

# **Offre de thèse : Modèles de neurones convolutifs pour la caractérisation et l'analyse des dynamiques de la cryosphère**

**Laboratoire d'accueil** : [LISTIC](#), Université Savoie Mont Blanc

Contacts : ATTO Abdourrahmane : [abdourrahmane.atto@univ-smb.fr](mailto:abdourrahmane.atto@univ-smb.fr) ; TROUVÉ Emmanuel : [emmanuel.trouve@univ-smb.fr](mailto:emmanuel.trouve@univ-smb.fr) ; KARBOU Fatima : [fatima.karbou@meteo.fr](mailto:fatima.karbou@meteo.fr)

## **Descriptif du sujet de thèse :**

Le suivi de l'état et de l'évolution de la neige saisonnière et des glaciers en zones de montagnes est d'une grande importance pour de nombreuses applications incluant la météorologie, la gestion des risques, les ressources en eau, la biodiversité et écosystèmes et les études du changement climatique. Il s'agit de réservoirs gelés qui jouent un rôle important dans le système climatique en modifiant le transfert d'énergie et de masse entre l'atmosphère et la surface. Les satellites Sentinel-1 (appelés 1a et 1b), déployés par l'Agence spatiale européenne, permettent désormais d'étudier le manteau neigeux à des résolutions spatiales et un temps de revisite inédits (résolution décimétrique, 6 jours de temps de revisite). 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 pixellique) qui dépend de la nature de la surface. Il est à noter que l'exploitation des mesures SAR n'est pas aisée en raison de la présence du bruit du Speckle qui est inhérent à l'imagerie SAR. Ce bruit est dû à la sommation cohérente des signaux rétrodiffusés par de multiples cibles, ce qui entraîne des difficultés d'interprétation des images ; à cela s'ajoute une complexité de traitement des observations en montagne en raison du mode d'observation où l'on doit composer avec des distorsions importantes de l'image (phénomènes d'ombre, raccourcissement, renversement).

L'exploitation des coefficients de rétrodiffusion SAR ne permet de cartographier que la neige humide (par exemple [6], [7], [8], [12]) alors que les mesures interférométriques (InSAR) et/ou polarimétriques (PolSAR) ont été étudiées pour leur potentiel de détection de la neige totale, c'est-à-dire la neige sèche et la neige humide. Dans les études de [4] et [8], les mesures PolSAR ont été exploitées pour différencier les zones de sol nu des zones de neige sèche ou humide. La référence [5] a utilisé plusieurs paramètres PolSAR et la cohérence interférométrique pour cartographier la neige sèche et humide. La référence [13] a utilisé une approche d'apprentissage pour cartographier les étendues de neige sèche et humide sur quelques zones cibles en exploitant des mesures SAR de différentes natures (InSAR, PolSAR, coefficients de rétrodiffusion).

L'objectif de la thèse est de proposer des modèles dits de neurones convolutifs, opérant dans un cadre d'apprentissage profond et à partir de séries temporelles d'images satellitaires, afin de permettre :

- L'évaluation de l'étendue des surfaces cryosphériques (on parlera de segmentation sémantique) ;
- La reconnaissance automatique des textures observables (classification) sur les surfaces de la cryosphère, par exemple : différencier la neige fraîche de la neige humide ;

- Les suivis dynamiques :
  - des étendues de surfaces d'intérêt (évolutions des contours de l'élément de cryosphère dans l'espace et dans le temps) et
  - des contenus de ces surfaces (rapports d'occupation sur la même surface entre les différentes composantes / caractéristiques visibles sur une surface donnée) pour déduire l'évolution spatiale des états surfaciques observables.

En pratique, la texture de la couverture de la cryosphère est impactée par différents phénomènes tels que les variations de températures, les chutes de pluies ou de neige, la redistribution de neige lors de vents violents, etc.

A petite échelle en vision par satellite (quelques centaines mètres carrés), on s'intéressera à l'analyse des variations spatiales de textures (neige dans tous ses états et glace) alors que à grande échelle (plusieurs centaines de kilomètres carrés), on s'intéressera plutôt à la présence ou l'absence de couverture neigeuse ou encore à la différenciation entre neige fraîche et neige humide.

On s'intéressera aussi bien à des données SAR de bonne résolution spatiale (PAZ, RadarSat) qu'à des données de bonne résolution temporelle (Sentinel-1).

