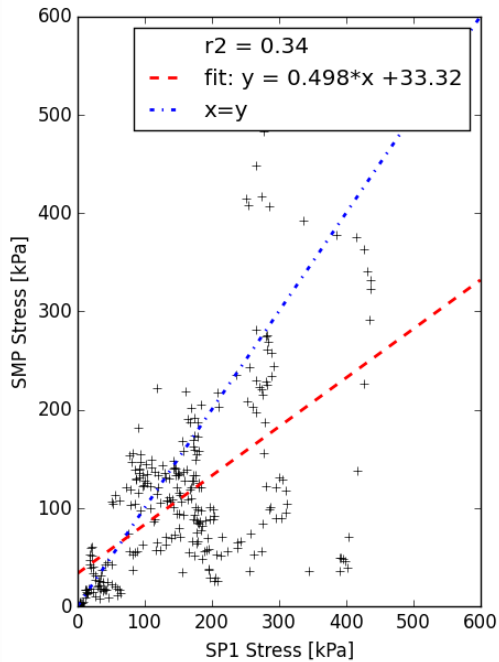
Résultats : Comparaison (4/4)

Valeurs moyennes de
contrainte du SMP en
fonction du SP1



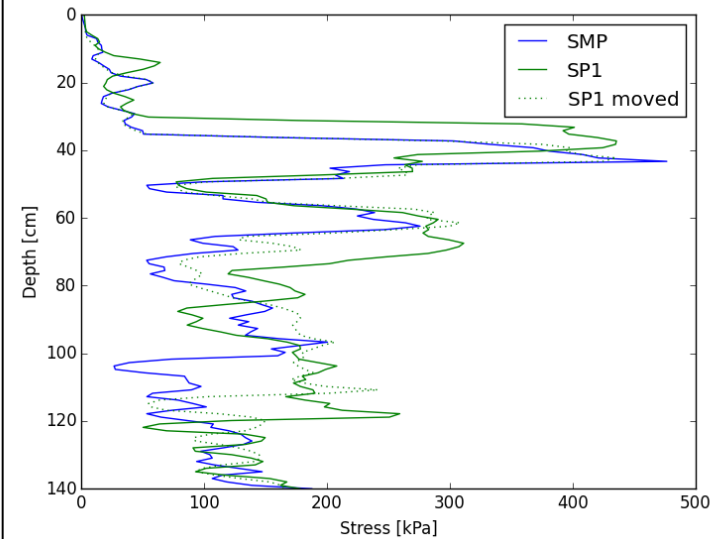
Résultats : Comparaison (4/4)

Valeurs moyennes de contrainte du SMP en fonction du SP1



Méthode

Ajuster le profil de SP1 avec une dilation/contraction de $\pm 50\%$ pour chaque intervalle de 1 cm.

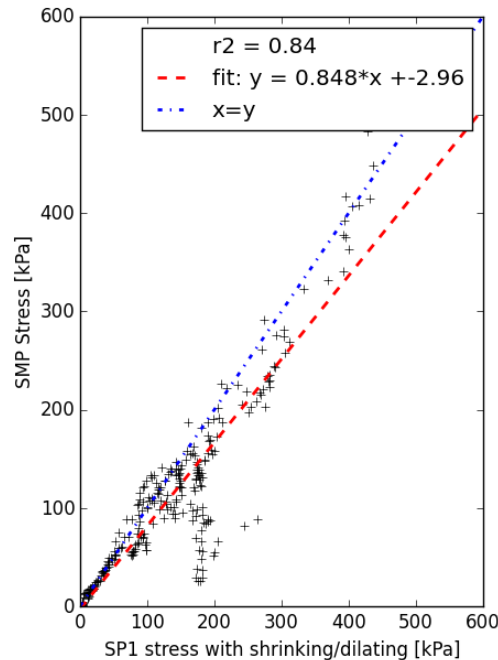
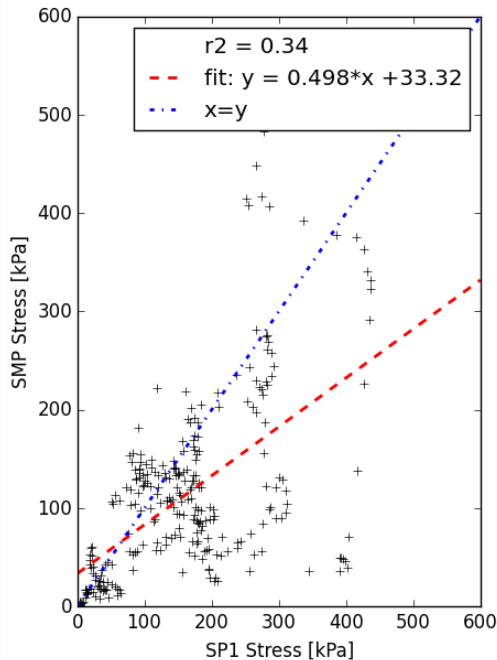


