

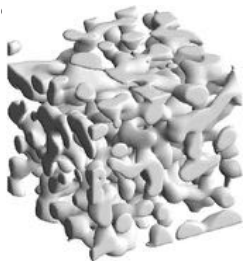
Relations empiriques entre propriétés microstructurelles de la neige et résistance à l'enfoncement: analyses sur deux jeux de données.

Rémi GRANGER
Encadrants: Pascal Hagenmuller et Laurent Arnaud

21 Juin 2016



Microstructure : une caractéristique clé du manteau neigeux.



Flin et al. (2003)

Géométrie :

- Types de neige (formes),
- Connectivité,
- Tortuosité,
- Courbure,
- Surface spécifique (SSA),
- Masse volumique.

⇒ Variables pour :

- Surface d'échange,
- Circulation de la vapeur
- Cohésion,
- Propriétés optiques (réflexion),
- ...

Pénétrométrie



Sonde de battage



Snow MicroPen (SMP)

- Tests classiques (Sonde de battage)
- Rapide (Pas besoin de creuser)
- Sonde de battage : robuste et simple
- SMP : précision, signal riche

- Liens avec la géométrie ?
- A quoi la résistance à l'enfoncement est-elle sensible ?
- Contribution de la haute résolution ?

2 jeux de données :

Base de Données NIVologique (BD-NIV)

- Large
- Variables usuelles
- Observations opérationnelles

Propres données de terrain

- Observations usuelles
- SMP, SP2
- SSA par méthodes optiques : DUFISSS, ASSSAP
- Masse volumique à plus haute résolution
- Meilleures connaissances des conditions d'observations

- 1 Introduction
- 2 Analyse de BD-NIV et MEPRA
 - Descriptions de BD-NIV et MEPRA
 - Analyse de facteurs
 - Comparaison MEPRA/BD-NIV
- 3 Interprétation des signaux de résistance à l'enfoncement
- 4 Conclusion

BD-NIV : Base de Données NIVologique

Géométrie

- Types de grains
- Taille observée
- Masse volumique

Température, TEL ?



Résistance à l'enfoncement

- Résistance au battage
- Dureté manuelle (*HH*)

BD-NIV : observations classiques du manteau neigeux

- Jeu de donnée important (\simeq 400 000 couches)
- Longue période (1983 - 2014), par pisteurs principalement

⇒ Statistiquement représentatif

MEPRA : Modèle Expert d'Aide à la Prédiction du Risque d'Avalanche

Géométrie

- Types de grains
- Taille observée
- Masse volumique

Température, TEL ?



Résistance à l'enfoncement

- Résistance au battage
- Dureté manuelle (*HH*)

MEPRA

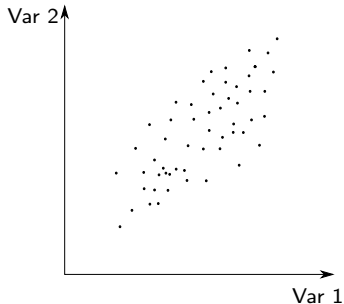
- Relie déjà ces variables (mais pour la prédiction du risque)
- Observabilité de ces liens dans la BD-NIV ?
- Améliorations éventuelles de ces relations ?

Analyse de facteurs : qu'est-ce qui différencie les couches dans la BD-NIV ?

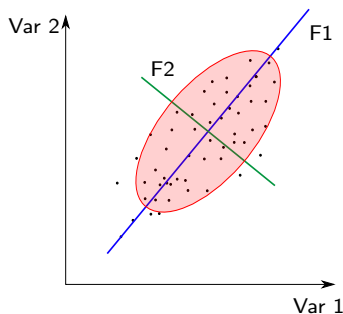
Analyse statistique pour comprendre la structure d'un jeu de données

- Extrait les traits caractéristiques de la neige
- Décrit traits à travers leurs corélations avec les variables mesurables

