

# Détection et suivi des interfaces à potentiel d'instabilité du manteau neigeux à l'aide d'un radar portatif

Par

Jacob Laliberté



AVALANCHE QUÉBEC



# Introduction

- Popularité plein air augmente (ski, motoneige, escalade, etc.)
  - Pratiqués en montagne sur terrains pentus et enneigés
  - Pentes 30 à 45°
  - Exposent les pratiquants aux dangers d'avalanche



Ref : <http://nyskiblog.com>



Ref : <http://decouvertesmag.com>



Ref : <http://www.motoneigeauquebec.com>

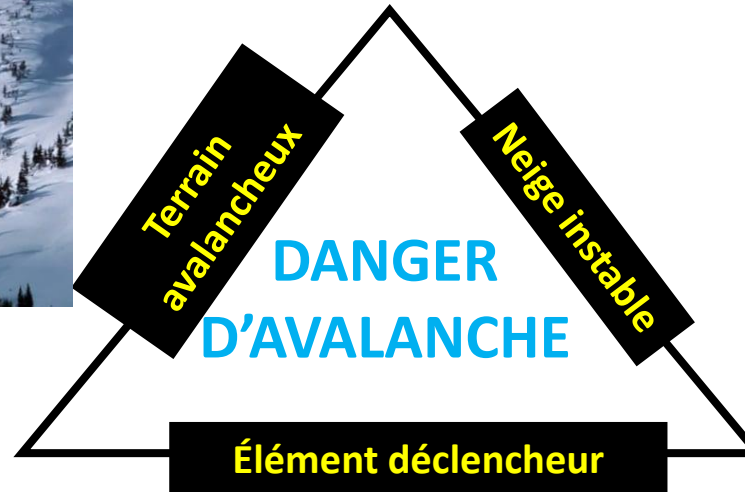
# Introduction



Ref: Avalanche Canada



Ref: Avalanche Canada



Ref: www.tourismfernie.com



Ref: www.bozemannet.com



Ref: www.psdgraphics.com

**Danger** + élément à risque = **risque d'avalanche**

- + de personnes en montagne =
  - plus grand **danger** et **risque d'avalanche**
  - plus grand territoire à couvrir





# Introduction

- Importance suivi stabilité du manteau neigeux pour sécurité publique
  - Stratigraphie
    - Varie temporellement et spatialement
- Méthodes de prévision traditionnelles demandent beaucoup de temps et de déplacements
  - Nouveaux outils d'aide à la décision



# Cadre théorique

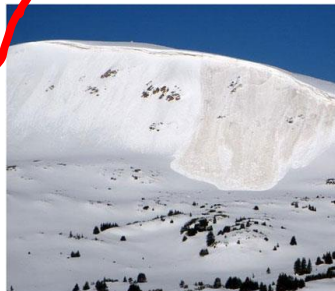
## Principaux types d'avalanches

Avalanches de plaques (avec cohésion)



Sèche

Mouillée



# Avalanches de plaque de neige sèche

– Neige cohésive + couche faible + plan de glissement

- Plans de glissement :
  - Croute
  - Vieille neige durcie
  - Sol
- Principales couches faibles :
  - Grains faces planes
  - Givre de surface
  - Givre de profondeur

**Occasionne des interfaces instables!!**



# Objectif

Développer une méthode efficace de détection et de suivi des interfaces instables du manteau neigeux à l'aide d'un dispositif radar.

