

SOUTENANCE DE THÈSE CNRM

mardi 28 mars 2023 à 15h

ÉTUDE MULTI-ÉCHELLE DE LA TRANSITION DUCTILE-FRAGILE DANS LA NEIGE.

par Antoine BERNARD

(CEN/CENMAT et IGE)

en salle Écrins du centre INRAE de Grenoble

Résumé :

Comprendre le comportement mécanique du matériau neige est crucial pour la prédiction des avalanches, l'interaction avec des structures, ou la modélisation de l'évolution du manteau neigeux.

Formés dans les nuages, les flocons de neige s'accumulent au sol pour former le manteau neigeux. La neige est un matériau poreux, composé d'un squelette de glace et d'air. L'arrangement tridimensionnel de ces deux phases, ou microstructure, varie rapidement dans les conditions naturelles, sous l'effet du métamorphisme et du poids des couches supérieures. La réponse mécanique de la neige est fortement influencée par les conditions de sollicitation (température, mode de chargement, contrainte ou vitesse de déformation) et la microstructure. Il a été observé que la résistance mécanique de la neige présente un durcissement en fonction de la vitesse de déformation dans le régime ductile et un adoucissement dans le régime fragile. La transition ductile-fragile, observée pour des gammes de vitesses de 10^{-4} s $^{-1}$ à 10^{-3} s $^{-1}$ correspond à la transition entre ces deux comportements. Cette transition est contrôlée par les propriétés élasto-visco-plastiques de la glace et la compétition entre des mécanismes de rupture de ponts et des mécanismes de cicatrisation associés au frittage. Leur importance relative en fonction des conditions de sollicitation et de la microstructure restent encore à préciser. L'observation à l'échelle de la microstructure et en cours d'essai est délicate.

Dans ce travail de thèse, nous avons conçu un dispositif expérimental spécifique pour mener des essais de compression confinée d'échantillons de neige sous microtomographie aux rayons X. Dans un premier temps, nous avons conduit des essais de fluage sur des échantillons de neige à microstructure contrôlée. Dans une deuxième partie, nous avons réalisé une campagne d'essais de compression à vitesse contrôlée pour des gammes de vitesse allant de 10^{-6} s $^{-1}$ à 10^{-2} s $^{-1}$. Nous avons utilisé la tomographie pour imager la microstructure de la neige. Pour tous les essais, les états initiaux et finaux ont été acquis. Pour les plus faibles vitesses de

Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)

Centre National de Recherches Météorologiques
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex

CNRM, UMR 3589

déformation, des scans ont aussi été réalisés en cours d'essai. Pour les autres, nous avons procédé à une acquisition de radiographies simples à haute fréquence. Sur les images, nous avons appliqué des algorithmes de traitement pour mesurer la densité, la surface spécifique, mais aussi de façon plus originale, la taille et le nombre de ponts. Nous avons quantifié avec précision l'évolution de ces caractéristiques sous plusieurs conditions de sollicitation.

Cette étude a permis de mettre en évidence que, lors de la compaction de la neige sous faible contrainte, la microstructure était essentiellement impactée par la sollicitation mécanique sous la forme d'une augmentation de la masse volumique et du nombre de ponts lorsque la densité initiale est relativement faible. Dans ces conditions, le métamorphisme reste le moteur principal de l'évolution de la taille des ponts et de la surface spécifique. Sous vitesse de déformation contrôlée, l'augmentation de la résistance mécanique peut être attribuée à une rétroaction positive entre l'augmentation du nombre de ponts, induite par « la mécanique », et l'augmentation de leur taille, due au métamorphisme. Les effets relatifs dépendent de la vitesse de sollicitation. La transition ductile-fragile est estimée ici autour de $3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ pour une masse volumique proche de 300 kg m^{-3} . Nos observations en comportement fragile mettent en évidence l'impact des ruptures locales sur la réponse mécanique avec la propagation de bandes de compaction.

Cette étude, qui présente l'originalité d'associer systématiquement des observations microstructurales de haute définition à l'analyse de la réponse mécanique devrait permettre une meilleure prise en compte des mécanismes à petite échelle dans la représentation et la modélisation de la réponse macroscopique du manteau neigeux.

composition du jury:

Rapporteurs: Nathalie LIMODIN (LaMCube, Université de Lille, Centrale Lille), Henning LÖWE (WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos).

Examineurs: Christian GEINDREAU (3SR, Université Grenoble Alpes), Renaud TOUSSAINT (Institut Terre et Environnement de Strasbourg, Université de Strasbourg).

Encadrants: Maurine MONTAGNAT-RENTIER (IGE, Université Grenoble Alpes), Pascal HAGENMULLER (CNRM/CEN/CENMAT), Guillaume CHAMBON, (INRAE, IGE, Université Grenoble Alpes)

Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)

Centre National de Recherches Météorologiques
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex