

Proposition de Stage

Fin d'Études Ingénieurs ou Master 2

Titre du sujet

Sur les traces des débris d'avalanches par imagerie SAR satellites multi-bandes

Responsables du stage

Suvrat Kaushik, Fatima Karbou, Guillaume James, Praveen K Thakur

Collaborations : Adina Racoviteanu, Emmanuel Trouve, Laurane Charrier, Léo Viallon

Contact: suvrat.kaushik@meteo.fr

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

Le stage peut-il être effectué à distance ? : oui selon les conditions sanitaires

Contexte:

Les avalanches sont des dangers naturels redoutables en montagne, mettant en péril les infrastructures, les écosystèmes, les voies de communication, le secteur du tourisme et la vie humaine. Une cartographie précise des avalanches, incluant la délimitation des zones de déclenchement, des couloirs d'écoulement et des zones de débordement, est essentielle pour l'évaluation des risques, l'alerte précoce, l'aménagement du territoire, la conception des dispositifs de protection et la compréhension des variations de l'activité avalancheuse en lien avec notre climat changeant. Toutefois, évaluer la variabilité spatiale et temporelle de la fréquence des avalanches demeure une tâche ardue.

Les observations in situ, bien que précieuses, sont souvent limitées par l'inaccessibilité et les conditions extrêmes du terrain montagneux. Au cours de la dernière décennie, le radar à synthèse d'ouverture (SAR) est devenu un outil incontournable pour surveiller l'activité avalancheuse grâce à sa capacité à acquérir des données indépendamment de la lumière du jour et des conditions météorologiques. La mission européenne Sentinel-1, opérant en bande C, fournit des données SAR mondiales en accès libre avec un intervalle de revisite de six jours, ce qui en fait un outil essentiel pour la détection des avalanches à grande échelle. La prochaine mission conjointe de la NASA et de l'ISRO, baptisée NISAR, qui devrait permettre un accès libre à ses données dès le début du mois de novembre, marque une

étape importante. En effet, NISAR offrira une couverture mondiale en bande L et des données supplémentaires en bande S sur le sous-continent indien et certaines zones cibles. Cela renforcera considérablement la capacité d'analyse et de suivi multifréquence des zones enneigées. De plus, des données SAR de haute résolution supplémentaires peuvent être obtenues grâce aux missions existantes en bande X, comme PAZ et TerraSAR-X. De nombreuses recherches ont déjà démontré la capacité de l'imagerie SAR à détecter les débris d'avalanche grâce à une augmentation localisée de la rétrodiffusion radar dans les zones de dépôt. Cette augmentation est attribuable aux modifications de la rugosité de la surface et à l'accumulation de neige (par exemple, Eckerstorfer et al., 2020; Leinss et al., 2020; Hafner et al., 2021; Karas et al., 2021; Kneib et al., 2024; Kaushik et al., 2025). Les recherches en cours au Centre d'Études de la Neige (CEN) se concentrent sur l'amélioration des techniques de détection des avalanches par satellites. Parmi les pistes explorées figurent l'intégration de contraintes topographiques pour guider les processus de détection, l'étude du potentiel des données interférométriques telles que la cohérence et les vitesses de déplacement, et l'examen de l'apport du multi-bandes, voire la fusion, de plusieurs missions satellites.

Objectifs

Dans ce contexte, les principaux objectifs du stage seront les suivants :

1. Évaluation multifréquence des performances de détection d'avalanches

Bien que des recherches approfondies aient été menées sur la détection automatique des zones d'avalanches à l'aide de données SAR, la plupart des études existantes s'appuient principalement sur l'imagerie Sentinel-1 en raison de sa couverture mondiale et de son accès libre. Cependant, les performances de ces algorithmes de détection sur différentes fréquences radar restent peu explorées. Le premier objectif de ce stage est donc de comparer les capacités de détection d'avalanches sur plusieurs fréquences radar à l'aide des données Sentinel-1 (bande C), NISAR (bandes L et S) et potentiellement TerraSAR-X (bande X). L'étude analysera l'influence des mécanismes de diffusion dépendants de la longueur d'onde sur la sensibilité de détection dans diverses conditions de neige et de topographie. Une attention particulière sera portée à l'évaluation des performances des données NISAR en bande L pour la détection d'avalanches en milieux alpins près des forêts, où une pénétration plus profonde du signal dans la neige et la végétation pourrait améliorer la capacité de détection, corrigeant ainsi les limitations de détection en bande C.