= forçage de la correspondance en profondeur des signaux de SMP et SP1 pour limiter la dispersion du nuage de points.

Résultats : Comparaison (4/4)

Valeurs moyennes de contrainte du SMP en fonction du SP1

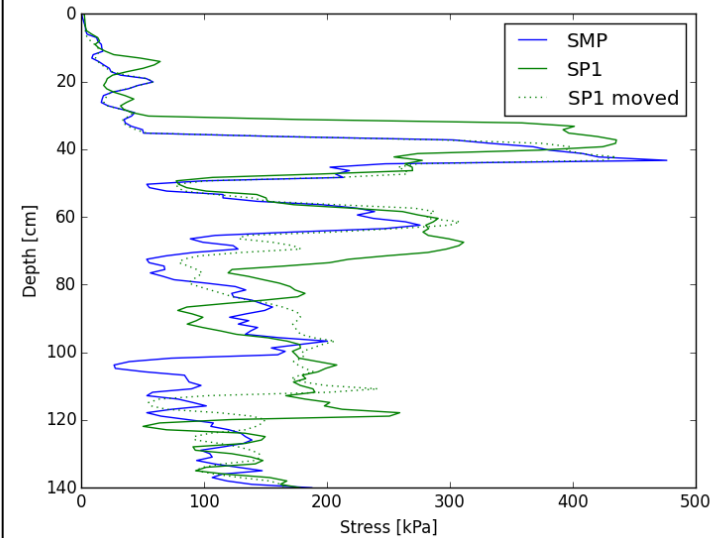
Valeurs moyennes de contrainte du SMP en fonction des valeurs de SP1 ajustées



→ Très bonne correspondance des valeurs absolues

Méthode

Ajuster le profil de SP1 avec une dilation/contraction de $\pm 50\%$ pour chaque intervalle de 1 cm.



= forçage de la correspondance en profondeur des signaux de SMP et SP1 pour limiter la dispersion des nuages de points.

CONCLUSION

Le SP1, un instrument de sondage très léger et facile d'utilisation qui représente un **réel progrès pour l'utilisation *in-situ***. Il se situe, en terme de capacité de mesure, entre le SMP et la sonde de battage:

-Une meilleure résolution verticale que la sonde de battage
détection des fines couches fragiles et des interfaces dans les strates très peu cohésives

-Une précision sur la profondeur des strates largement inférieure au SMP (et à la sonde de battage)

Erreur dans la position spatiale des couches (e.g. 12,5 cm pour le transect C)

Perspective : Vers une diffusion du SP1 dans le réseau d'observateur nivométéorologue ?

Il offre une représentativité ponctuelle non optimale mais il permet de multiplier les mesures et donc de tendre à améliorer la représentativité spatiale du manteau neigeux.

Merci de votre attention

Production scientifique :

-Soumission d'un article technique (rubrique science) pour la revue *neige et avalanche* (ANENA)

-Présentation des résultats aux ateliers de la nivologie (St Martin d'Hères, 23/06/2015)