Analyse de facteur : procédure utilisée

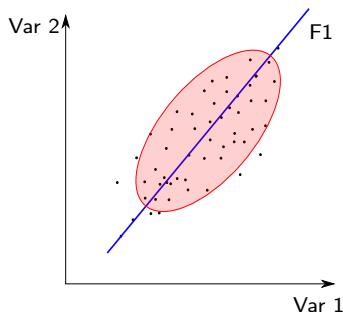


Analyse de facteur : procédure utilisée



- 1 Factorisation par composante principale : ajustement d'une ellipsoïde au nuage de points

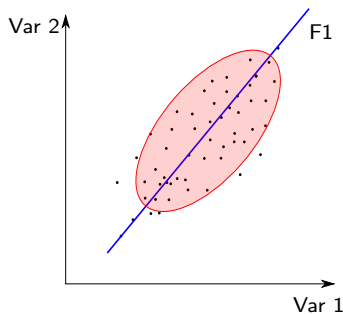
Analyse de facteur : procédure utilisée



- 1 Factorisation par composante principale : ajustement d'une ellipsoïde au nuage de points
- 2 Sélection des axes les plus longs (c.-à-d. avec une variance expliquée significative¹)

1. Critère de Kaiser utilisé

Analyse de facteur : procédure utilisée

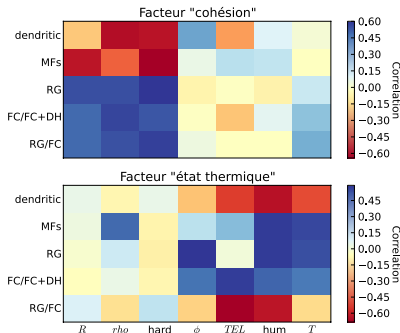


- 1 Factorisation par composante principale : ajustement d'une ellipsoïde au nuage de points
- 2 Sélection des axes les plus longs (c.-à-d. avec une variance expliquée significative¹)
- 3 Expression de ces "facteurs" en termes de variables d'origines (coefficient de corrélation).

1. Critère de Kaiser utilisé

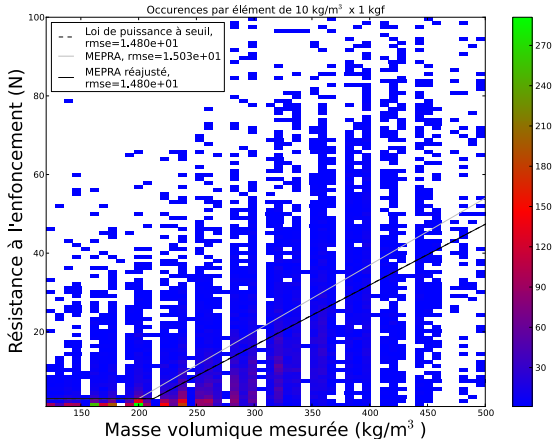
Résultats de l'analyse de facteurs

Pour tous les types de neige : 2 facteurs obtenus



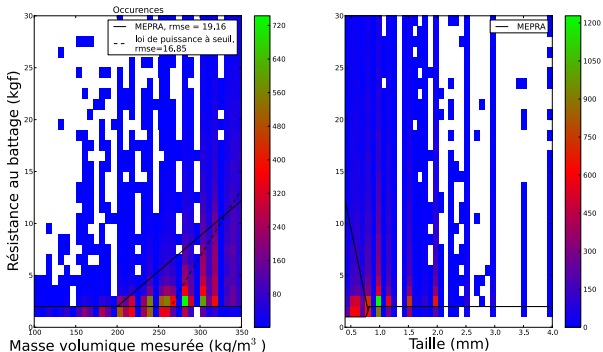
La résistance à l'enfoncement co-varie avec ρ et HH (dureté manuelle), mais pas avec la taille (ϕ) comme archivée dans la BD-NIV

Grains fins



Une relation linéaire à seuil telle que présente dans MEPRA permet de reproduire l'évolution générale.