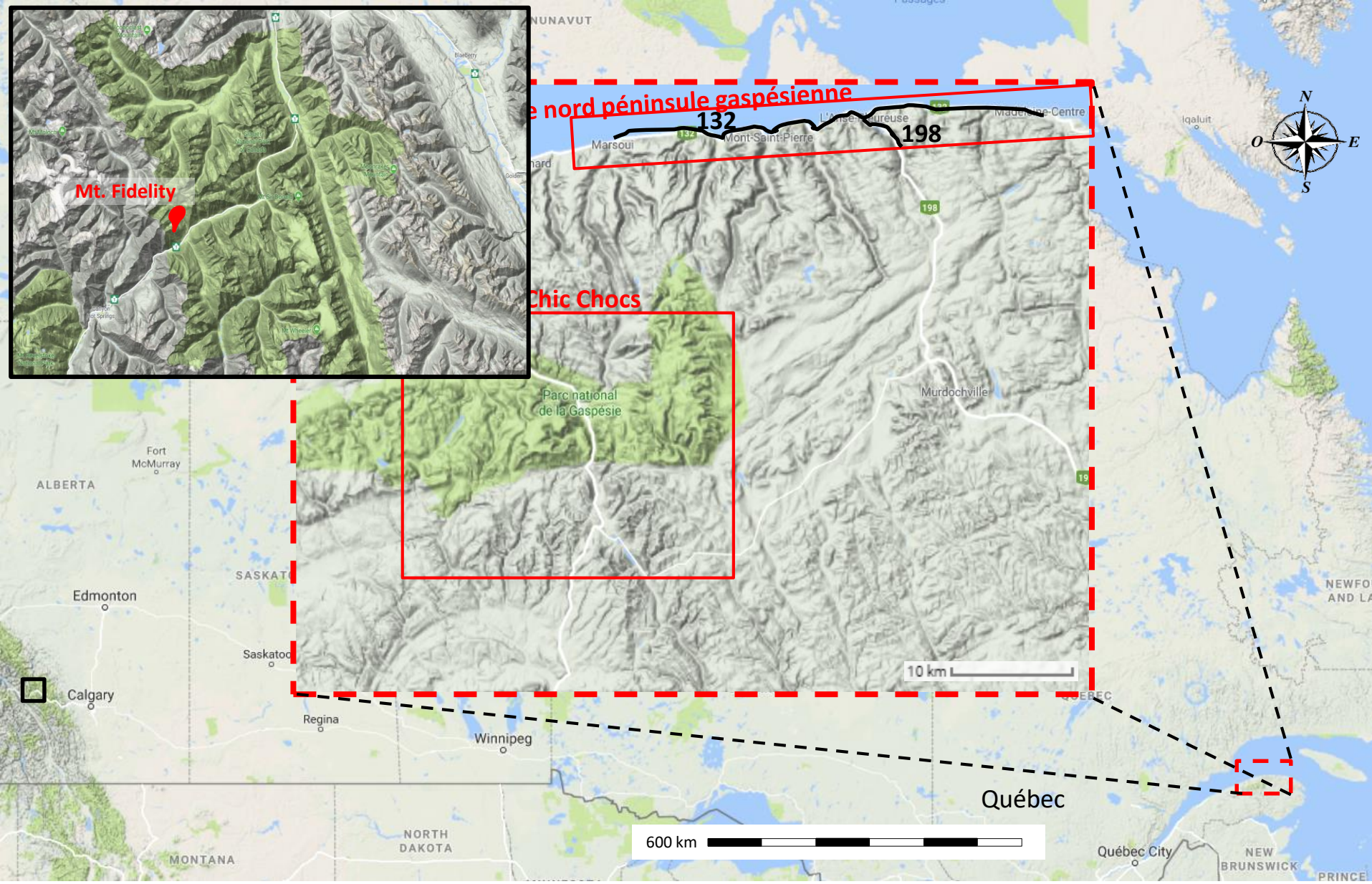


# Sites d'étude

Massif des Chic Chocs, de la côte nord de la péninsule gaspésienne



AVALANCHE QUÉBEC





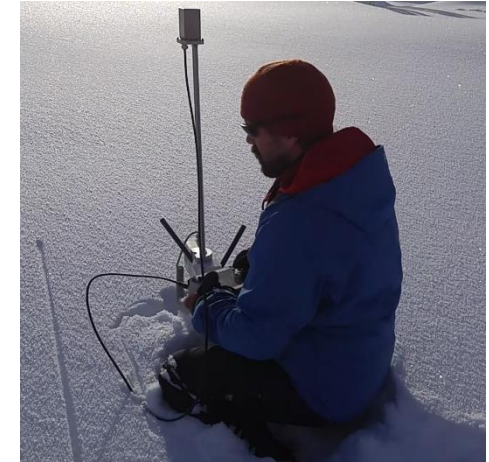
# Données

## Données de télédétection



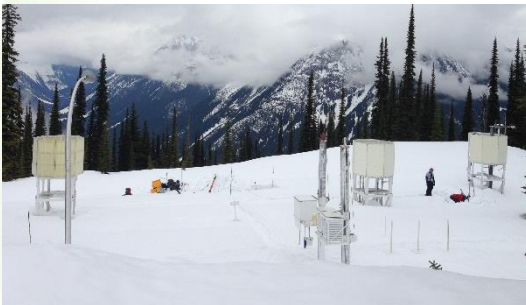
Radar FMCW

## Données de validation



SnowMicroPenetrometer (SMP)

## Données météorologiques



Stations météorologiques +  
Bases de données



Stratigraphie



# Radar FMCW

## Fonctionnement

- Envoie une onde
  - Réfléchi par les objets
  - Calcul la distance radar-objet

$$D = \frac{1}{2} V \Delta t$$

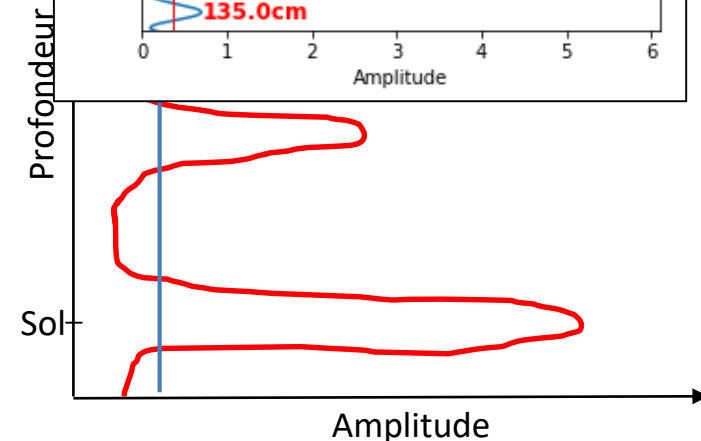
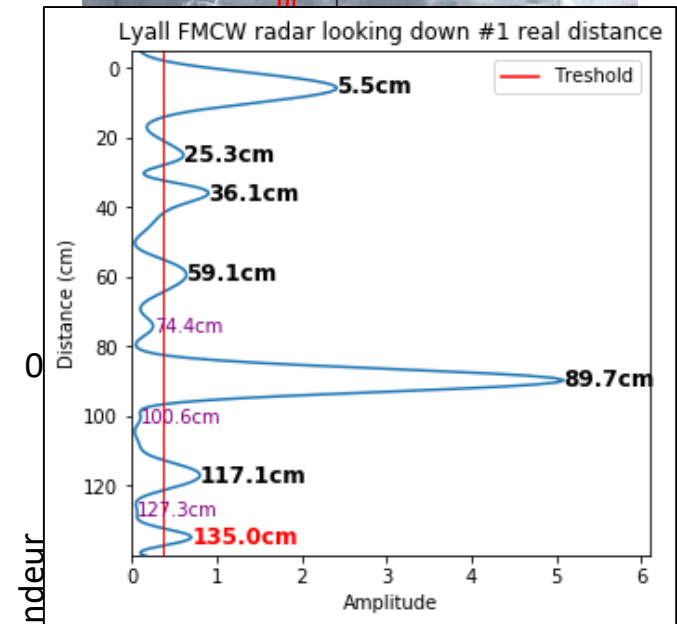
D : Distance radar-objet

Vs : Vitesse de propagation de l'onde

$\Delta t$  : Temps de propagation aller-retour

→ Divise par deux

- Détecte les changements diélectriques
  - Interfaces à grand changement de propriétés
    - » Densité
      - Taille des grains
      - Forme des grains





# Radar FMCW

## Avantages

- Rapide
- Non destructif
- Portatif

Très petit (9,8cm x 8,7cm x 4,3cm)

Léger (280g)