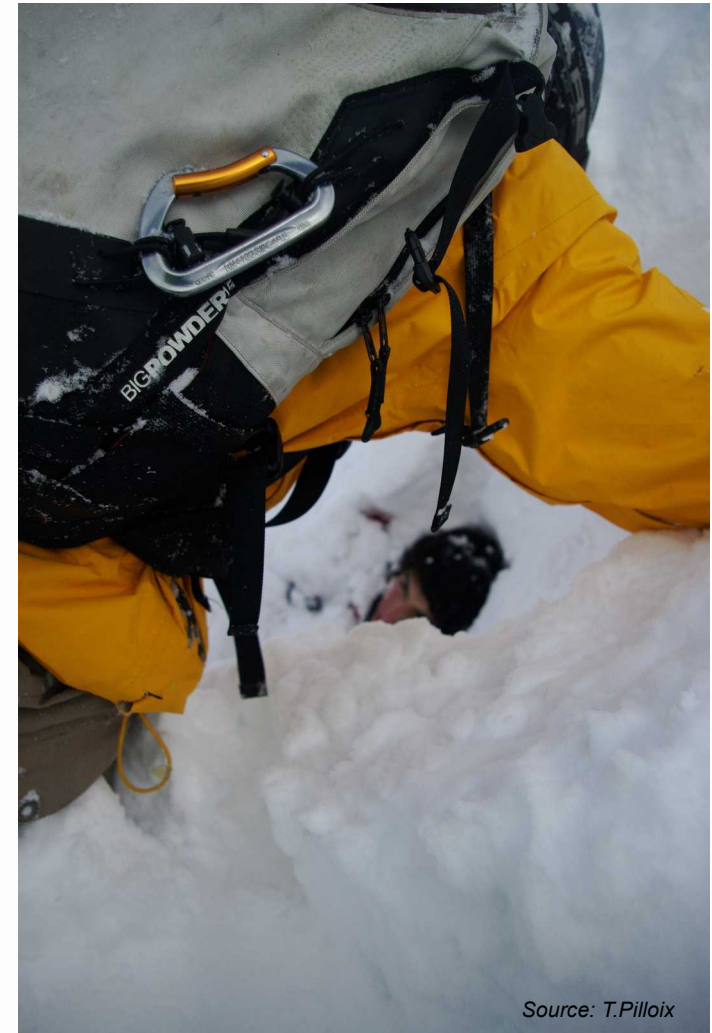
Christian J., Whittemore S., Markle B., Laakso T., Sohn A., 2014. Avatech: Avonet- Crowdsourced, real-time snowpack information. *Proceedings, International Snow Science Workshop, Banff*

Lehning, M., Fierz, C., Lundy, C., 2001. An objective snow profile comparison method and its application to SNOWPACK. *Cold Reg. Sci. Technol.* 33, 253– 261.

Lutz E., Marshall H., 2014. Validation study of Avatech's rapid snow penetrometer, SP1. *Proceedings, International Snow Science Workshop, Banff.*