Faces planes ou faces planes/givre de profondeur



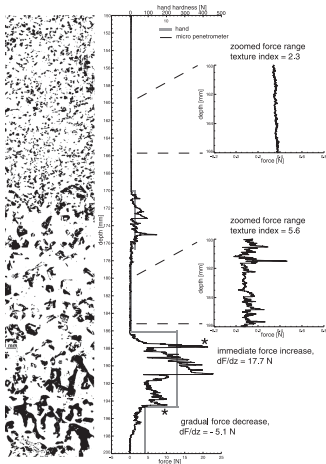
MEPRA : résistance au battage = $f(\rho, \text{taille})$.

BD-NIV : résistance au battage = $f(\rho)$.

→ Pertinence de la taille des grains observée à l'oeil ? Est-ce une variable informative ? → Si oui, pertinence de la règle ?

- 1 Introduction
- 2 Analyse de BD-NIV et MEPRA
- 3 Interprétation des signaux de résistance à l'enfoncement**
 - État de l'art
 - Campagne de mesures de terrain
 - Résultats
- 4 Conclusion

Signal SMP

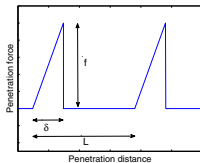
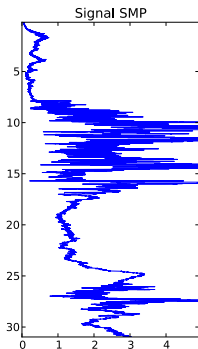


Pielmeier and Schneebeli (2003)

- Résistance en fonction de la profondeur
- 250 mesures/mm
- Signal riche : a priori contient des informations physiques

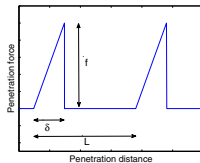
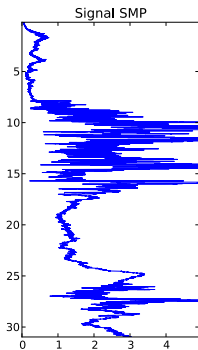
But : extraire ces informations

Modèle bruit de grenaille : (Löwe and van Herwijnen (2012))

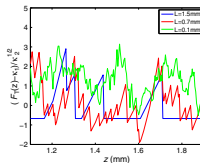


- Résistance : ruptures élastiques fragiles

Modèle bruit de grenaille : (Löwe and van Herwijnen (2012))

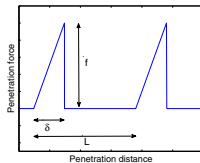
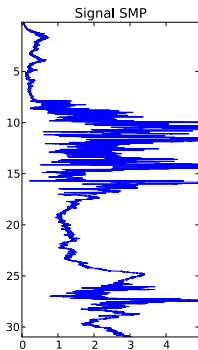


↕ Löwe and van Herwijnen (2012)

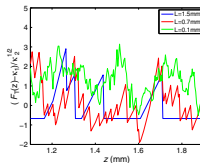


- Résistance : ruptures élastiques fragiles
- Signal \leftrightarrow superpositions aléatoires des ruptures individuelles

Modèle bruit de grenaille : (Löwe and van Herwijnen (2012))



↕ Löwe and van Herwijnen (2012)



- Résistance : ruptures élastiques fragiles
- Signal \leftrightarrow superpositions aléatoires des ruptures individuelles
- Statistique du signal (moments + autocorrélations)
 $\hookrightarrow \delta, L$ et f .

Lien avec les variables physiques : Proksch et al. (2015)

Modèle statistique de $\rho^{(smp)}$ and $l_c^{(smp)}$

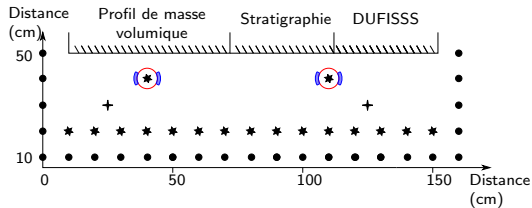
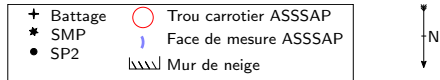
$$\rho^{(smp)} = a_1 + a_2 \ln \tilde{f} + a_3 / \ln \tilde{f} + a_4 L$$

