STAGE DE RECHERCHE de Master 2ème année
Année Universitaire 2026/2027

Sujet du stage: Quand un décibel change la donne : quel impact de la calibration des radars sur notre compréhension des nuages en Europe ?

Laboratoire: IPSL
Equipe: SIRTA
Lieu du stage: LMD - Ecole Polytechnique
Durée: 4 à 6 mois

Coordonnées du responsable:
Prénom Nom: Jean-François Ribaud
Adresse: LMD/SIRTA, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau
Téléphone: 01.69.33.51.59
Email: jean-francois.ribaud@ipsl.fr

Co-encadrement:
- Jean-Charles Dupont (SIRTA) jean-charles.dupont@ipsl.fr

Contexte:
L'infrastructure de recherche européenne ACTRIS (https://www.actris.eu/) a pour mission d'étudier les nuages et les aérosols à travers un réseau de sites de mesure en Europe. Pour garantir la qualité des données collectées autour de la thématique "télédétection nuages", elle s'appuie sur :

- Un centre d'expertise : le CCRES (Center for Cloud Remote Sensing), qui supervise la calibration et la qualité des instruments de télédétection (radars, lidars, radiomètres micro-ondes, etc.).
- Le centre de données CloudNet (https://cloudnet.fmi.fi/), qui centralise, traite et distribue les données aux utilisateurs scientifiques.

Chaque site du réseau utilise des instruments standardisés pour mesurer les propriétés des nuages :

- Radar nuage : mesure la réflectivité et la vitesse des particules dans les nuages.
- Lidar automatique: analyse de la rétrodiffusion des aérosols.
- Radiomètre micro-onde: évalue l'humidité, la température de l'atmosphère ainsi que le contenu en eau des nuages.
- Disdromètre et station météo : complètent les mesures autour de la pluie et permettent également d'assurer un suivi de la calibration des radars nuages.

Ces données, une fois validées, sont utilisées par les chercheurs pour étudier la microphysique des nuages de la méso-échelle à l'échelle globale ou encore comprendre les interactions dynamique-radiatif dans les nuages.

L'enjeu scientifique: derrière un simple décibel, des conséquences majeures !

La calibration des radars nuages est un maillon essentiel de la chaîne de mesure atmosphérique. Elle conditionne directement la fiabilité des observations et, par conséquent, la qualité des produits géophysiques qui en sont dérivés.

Mais quel est réellement l'impact d'une calibration imparfaite ?

Un écart de seulement **1 dB en réflectivité radar**, qui peut sembler négligeable à première vue, est susceptible d'entraîner des erreurs de **15 à 20 % sur certains paramètres géophysiques**, notamment le contenu en glace des nuages (Protat et al., 2009 ; Protat et al., 2016 ; Ewald et al., 2019).

Derrière cette incertitude de mesure se cache donc un enjeu scientifique majeur : **dans quelle mesure les biais de calibration des radars peuvent-ils affecter notre capacité à caractériser les nuages et leurs propriétés à l'échelle européenne ?**

C'est précisément la question à laquelle ce stage propose de répondre. Et pour la première fois, l'impact de ces biais sera évalué de manière systématique sur les produits géophysiques du réseau européen ACTRIS-CCRES.

Votre mission: mesurer, comprendre et améliorer la qualité des observations nuageuses en Europe

L'unité CCRES-FR joue un rôle central dans la calibration des radars nuages déployés au sein du réseau ACTRIS. Au cours des dernières années, plusieurs campagnes de calibration ont ainsi été réalisées, permettant de caractériser le coefficient de calibration — biais et incertitude associée — d'une quinzaine de radars en Europe.

Ces données constituent une opportunité unique pour aller plus loin: **quantifier concrètement l'impact de la calibration instrumentale sur les produits scientifiques utilisés par la communauté internationale.**

Votre objectif sera d'exploiter ces résultats de calibration pour évaluer leur influence sur les produits géophysiques Cloudnet et apporter des réponses à plusieurs questions scientifiques clés :

- **Quels produits géophysiques sont les plus sensibles aux biais de calibration ?** Tous les paramètres nuageux sont-ils affectés de la même manière ?
- **La fréquence du radar change-t-elle la donne ?** Observe-t-on des sensibilités différentes entre les radars fonctionnant à 94 GHz et ceux à 35 GHz ?

- **La géographie joue-t-elle un rôle ?** L'impact des biais varie-t-il selon les caractéristiques atmosphériques et la localisation des sites européens ?
- **Jusqu'où peut-on tolérer un biais de calibration ?** À partir de quel seuil devient-il indispensable d'appliquer une correction pour garantir la qualité scientifique des données ?

Une contribution concrète à la qualité des observations atmosphériques européennes

Au-delà de l'analyse scientifique, ce stage permettra de poser les bases d'une stratégie d'amélioration de la qualité des produits Cloudnet à l'échelle du réseau ACTRIS.

Les résultats contribueront à mieux quantifier les incertitudes instrumentales, à identifier les situations nécessitant une correction et à définir des recommandations opérationnelles pour optimiser la qualité des observations radar nuages.

Pour répondre à ces questions, le travail se déroulera en 3 étapes :

1. Revue bibliographique: synthèse des travaux existants sur la calibration des radars et son impact potentiel sur les produits géophysiques.
2. Analyse des données (en python): avec un focus initial sur la station de Palaiseau (Observatoire SIRTA, www.sirta.ipsl.fr). Puis une extension progressive de l'analyse à d'autres stations, latitudes et fréquences radar du réseau, selon le temps disponible.
3. Valorisation des résultats: les conclusions de ce stage permettront de comprendre si les biais de calibration actuels ont un impact négligeable ou significatif sur les produits finaux, et d'ajuster si nécessaire les procédures de correction.

Ces travaux seront directement valorisés au travers de l'infrastructure de recherche ACTRIS (www.actrice.eu).

Prérequis:

- Formation (Master ou équivalent) en physique de l'atmosphère.
- Programmation avancée en Python (Pandas, Xarray, Matplotlib)
- Connaissances de l'outil de versionnement Git
- Capacité de synthèse et de proposition
- Avoir de bonnes capacités rédactionnelles et orales en français et en anglais

Poursuite :
Ce stage peut-il donner lieu à un sujet de thèse ? Non

Bibliographie

Ewald, F., Groß, S., Hagen, M., Hirsch, L., Delanoë, J., and Bauer-Pfundstein, M.: Calibration of a 35 GHz airborne cloud radar: lessons learned and intercomparisons with 94 GHz cloud radars, Atmos. Meas. Tech., 12, 1815–1839, https://doi.org/10.5194/amt-12-1815-2019, 2019.

Protat, A., and Coauthors, 2009: Assessment of Cloudsat Reflectivity Measurements and Ice Cloud Properties Using Ground-Based and Airborne Cloud Radar Observations. J. Atmos. Oceanic Technol., 26, 1717–1741, https://doi.org/10.1175/2009JTECHA1246.1.

Protat, A., and Coauthors, 2016: The Measured Relationship between Ice Water Content and Cloud Radar Reflectivity in Tropical Convective Clouds. J.Appl. Meteor. Climatol., 55, 1707–1729, https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0248.1.