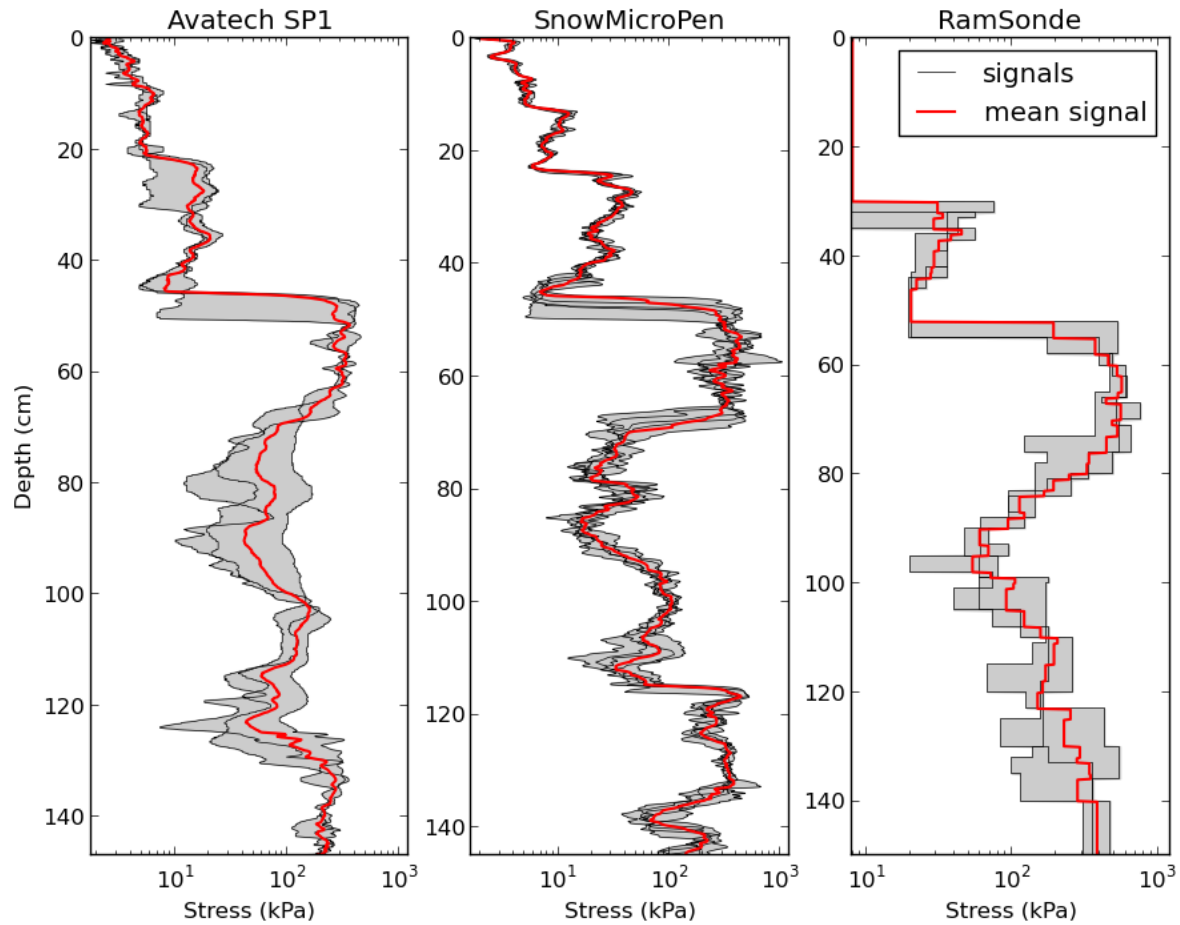
Pielmeier C., Schneebeli M., 2003. Stratigraphy and changes in hardness of snow measured by hand, ramsonde and snow micro penetrometer: a comparison with planar sections. *Cold Reg. Sci. Technol.* 37, 393– 405

Schneebeli, M., Johnson, J.B., 1998. A constant-speed penetrometer for high-resolution snow stratigraphy. *Annals of glaciology*, 26, 107-111