- Faible coût





# Collecte de données terrain

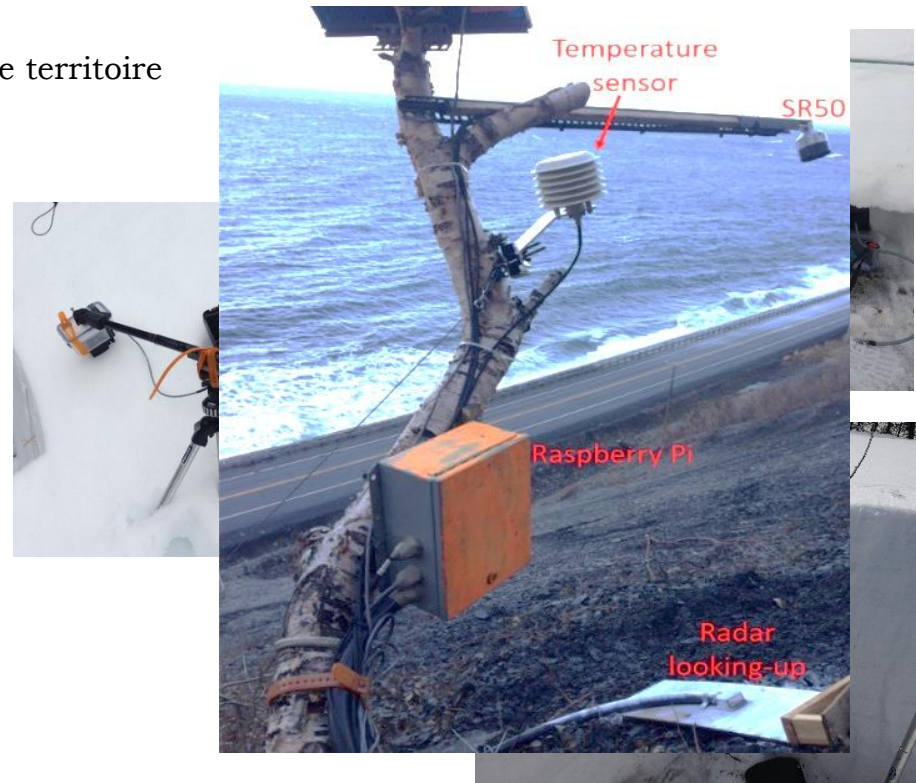
## – Données de télédétection (Radar FMCW)

### - Mobile

- À ski différents endroits sur le territoire
- Vers le bas et vers le haut
- Avec et sans plaque

### -Fixe

- Couloir d'avalanche  
Manche d'Épée (route 132)
- Vers le haut
- Données horaires
- SR50



# Collecte de données terrain

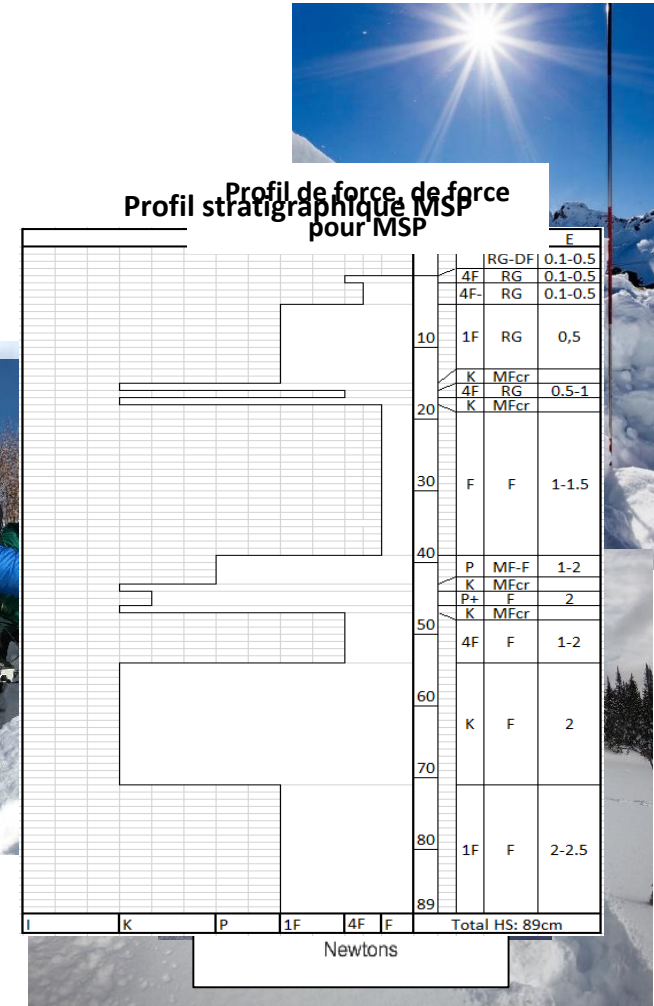
## - Données de validation

### 1. SnowMicroPenetrometer (SMP)

#### - Profil de force

### 2. Stratigraphie

- Température
- Densité
- Forme des grains
- Taille des grains
- Humidité
- Résistance
- Hauteur de neige (HS)

