

## Implémentation numérique d'un modèle de champ de phase pour la simulation micro-échelle des métamorphoses de la neige

Rémi Granger : [remi.granger@3sr-grenoble.fr](mailto:remi.granger@3sr-grenoble.fr), Laboratoire 3SR et Centre d'Études de la Neige (Grenoble)

Elie Bretin : [elie.bretin@insa-lyon.fr](mailto:elie.bretin@insa-lyon.fr), Institut Camille Jordan (ICJ, Lyon)

Christian Geindreau : [christian.geindreau@3sr-grenoble.fr](mailto:christian.geindreau@3sr-grenoble.fr), Laboratoire 3SR (3SR, Grenoble)

Frédéric Flin : [frederic.flin@meteo.fr](mailto:frederic.flin@meteo.fr), Centre d'Études de la Neige (CNRM/CEN, Grenoble)

### Contexte

Une fois déposée au sol, la neige forme un milieu poreux complexe, principalement constitué d'air et de glace. La microstructure d'un tel milieu ne cesse alors d'évoluer sous l'effet des contraintes physiques (température, humidité...) qui lui sont imposées. Ces métamorphoses à l'échelle des grains de glace entraînent une modification des propriétés macroscopiques de la neige et doivent être correctement simulées dans les modèles de manteau neigeux (par exemple : Crocus - Vionnet et al, 2012) afin de répondre à diverses problématiques comme la prévision du risque d'avalanche, l'étude des rétroactions climatiques, ou la gestion de l'enneigement en station de ski.

Les mécanismes de ses métamorphoses sont particulièrement complexes et aucun modèle numérique ne permet, à l'heure actuelle, de les décrire véritablement. Ce stage vise donc à améliorer cet état de fait, en proposant une implémentation numérique optimisée d'un modèle micro-échelle récemment mis au point.

Ce modèle est basé sur le couplage des 3 processus suivants : la diffusion de la matière, la diffusion de la chaleur et les changements de phase. Il s'appuie sur la modélisation par champ de phase, particulièrement adaptée à la résolution des problèmes d'interfaces libres, et qui permet de représenter cette physique par un système couplé de 3 équations de type diffusion avec sources (Kämpfer et al, 2009).

### Objectifs et description du stage

Nous avons récemment appliqué ce modèle au cas de la migration d'une cavité d'air dans un bloc de glace à l'aide du logiciel COMSOL Multiphysics. Les simulations par éléments finis permettent de décrire en 2 dimensions (2D) les évolutions communément observées lors de la migration de bulles d'air dans de la glace soumise à un gradient de température (Shreve, 1967) : le côté le plus chaud de la cavité sublime puis la vapeur ainsi formée se recondense du côté le plus froid, entraînant ainsi la migration progressive de la cavité.

Nous cherchons maintenant à tester ce modèle sur des géométries bien plus complexes (coupe de neige 2D, volumes de neige 3D) et l'implémentation d'un code dédié est maintenant indispensable.

-Dans un premier temps, le travail consistera à développer un modèle numérique optimisé pour la résolution de ce problème à l'aide de méthodes de résolution plus simples (Fourier, volumes finis ou différences finies -cf Bretin et al, 2015) et à reproduire les simulations effectuées avec COMSOL. L'objectif est double :

- 1) réduire les ressources nécessaires aux calculs afin d'effectuer des simulations sur de plus grands domaines
- 2) développer un code indépendant, pouvant être enrichi par la suite.

-Dans un second temps, ce modèle pourra être étendu à des domaines 3D, ce qui est nécessaire à la modélisation de la physique mise en jeu à l'aide d'images obtenues par tomographie RX (Calonne et al, 2015).

### Cadre

Durée envisagée : 4 à 6 mois.

L'étudiant(e) travaillera en étroite collaboration avec Rémi Granger (2<sup>nd</sup>e année de thèse). L'encadrement sera effectué par Élie Bretin, Christian Geindreau et Frédéric Flin.

### Bibliographie

Bretin, E., R. Denis, F. Flin, J.-O. Lachaud, E. Oudet, T. Roussillon (2015a), *Tech. Rep. D4 of the DigitalSnow ANR Project*, [http://www.umr-cnrm.fr/IMG/pdf/2015\\_11\\_06\\_digitalsnow\\_t4.pdf](http://www.umr-cnrm.fr/IMG/pdf/2015_11_06_digitalsnow_t4.pdf).

Calonne, N., F. Flin, B. Lesaffre, A. Dufour, J. Rouille, P. Puglièse, A. Philip, F. Lahoucine, C. Geindreau, J.-M. Panel, S.

Rolland du Roscoat, P. Charrier (2015a), *Geophys. Res. Lett.*, 42, 3911-3918, <http://dx.doi.org/10.1002/2015GL063541>.

Kämpfer, T. U., M. Plapp (2009), *Phys. Rev. E*, 79(3), 031502, <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevE.79.031502>.

Shreve, R. L. (1967), *J. Geophys. Res.*, 72(16), 4093-4100, <http://dx.doi.org/10.1029/JZ072i016p04093>.

Vionnet, V., E. Brun, S. Morin, A. Boone, S. Faroux, P. Le Moigne, E. Martin, J. M. Willemet (2012), *Geosci. Model Dev.*, 5, 773-791, <http://dx.doi.org/10.5194/gmd-5-773-2012>.