2. Intégration des informations interférométriques pour une détection améliorée des avalanches

La plupart des algorithmes de détection d'avalanches existants reposent principalement sur les variations d'intensité de la rétrodiffusion SAR. Afin d'améliorer la fiabilité de la détection et de réduire les faux positifs, ce projet vise à intégrer des informations interférométriques, telles que la cohérence et les vitesses de déplacement. L'étude intégrera la cohérence interférométrique des données Sentinel-1 et NISAR pour distinguer les variations dues aux avalanches des autres variations de rétrodiffusion causées par d'autres facteurs (la fonte, le transport de neige par le vent, ...).

Ce stage sera effectué en partenariat avec le professeur Praveen K Thakur de l'Indian Institute of Remote Sensing, Dehradun, Inde.

Les zones d'étude seront situées dans les Alpes et l'Himalaya Indien.

Informations supplémentaires

La durée du stage est de 5 à 6 mois au premier semestre 2026.

Le montant de la gratification de stage correspond à 15% du plafond horaire de la Sécurité sociale (environ 624 euros par mois pour un temps plein en 2024).

Critères de sélection

Nous recherchons une candidate ou un candidat **enthousiaste** en **deuxième année de Master** ou dernière année d'école d'ingénieur dont le cursus comprend une ou plusieurs de ces thématiques : télédétection, géophysique, géomatique, traitement d'image, traitement du signal et/ou géostatistiques. Les connaissances en science de la Terre sont un plus.

Bon niveau en maths et physique

Bon niveau en analyse de données et programmation (Python, Matlab, R)

Une expérience ou des connaissances en sciences de la Terre et/ou dans l'utilisation des systèmes d'Information géographique (ex. QGIS) sont un plus.

Veuillez nous envoyer un CV et une lettre de motivation.

Sélection de références:

1. Eckerstorfer, M., K. Müller, J. Grahn, E. Malnes, R. Engeset, T. Humstad, A. Widforss, D. Moldestad, Norway's operational avalanche activity monitoring system using Sentinel-1, Virtual Snow Science Workshop (2020). doi:10.13140/RG.2.2.14281.36966.
2. Leinss, S., R. Wicki, S. Holenstein, S. Baffelli, Y. Bühler, Snow avalanche detection and mapping in multitemporal and multiorbital radar images from TerraSAR-X and Sentinel-1, Natural Hazards and Earth System Sciences (2020), 1783–1803. doi:10.5194/nhess-20-1783-2020.
3. Hafner, E. D., F. Techel, S. Leinss, Y. Bühler, Mapping avalanches with satellites – evaluation of performance and completeness, The Cryosphere (2021), 983–1004. doi:10.5194/tc-15-983-202.
4. Karas, A., F. Karbou, S. Giffard-Roisin, P. Durand, N. Eckert, Automatic color detection-based method applied to Sentinel-1 SAR images for snow avalanche debris monitoring, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Institute of Electrical and Electronics Engineers 60 (2021), 1–17. doi:10.1109/TGRS.2021.3131853.
5. Kneib, M., A. Dehecq, F. Brun, F. Karbou, L. Charrier, S. Leinss, P. Wagnon, F. Maussion, Mapping and characterization of avalanches on mountain glaciers with Sentinel-1 satellite imagery, The Cryosphere 18 (2024) 2809–2830. URL: <https://tc.copernicus.org/articles/18/2809/2024/>. doi:10.5194/tc-18-2809-2024.
6. Kaushik, Suvrat, Karbou, Fatima, Eckert, Nicolas, Viallon-Galinier, Léo, and Mauss, Adrien. Can Sentinel-1 Reliably Provide Regional-Scale Information on Avalanche Activity. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=5363955> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5363955>