Pores de taille et de formes aléatoires $\Rightarrow SSA = \frac{4 * (1 - \frac{\rho}{\rho_{ice}})}{l_c}$

Debye et al. (1957)

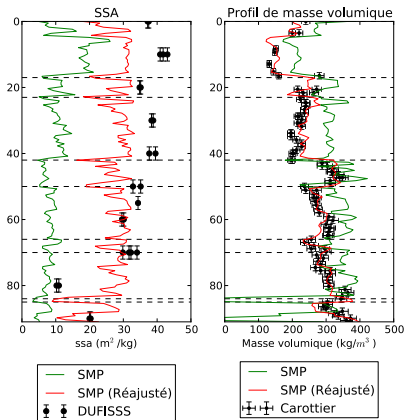
$$SSA^{(smp)} = \frac{4 * (1 - \frac{\rho^{(smp)}}{\rho_{ice}})}{c_1 + c_2 \ln \tilde{f} + c_3 L}$$

Campagne de mesure

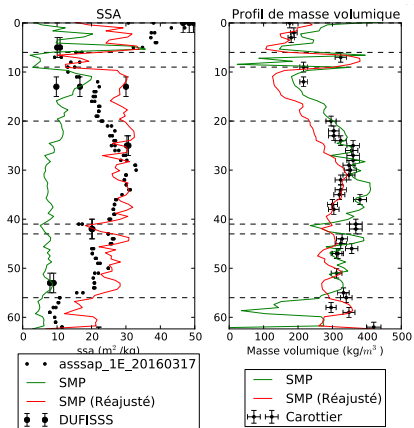


5 jours (2 col de porte , 3 Col du Lautaret)

Résultats sur nos données : cas extrêmes

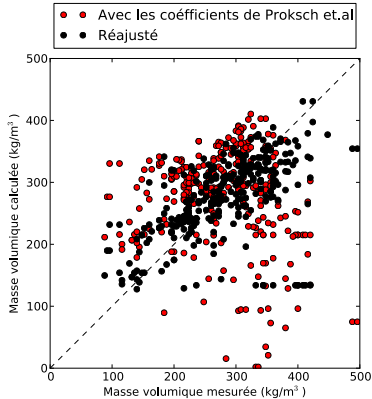


18/02/2016 : Col du Lautret

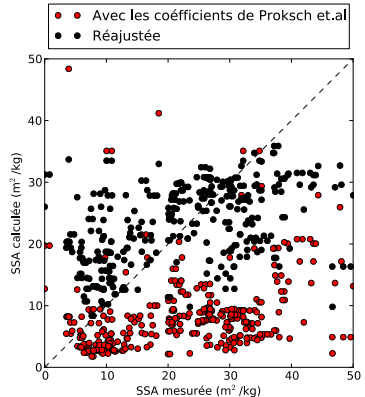


17/03/2016 : Col du Lautret

Résultats sur nos données : précision sur l'ensemble

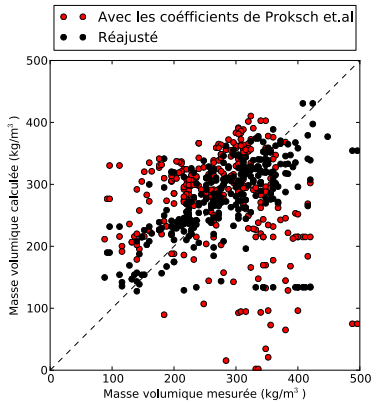


Masse volumique, RMSE = 61 kg m^{-3}

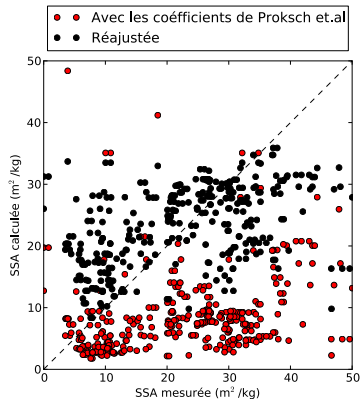


SSA, RMSE = $12 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$

Résultats sur nos données : précision sur l'ensemble



Masse volumique, RMSE = 61 kg m^{-3}



SSA, RMSE = $12 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$

Proksch et al. (2015) : ρ : 35.9 kg m^{-3} , SSA : $3.69 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$