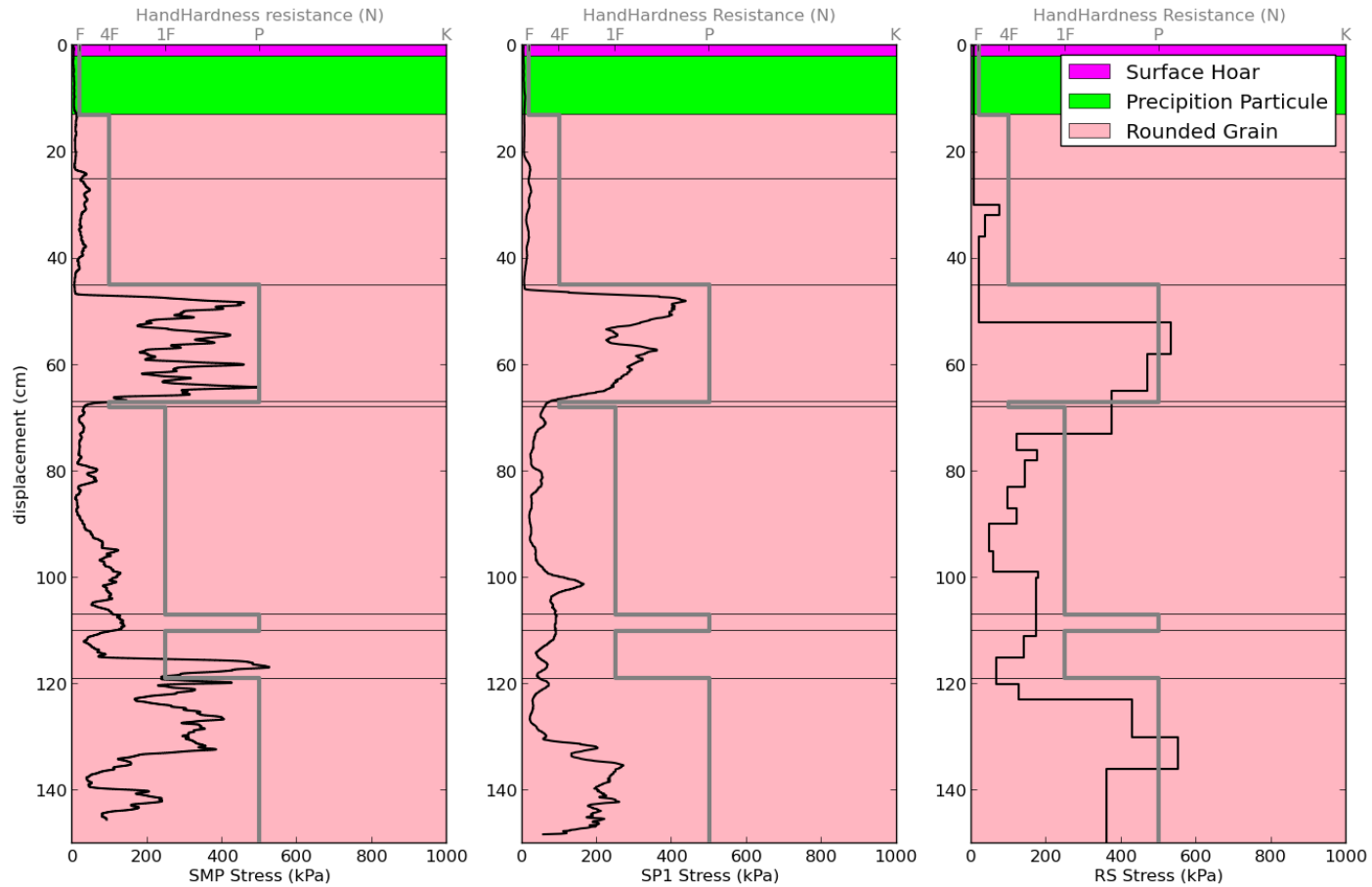


Source: T.Pilloix

ANNEXES



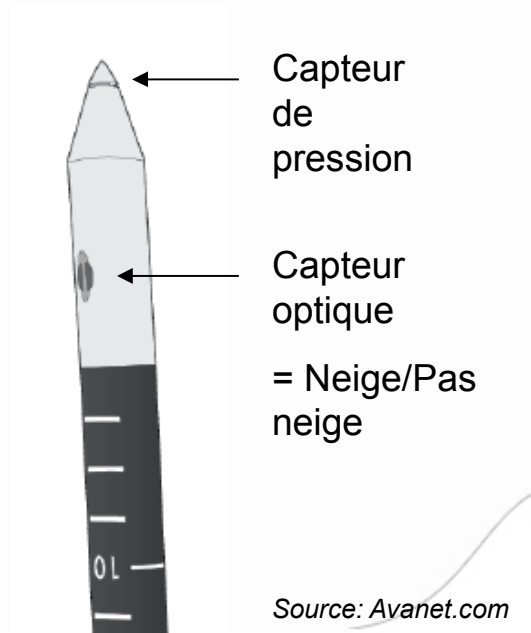
ANNEXES



ANNEXES

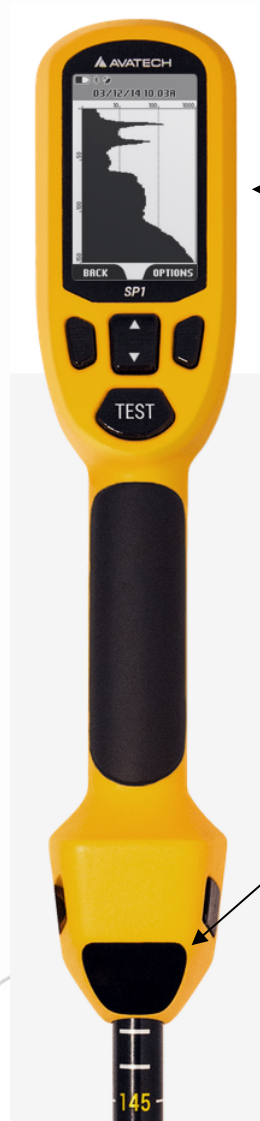


1.70 m



Capteur de pression

Capteur optique
= Neige/Pas neige



Console de manipulation/
visualisation

Capteur infrarouge
= profondeur