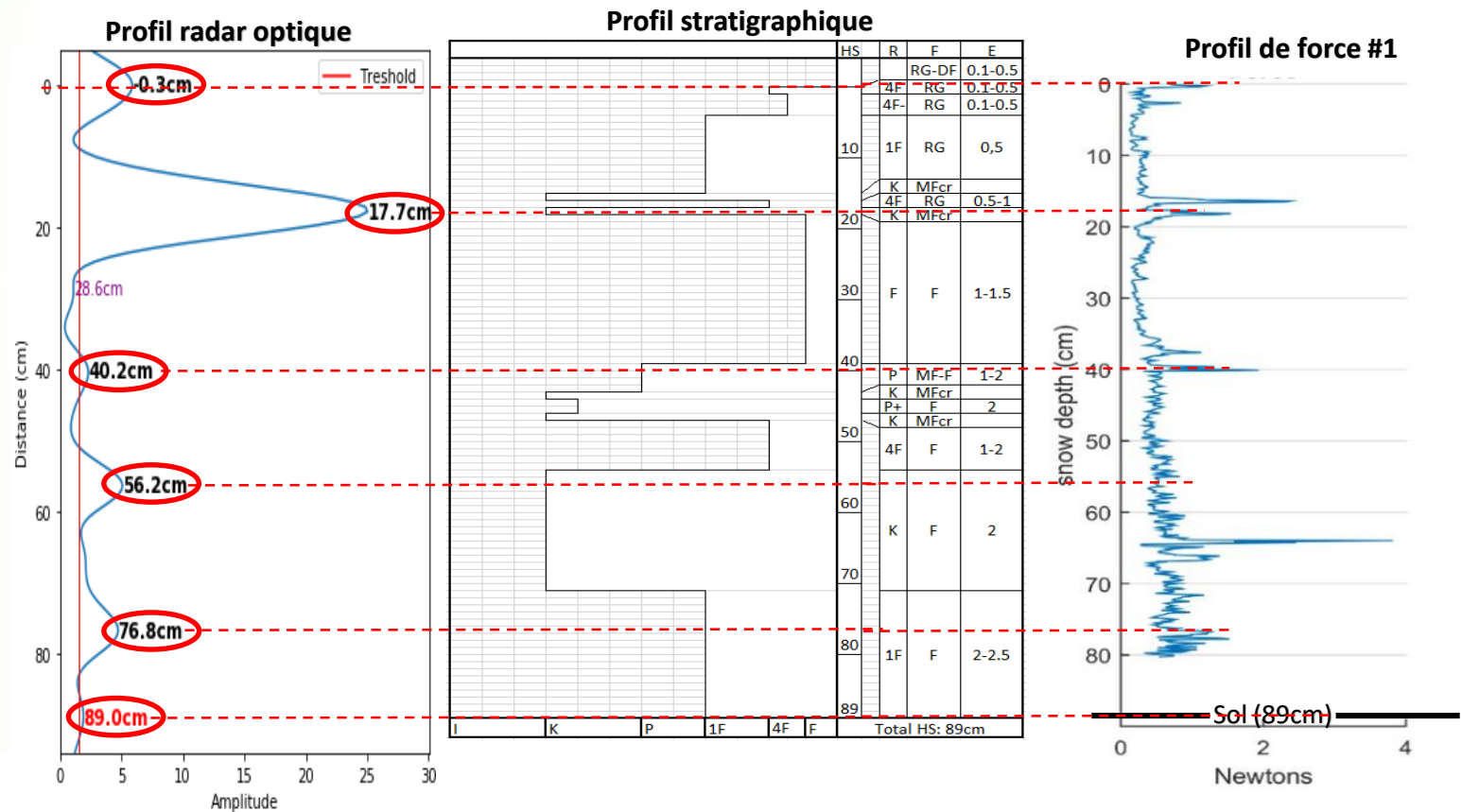


-Servent à calibrer et valider les données radar

# Résultats

## Comparaison radar, stratigraphie et SMP

– Mont-Saint-Pierre

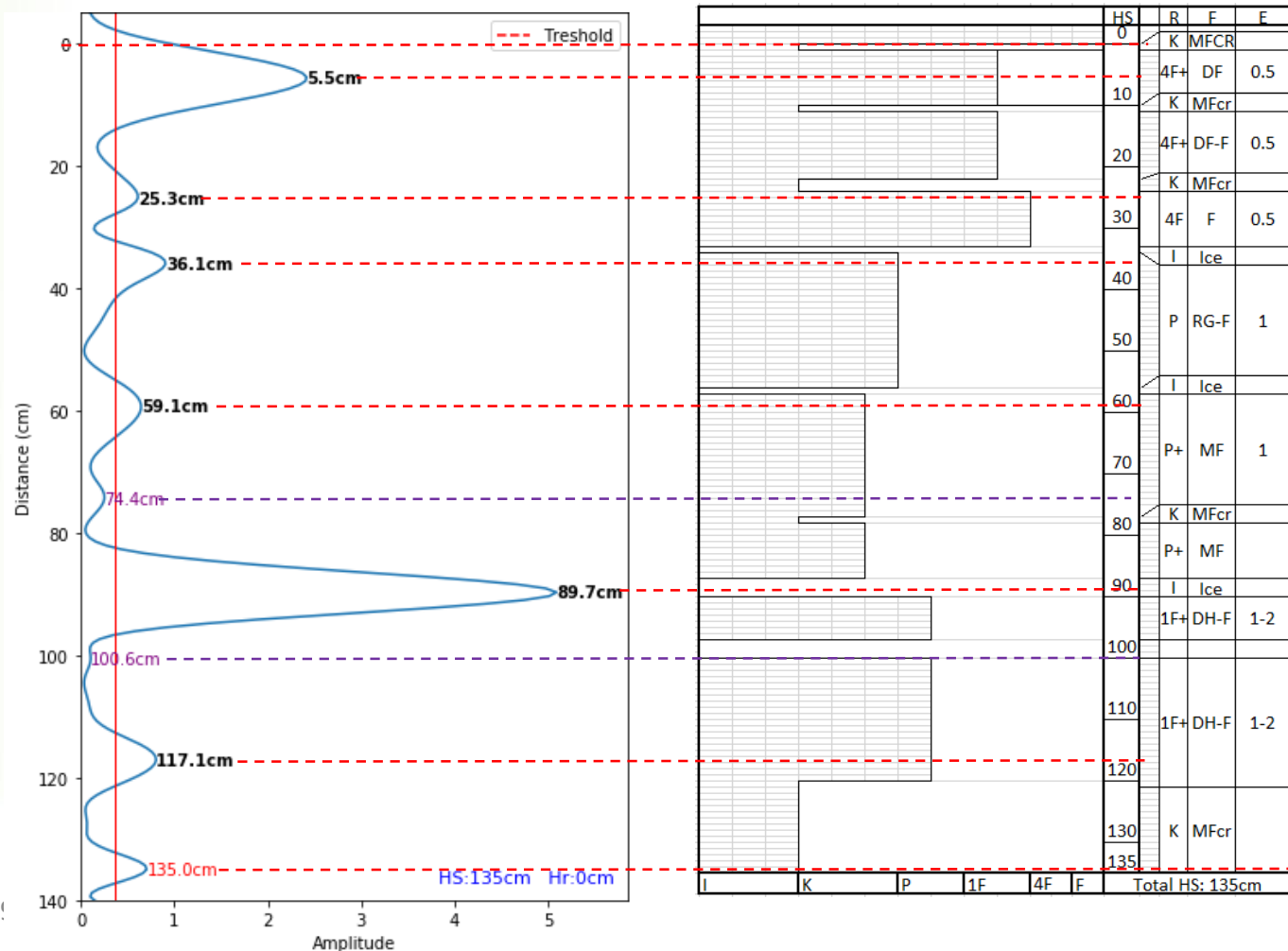




# Résultats

## Comparaison radar, stratigraphie et SMP

- Stationnement mine d'agates du Mont Lyall



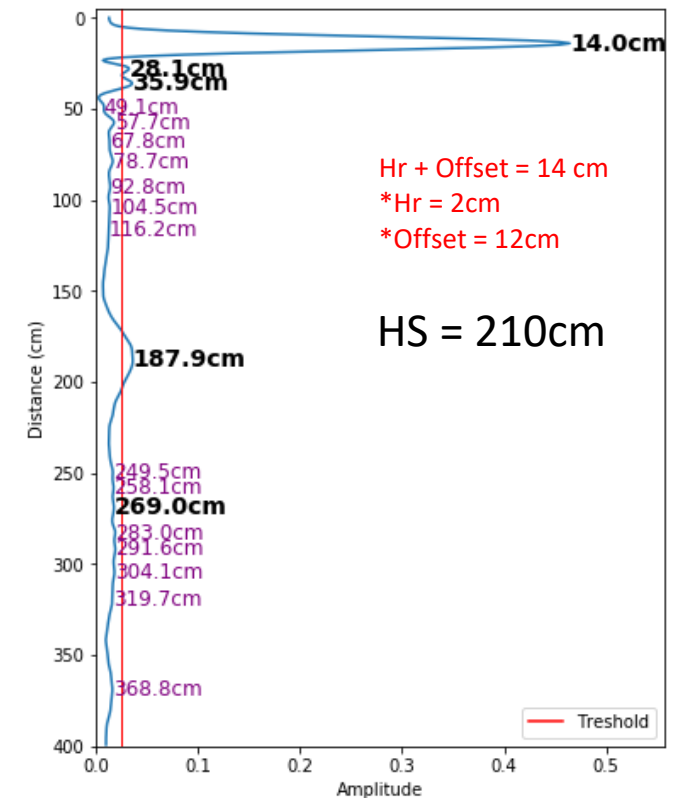
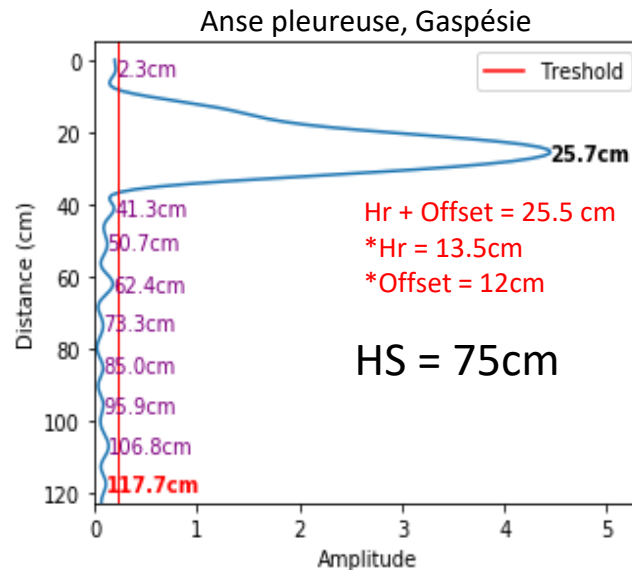