Humidité	type de grains	points	RMSE (kg m ⁻³)
1	tous	178	47.6
>1	tous	139	67.5
toutes	fins	226	41.2
toutes	ronds	53	48
1	fins	167	41.7
>1	fins	59	37
>1	ronds	47	45

→ Plus précis sur les grains fins sec ou peu humides. Le grains ronds sont souvent trop humides pour appliquer l'algorithme.

- SMP donne uniquement une estimation grossière de ρ avec cette paramétrisation.
- SSA non retrouvée sur nos données : besoin de le mesurer avec les méthodes optiques standard.

- SMP donne uniquement une estimation grossière de ρ avec cette paramétrisation.
 - SSA non retrouvée sur nos données : besoin de le mesurer avec les méthodes optiques standard.
- Est-il possible d'améliorer l'estimation de la masse volumique ρ ?
- Si oui, la haute résolution est-elle nécessaire ?

- SMP donne uniquement une estimation grossière de ρ avec cette paramétrisation.
- SSA non retrouvée sur nos données : besoin de le mesurer avec les méthodes optiques standard.

→ Est-il possible d'améliorer l'estimation de la masse volumique ρ ?

→ Si oui, la haute résolution est-elle nécessaire ?

Premiers résultats : à f fixé, ρ diminue avec la SSA pour les grains fins : augmentation avec la taille des grains

Conclusion

- Résultats classiques : ρ corrélé principalement à f
- SSA n'a pas été obtenue avec le SMP.
- L'utilisation d'une variable représentant la notion de taille des grains devrait améliorer les estimations de la masse volumique, mais difficile à définir et mesurer.
- La précision de l'interprétation du signal varie entre les différents profils

Bibliographie I

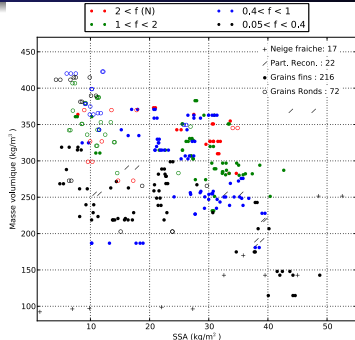
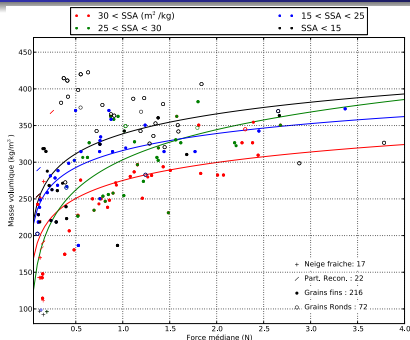
- Debye, P., Anderson, H. R., and Brumberger, H. (1957). Scattering by an inhomogeneous solid ii. the correlation function and its applications. *Journal of Applied Physics*, 28 :679–683.
- Flin, F., Brzoska, J.-B., Lesaffre, B., Coléou, C., and Pieritz, R. A. (2003). Full three-dimensional modelling of curvature-dependent snow metamorphism : first results and comparison with experimental tomographic data. *J. Phys. D : Appl. Phys.*, 36 :A49–A54.
- Löwe, H. and van Herwijnen, A. (2012). A poisson shot noise model for micro-penetration of snow. *Cold Regions Science and Technology*, 70 :62–70.

Bibliographie II

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

Proksch, M., Löwe, H., and Schneebeli, M. (2015). Density, specific surface area and correlation length of snow measured by high resolution penetrometry. *Journal of geophysical research*.

Combinaison des mesure de SMP et de SSA pour l'estimation de ρ



Tendances pour les grains fins : Grains ronds

- $\rho \leftrightarrow \ln(f)$

- $\rho \leftrightarrow -\text{SSA} (\simeq \text{taille})$

→ humidité?