Deux catégories de méthodes d'apprentissage seront étudiées selon qu'on traite le problème de façon supervisée (sur quelques sites spécifiques) ou non (en général). Dans le cas supervisé, il s'agira de proposer des modèles neuro-convolutifs capables d'apprendre en ayant très peu de données labellisées : l'annotation souffre d'une double difficulté au sens de la nature de l'acquisition SAR et de l'étendue des surfaces à étudier. Les performances de ces méthodes pourront être comparées avec des méthodes non-supervisées dont la vocation est la robustesse sur un grand nombre de sites ou de surfaces. La prise en compte de la dimensionalité sera un facteur important dans la construction du modèle et l'exploration de solutions, du fait des très grandes dimensions spatiales et temporelles qu'intégreront les modèles.

#### **Autres informations :**

- L'encadrement implique une collaboration entre l'USMB et le CNRM et la thèse sera co-supervisée par les deux institutions. L'inscription s'effectuera à l'école doctorale SISEO de l'USMB.
- la littérature pertinente sur le sujet concerne aussi bien les modèles d'apprentissage profond en général que la télédétection radar et la géophysique de la cryosphère en particulier (cryosphère prise dans son environnement naturel à forte variabilité, aussi bien du fait de facteurs internes qu'externes).

## **Références**

- [1] A. M. Atto, R. R. Bisset and E. Trouvé, Frames Learned by Prime Convolution Layers in a Deep Learning Framework, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*.
- [2] A. M. Atto, H. Hadhri, F. Vernier and E. Trouvé, Multiclass Multilabel Change of State Transfer Learning from Image Time Series, *ISTE Remote Sensing Book chapter 6, Volume 2, Encyclopedia sciences*.
- [3] Basic, N.; Vasile, G.; Dedieu, J.P.; Chanussot, J.; Stankovic, S. Stochastic approach in wet snow detection using multitemporal SAR data. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2015, 12, 244–248.
- [4] Huang, L.; Li, Z.; Tian, B.-S.; Chen, Q.; Liu, J.-L.; Zhang, R. Classification and snow line detection for glacial areas using the polarimetric SAR image. *Remote Sens. Environ.* 2011, 115, 1721–1732. 29.
- [5] He, G.; Feng, X.; Xiao, P.; Xia, Z.; Wang, Z.; Chen, H.; Li, H.; Guo, J. Dry and Wet Snow Cover Mapping in Mountain Areas Using SAR and Optical Remote Sensing Data. *IEEE J. S. T. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2017.
- [6] F. Karbou, G. James, P. Durand and A. M. Atto, Thresholds and Distances to Better Detect Wet Snow Over Mountains with Sentinel-1 Image Time Series, *ISTE Remote Sensing Book chapter 5, Volume 1, Encyclopedia sciences*.
- [7] Karbou, F., G. Veyssi re, C. Col eou, A. Dufour, I. Gouttevin, Ph. Durand, S. Gascoin, M. Grizonnet (2021), Monitoring wet snow over an alpine region using Sentinel-1 observations, *Remote Sensing, Remote Sens.* 2021, 13, 381. <https://doi.org/10.3390/rs13030381>.
- [8] Longepe, N.; Shimada, M.; Allain, S.; Pottier, E. Capabilities of full-polarimetric PALSAR/ALOS for snow extent mapping. In *Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2008, Boston, MA, USA, 7–11 July 2008*; pp. IV-1026–IV-1029. 30.
- [9] Le, T.T.; Atto, A.; Trouv e, E.; Nicolas, J.M. Adaptive Multitemporal SAR Image Filtering Based on the Change Detection Matrix. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2014, 11, 1826–1830
- [10] Marin, C.; Bertoldi, G.; Premier, V.; Callegari, M.; Brida, C.; H urkamp, K.; Tschiersch, J.; Zebisch, M.; Notarnicola, C. Use of Sentinel-1 radar observations to evaluate snowmelt dynamics in alpine regions. *Cryosphere* 2020.
- [11] Philip Mann, Spatial and temporal variability of the snow environment, PhD thesis of Wilfrid Laurier University, 2018.
- [12] Nagler, T.; Rott, H.; Ripper, E.; Bippus, G.; Hetzenecker, M. Advancements for Snowmelt Monitoring by Means of Sentinel-1 SAR. *Remote Sens.* 2016, 8, 348.
- [13] Tsai, Y.L.; Dietz, S.; Opelet, A.; Kuenzer, N. Wet and Dry Snow Detection Using Sentinel-1 SAR Data for Mountainous Areas with a Machine Learning Technique. *Remote Sens.* 2019, 11, 895.