# Résultats

## Atténuation du signal dû à l'humidité de la neige

- Radar très sensible à l'humidité



Connaught creek, Rogers Pass



- Surface s'humidifie en premier
  - Pertinence radar orienté vers le haut

# Résultats

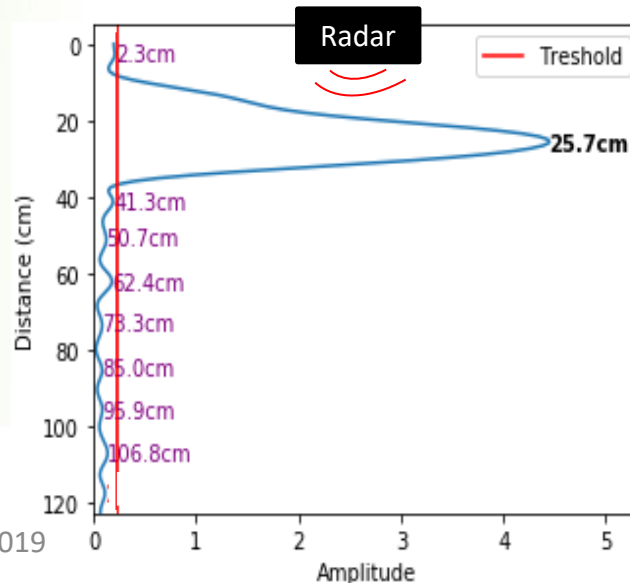
## Radar orienté vers le bas et vers le haut

- Vers le haut donne information stratigraphique que profil vers le bas ne voyait pas

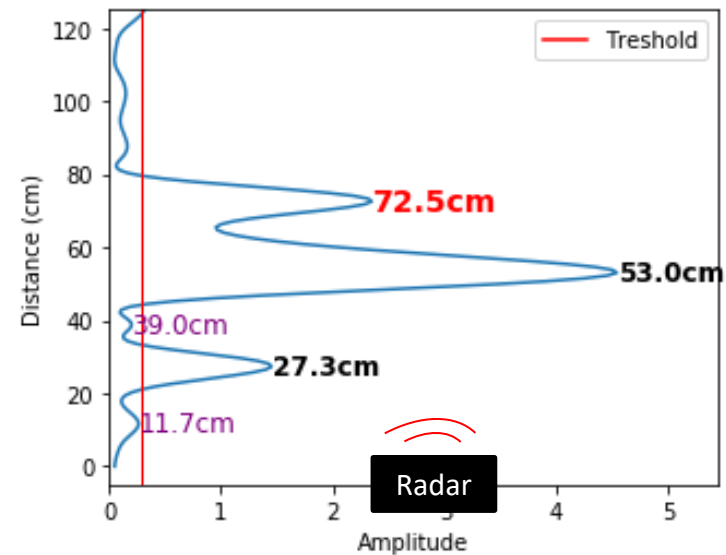
Confirme potentiel utilisation radar vers le haut



