



Proposition de Stage

Titre du stage : Amélioration de la description des métamorphoses de la neige à macro-échelle

Nom et statut des responsables de stage : Neige Calonne (CEN), Christian Geindreau (3SR), Frédéric Flin(CEN)
neige.calonne@meteo.fr, christian.geindreau@3sr-grenoble.fr, frederic.flin@meteo.fr

Lieu du stage : CEN/CNRM, 1441 rue de la piscine, 38400 Saint Martin d'Hères

Sujet du stage :

Recouvrant une grande partie de sa surface en hiver, la neige est une composante essentielle du système terrestre et touche à des enjeux sociétaux et environnementaux importants, tels que la prévision du risque d'avalanche ou les études climatiques. Pour répondre à de tels enjeux, l'utilisation de modèles numériques de manteau neigeux, permettant la simulation des propriétés de la neige, est indispensable.

Un des challenges actuels est l'amélioration de la description des métamorphoses de la neige dans ces modèles de manteau neigeux. Les métamorphoses désignent les transformations morphologiques de la neige une fois au sol sous l'effet de contraintes thermodynamiques et pilotées par des processus de transport de chaleur et de masse. Elles aboutissent à des microstructures très variées, en termes de proportion air – glace mais aussi de formes, tailles, et arrangement géométrique des cristaux. La microstructure de la neige joue un rôle capital puisqu'elle contrôle le comportement du manteau neigeux à plus grande échelle, comme sa stabilité mécanique ou sa capacité à réfléchir ou absorber le rayonnement solaire.

Dans ce contexte, le stage vise à l'amélioration de la représentation de la microstructure et des métamorphoses de neige sèche (sans eau liquide) à l'échelle des modèles de manteau neigeux. Pour cela, une étude de la relation entre la microstructure et les propriétés macroscopiques impliquées dans le transport de chaleur et de masse (conductivité thermique, perméabilité, coefficient de diffusion de vapeur d'eau) sera menée par simulations numériques sur des images 3D de neige obtenues par tomographie aux rayons X ou simulées. Ces résultats viendront compléter des études antérieures avec des cas particuliers, encore non analysés, de microstructures. En parallèle, et en fonction du profil du candidat, des développements expérimentaux pourront être menés pour permettre le suivi instrumenté des métamorphoses de neige en chambre froide.

Profil requis : compétence de base en physique et programmation.

Références :

- Calonne, N., Flin, F., Geindreau, C., Lesaffre, B., and Rolland du Roscoat, S. (2014). Study of a temperature gradient metamorphism of snow from 3-D images: time evolution of microstructures, physical properties and their associated anisotropy. *The Cryosphere*, 8(6), 2255-2274.
- Calonne, N., F. Flin, S. Morin, B. Lesaffre, S. Rolland du Roscoat, and C. Geindreau (2011). Numerical and experimental investigations of the effective thermal conductivity of snow. *Geophysical Research Letters*, 38(23).
- Calonne, N., Geindreau, C., Flin, F., Morin, S., Lesaffre, B., Rolland du Roscoat, S., and Charrier, P. (2012). 3-D image-based numerical computations of snow permeability: links to specific surface area, density, and microstructural anisotropy, *The Cryosphere*, 6, 939–951.
- Calonne, N., Milliancourt, L., Burr, A., Philip, A., Martin, C., Flin, F., and Geindreau, C (2019). Thermal conductivity of snow, firn and porous ice from 3D image-based computations, *Geophysical Research Letters*, in press.

Informations pratiques :

Durée du stage : durée minimum de 5 mois. Possibilité de poursuite en thèse (financement déjà acquis).

Période de stage : à définir avec le stagiaire.

Salaire : Indemnités légales.

Documents demandés : CV et lettre de motivation à adresser par mail aux encadrants.