

## **PROJET DE FIN D'ETUDES**

### **INGENIEURS DE L'ECOLE NATIONALE DE LA METEOROLOGIE**

#### **FICHE DE PROPOSITION DE SUJET**

**Titre du sujet proposé : Analyse des séries temporelles d'amplitude et de cohérence interférométrique SAR pour la cartographie de la couverture neigeuse**

**Organisme ou service proposant le sujet : DESR/CNRM/CEN**

**Responsable principal du stage :**

Responsable principal (le responsable principal est l'interlocuteur direct de l'Ecole. C'est à lui, en particulier, que seront adressés les courriers ultérieurs) :

NOM : KARBOU Prénom : Fatima

téléphone : 0476637905 Mél : fatima.karbou@meteo.fr

**Autres responsables** : Marie-Pierre Doin (IsTerre), Guillaume JAMES (INRIA Grenoble Rhône-Alpes and Laboratoire Jean Kuntzmann)

**Le stage présente-t-il un caractère de confidentialité ? : non**

**Le stage peut-il être effectué à distance ? : oui**

#### **1) Description du sujet – livrables attendus**

Les satellites Sentinel-1, opérés par l'Agence spatiale européenne, permettent d'étudier le manteau neigeux à des résolutions spatiales et un temps de revisite inédits. Les images SAR (pour Synthetic Aperture Radar) Sentinel-1 sont acquises par télédétection active en bande C et comportent en chaque pixel une valeur d'amplitude et de phase. L'amplitude du signal est directement liée à la quantité d'énergie rétrodiffusée qui dépend des propriétés de la surface; la phase quant à elle contient plusieurs contributions en lien avec la distance entre le satellite et le sol au moment de l'acquisition, la propagation de l'onde dans l'atmosphère, et la contribution des multiples réflecteurs élémentaires dans un même pixel (phase pixellaire) qui dépend de la nature de la surface. En interférométrie radar, on utilise deux images SAR d'une même zone, acquises avec un angle d'incidence légèrement différent, au même moment ou à des instants différents. La cohérence est une mesure de corrélation des images SAR complexes (SLC) qui permet de déterminer le degré de similarité de la phase des deux images. La cohérence dépend des mécanismes de rétrodiffusion des cibles au sol qui peuvent évoluer entre deux passages du satellite. Une forte cohérence indiquerait un faible changement de la nature de la surface

entre deux acquisitions, une faible cohérence témoignerait au contraire d'un changement au sol. Les pertes de cohérence peuvent être dues à plusieurs processus physiques incluant la végétation, la neige et l'humidité des sols. La détection de la neige totale par InSAR repose sur l'hypothèse que par rapport aux zones enneigées, les zones sans neige gardent une grande cohérence entre deux dates successives. La décorrélation intervient en cas de modification de la profondeur de pénétration SAR et des mécanismes de rétrodiffusion. Plusieurs études dans la littérature ont porté sur l'exploitation des cartes de cohérence InSAR pour le suivi de la neige (Tsai et al. 2019 par exemple). Mais très souvent, un seuillage des cartes de cohérence est appliqué pour détecter la neige. De même, la détection de la neige humide à partir des images d'amplitude repose généralement sur une méthode de seuillage fixe (Nagler et al. 2000-2016, Karbou et al. 2021). Récemment, Guiot (2021) a exploré le potentiel de méthodes de segmentation d'images appliquées aux images SAR de Sentinel-1 afin d'améliorer la détection de la neige humide. La détection de la neige totale sur les séries temporelles de cohérence InSAR nécessite la mise en œuvre de méthodes statistiques robustes. Les méthodes et métriques mathématiques exploitées dans Guiot (2021) seront testées sur les images de cohérence ou sur les couple amplitude/cohérence. L'enjeu de ce stage est d'exploiter de façon optimale les images SAR d'amplitude et les séries temporelles de cohérence pour suivre l'enneigement dans une grande partie des Alpes Françaises. Un volet évaluation des résultats sera également mené en exploitant une base de données indépendantes (produits de neige issus des images optiques, mesures in-situ de l'enneigement, simulations de l'enneigement en sortie du modèle de neige Crocus).

Ce stage s'inscrit dans le cadre du projet APR SHARE (Séries chronologiques d'images SAR de Sentinel-1 en terrain de montagne) d'étude de la neige sèche/humide par imagerie SAR/InSAR Sentinel-1 porté par le CNRM (PI. F. Karbou) et mettant en lien plusieurs laboratoires français (LISTIC, Inria, LJK, IsTerre) sur les thématiques de télédétection spatiale de la neige, les méthodes d'apprentissage et d'analyse d'images.

Le stage fait appel à la fois aux outils de télédétection spatiale de la neige et de mathématiques pour le traitement et l'analyse d'images.

#### Sélection de références:

Ambroise Guiot (2021), Télédétection de la neige humide par segmentation d'images SAR, rapport de stage PFE ENM encadré par F. Karbou et G. James.

Nagler, T. & Rott, H. Retrieval of Wet Snow by Means of Multitemporal SAR Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 38, 754-765 (2000).

Karbou F, Veyssièrè G, Coleou C, Dufour A, Gouttevin I, Durand P, Gascoin S, Grizonnet M. Monitoring Wet Snow Over an Alpine Region Using Sentinel-1 Observations. Remote Sensing. 2021; 13(3):381. <https://doi.org/10.3390/rs13030381>

Tsai, Ya-Lun, A. Dietz, N. Oppelt, C. Kuenzer, "Wet and Dry Snow Detection Using Sentinel-1 SAR Data for Mountainous Areas with a Machine Learning Technique". Remote Sensing. 11. 895. 10.3390/rs11080895, 2019.

## **2) lieu du stage, durée ou période**

Le stage se déroulera au CEN (Saint Martin d'Hères). La durée du stage est de 5 à 6 mois au premier semestre 2022.