Vers le bas



Vers le haut



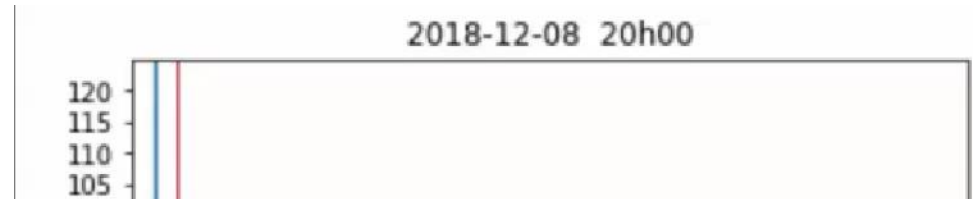


# Résultats

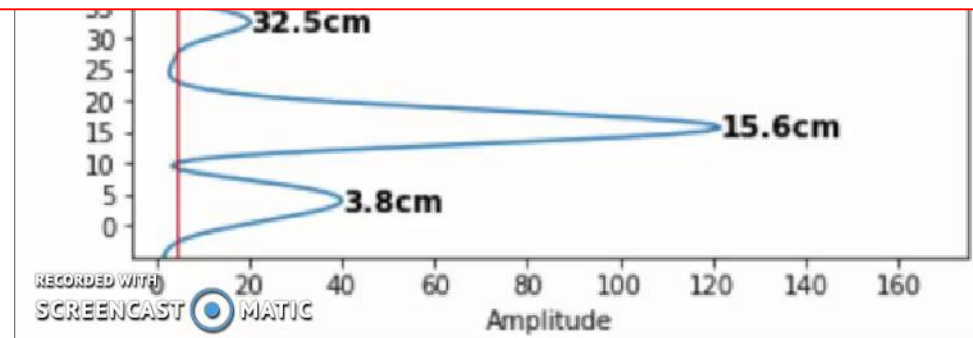
## Comparaison radar, stratigraphie et SMP

### – Manche d'épée (Temporel)

- EXPÉRIMENTAL



- Évaluation visuelle encourageante
- Reste à évaluer son potentiel à détecter les croûtes (statistiquement)
  - Évaluation de sa précision

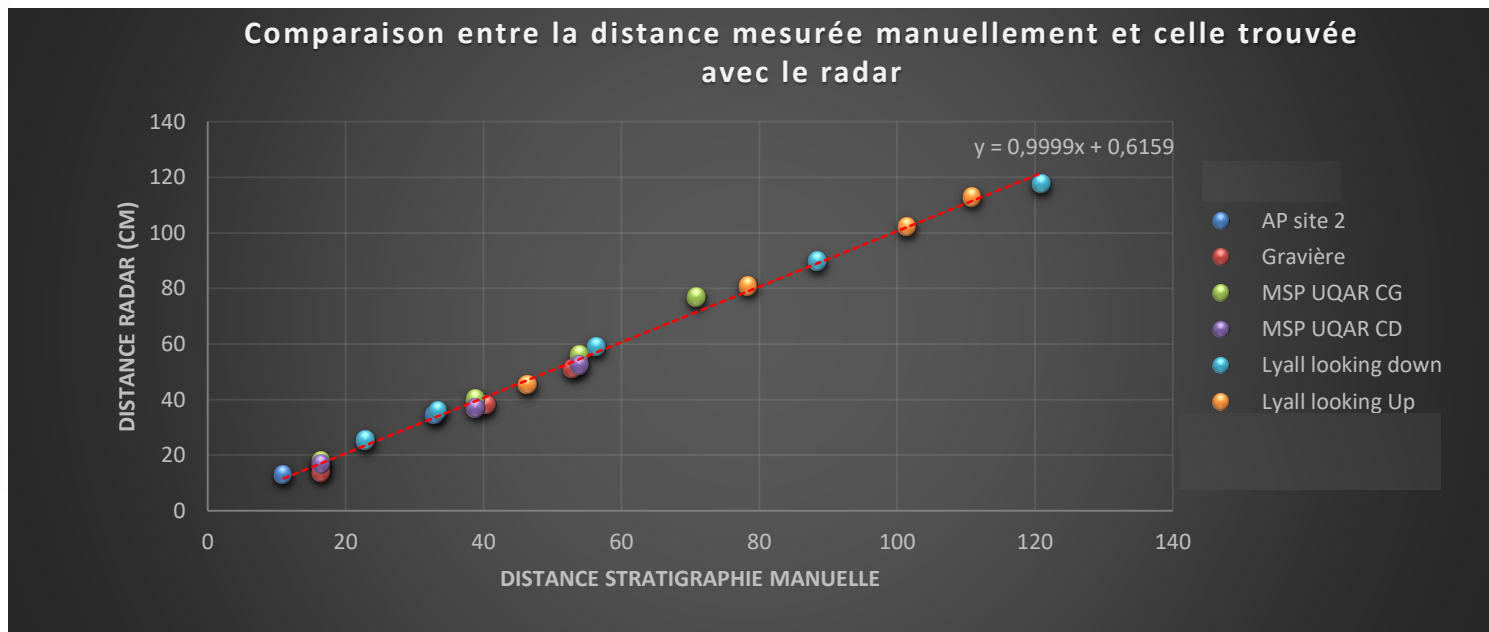




# Résultats

## Sensibilité du radar

- Comparaison 6 profils différents
  - Précision
    - X → Profondeur de la croûte mesurée manuellement sur le terrain
    - Y → Profondeur de la croûte calculée avec le radar
    - Peut s'attendre à une précision d'environ 2cm
      - » Sites où conditions idéales



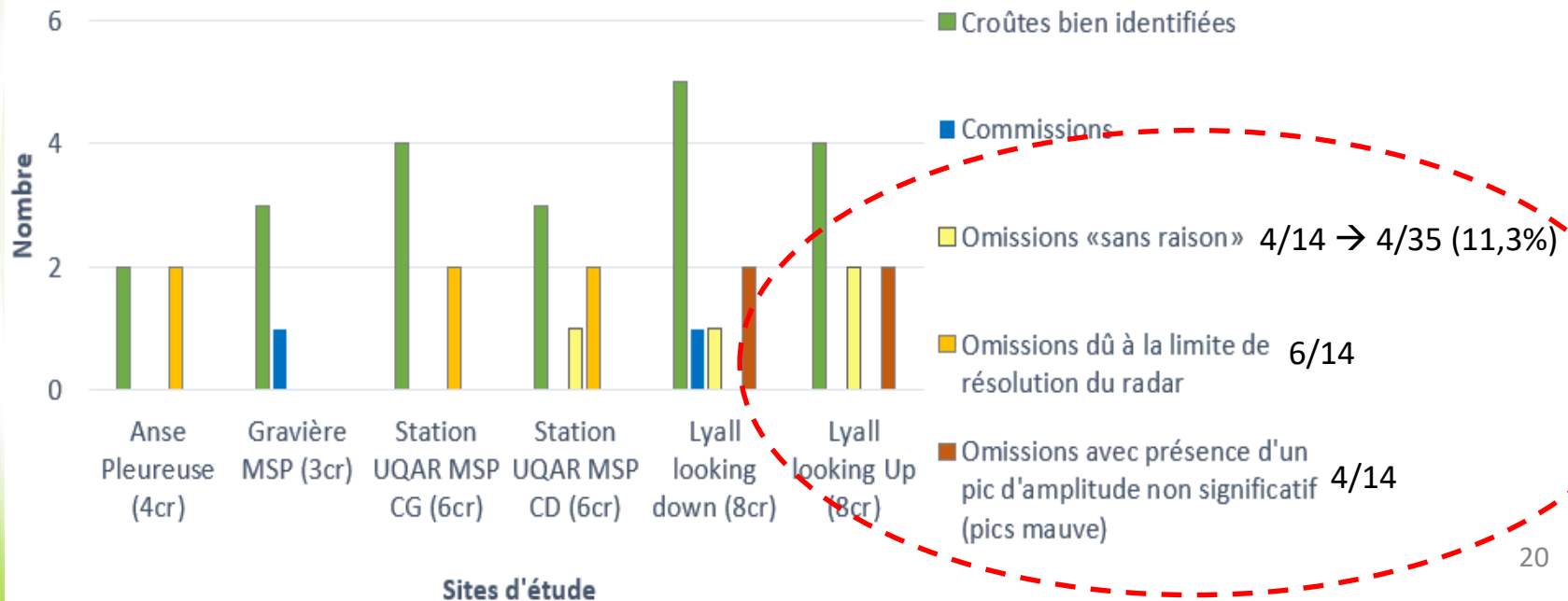


# Résultats

## Sensibilité du radar

- Comparaison 6 profils différents
  - Omission & commissions
    - Peu de commission (2)
    - Beaucoup d'omissions (14/35)
      - Important de distinguer les types d'omissions

Omissions et commissions des côtes fait par le radar FMCW



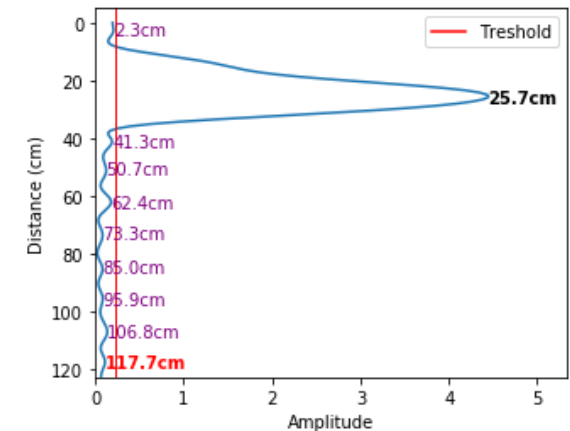


# Discussions

- Importance mentionner qu'il y a des profils qui ne fonctionnent pas du tout

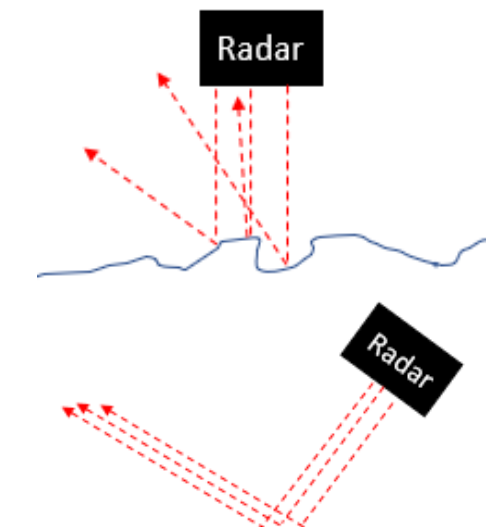
- Problème : Manteau neigeux trop épais ou trop humide

- » Voit pas pic sol
  - Connait pas HS radar et donc pas n moyen
- » Solution: Radar mutli-fréquence pourrait aider (Koh *et al.* (1996))



- Problème: Angle de visée et rugosité du sol

- » Réflexion spéculaire ou diffuse
  - Perte de signal
- » Solution: Radar perpendiculaire au sol et choix des sites (Hogs Baek)



# Discussions

– Importance mentionner qu'il y a des profils qui ne fonctionnent pas du tout

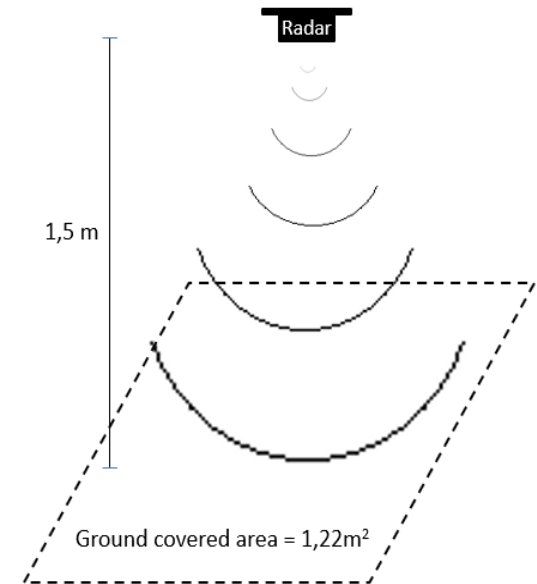
– Problème : Erreur systématique → Translation

» Causes

- Placement règle
- Hr
- Traitements données SMP
- Etc.

– Problème: Champs de vision du radar

- » Ouverture de  $24^\circ$  par  $65^\circ$
- » Grande Couverture spatiale
  - ☺ Données
  - ☹ Validation
    - 5mm SMP
    - Quelques cm profil strati



# Conclusion

- Nous avons réussi à:
  - Comprendre l'interaction de l'onde radar avec la neige
  - mettre en place une méthode de détection des interfaces à grand contraste de propriété à partir d'un radar FMCW de 24 GHz
  
- Radar FMCW a un bon potentiel à identifier les interfaces à grand contraste de propriété
  - Encore beaucoup de travail à faire pour que ce soit opérationnel
    - Passe le flambeau
  - Serait bénéfique d'améliorer la résolution
    - Meilleure précision
    - Near crust facet?





# Merci!!!



# Références

- Avalanche Canada (2017) 2016-17 Annual Report. 54 p.
- Bartelt, P. et Lehning, M. (2002) A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning Part I: numerical model. Cold Regions Science and Technology, vol. 35, n°3, p. 123-145.
- CAA (2016) Observation guidelines and recording standards for weather, snowpack and avalanches. Canadian Avalanche Association. Revelstoke, Canada.
- Colbeck, S. C. et Jamieson, J. B. (1980) The Formation of Facet Layers above Crusts. Cold Regions Science and Technology, vol. 33, n°2-3, p. 247-252.
- Côté, K., Madore, J. B. et Langlois, A. (2017) Uncertainties in the SNOWPACK multilayer snow model for a Canadian avalanche context: sensitivity to climatic forcing data. Physical Geography, vol. 38, n°2, p. 124-142.
- Fortin, G., Héту, B. et Germain, D. (2011) Climat Hivernal Et Régimes Avalancheux Dans Les Corridors Routiers De La Gaspésie Septentrionale (Québec, Canada). Climatologie, vol. 8, p. 9-25.
- Gauthier, F., Germain, D. et Héту, B. (2017) Logistic models as a forecasting tool for snow avalanches in a cold maritime climate: northern Gaspésie, Québec, Canada. Natural Hazards, vol. 68, p. 1-32.
- Germain, D., Fillion, L. et Héту, B. (2009) Snow avalanche regime and climatic conditions in the Chic-Choc Range, eastern Canada. Climatic Change, vol. 92, n°1-2, p. 141-167.
- Germain, D. et Voiculescu, M. (2007) Les avalanches de neige dans les Chic-Chocs ( Canada ) et les Carpates Méridionales ( Roumanie ) Bilan des connaissances et perspectives futures. Revista de geomorfologie, vol. 9, p. 17-31.
- Héту, B. (2007) Les conditions météorologiques propices au déclenchement des avalanches de neige dans les corridors routiers du nord de la Gaspésie, Québec, Canada. Géographie physique et Quaternaire, vol. 61, n°2-3, p. 165-180.
- Jamieson, B. et Langevin, P. (2005) Faceting above crusts and associated slab avalanching in the Columbia Mountains. Proceedings ISSW 2004, n°September, p. 112-120.
- Jamieson, J. B. et Johnston, C. D. (1992) Snowpack characteristics associated with avalanche accidents. Canadian Geotechnical Journal, vol. 29, n°5, p. 862-866.
- Koh, G., Yankielun, N. E. et Baptista, A. I. (1996) Snow cover characterization using multiband FMCW radars. Hydrological Processes, vol. 10, n°12, p. 1609-1617.

# Références

- Madore, J., Langlois, A. et Côté, K. (2018) Evaluation of the SNOWPACK model's metamorphism and microstructure in Canada: a case study. *Physical Geography*, n°May, p. 1-22.
- Marshall, H. P. et Koh, G. (2008) FMCW radars for snow research. *Cold Regions Science and Technology*, vol. 52, n°2, p. 118-131.
- Marshall, H. P., Koh, G. et Forster, R. R. (2005) Estimating alpine snowpack properties using FMCW radar. *Annals of Glaciology*, vol. 40, n°1998, p. 157-162.
- Marshall, H. P., Schneebeli, M., Koh, G., Matzl, M. et Pielmeier, C. (2005) Measurements of snow stratigraphy with FMCW radar: comparison with other snow science instruments. *Proceedings ISSW 2004. International Snow Science Workshop, Jackson Hole WY, U.S.A., 19-24 September 2004*, n°303, p. 57-63.
- McClung, D. et Schaerer, P. (2006) *The Avalanche Handbook (Vol. 3)*.
- Meloche, F., Gauthier, F., Langlois, A. et Boucher, D. (2019) The Northeastern Appalachian Rainy Continental snow-climate: A Transitional snow-climate type for the Gaspé Peninsula, Québec, Canada. *Cold Regions Science and Technology (Soumis)*.
- Pomerleau, P. (2016) Conception d'un dispositif de caractérisation de la glace et de la neige à partir d'un radar à émission continue. *Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke*, 85 p.
- Proksch, M., Löwe, H. et Schneebeli, M. (2015) Density, specific surface area, and correlation length of snow measured by high-resolution penetrometry. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 120, n°2, p. 346-362.
- Sadiku, M. N. O. (1985) Refractive index of snow at microwave frequencies. *Appl. Opt.*, vol. 24, n°4, p. 572-575.
- Schneebeli, M. et Johnson, J. B. (1998) A constant-speed penetrometer for high-resolution snow stratigraphy. *Annals of Glaciology*, vol. 26, p. 107-111.
- Schneebeli, M., Pielmeier, C. et Johnson, J. B. (1999) Measuring snow microstructure and hardness using a high resolution penetrometer. *Cold Regions Science and Technology*, vol. 30, n°1-3, p. 101-114.
- Stethem, C., Jamieson, B. et Schaerer, P. (2003) Snow avalanche hazard in Canada—a review. *Natural Hazards*, vol. 28, p. 487-515.
- Techel, F. et Pielmeier, C. (2011) Point observations of liquid water content in wet snow &ndash; Investigating methodical, spatial and temporal aspects. *Cryosphere*, vol. 5, n°2, p. 405-418.
- Tiuri, M., Sihvola, A., Nyfors, E. et Hallikaiken, M. (1984) The complex dielectric constant of snow at microwave frequencies. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 9, n°5, p. 377-382.