

I N V I T A T I O N

Apport des séries temporelles multifréquences issues du diffusiomètre sur tour TropiScat-2 pour l'observation radar des forêts tropicales ; Applications au contexte de la mission BIOMASS

Soutenance de thèse de Salma EL IDRISSE ESSEBTEY

15 Décembre 2021 à 14h00

Salle de conférences - Centre d'Études Spatiales de la BIOSphère (CESBIO), Rond-Point du Professeur Francis Cambou, 31400 Toulouse

Jury

Pr. Laurent Ferro-Famil (rapporteur)
Dr. Pierre-Louis Frison (rapporteur)
Pr. Florence Tupin (examinatrice)
Pr. François Demontoux (examineur)
Dr. Ludovic Villard (co-directeur de thèse)
Dr. Pierre Borderies (directeur de thèse)



Résumé

Les expérimentations de proximité constituent un outil essentiel dans la télédétection de la terre car elles permettent d'acquérir de longues séries temporelles de mesures pouvant anticiper et accompagner le développement de nouvelles technologies spatiales. Dans le cadre de la préparation de la mission spatiale BIOMASS, le diffusiomètre TropiScat-2 installé sur la tour Guyaflux (Guyane Française) a permis d'étendre et de consolider l'expérimentation initiale TropiScat. BIOMASS constituera le premier radar imageur (SAR) en bande P (longueur d'onde $\lambda=70\text{cm}$) dont l'objectif est de cartographier la quantité de carbone stockée dans les forêts et son évolution dans le temps à l'échelle globale grâce à des mesures inédites en configuration repeat-pass interférométrique et tomographique. L'efficacité de ces modes a été démontrée à partir de résultats de campagnes aéroportées sans pour autant s'assurer de leur robustesse par rapport aux conditions d'observation variables.

A partir des séries multifréquences inédites de l'expérimentation TropiScat-2, le travail de cette thèse vise à caractériser et à comprendre les variations temporelles du signal radar rétrodiffusé sur un site de forêt tropicale dense. Les mesures en bande P, L et C ont été acquises de façon quasi-synchrone toutes les 15 minutes, constituant une base de données d'environ deux années pour ces travaux de thèse. L'exploitation de ces données a été réalisée grâce à des algorithmes implémentés au cours de ce travail, se basant d'une part sur les réponses impulsionnelles issues des mesures fréquentielles, et d'autre part sur la formation de tomogrammes dans le cas des données bande P. Des corrections adaptées ont été développées et intégrées à ces algorithmes afin de tenir compte des spécificités de ce type d'expérimentation.

L'exploitation des séries temporelles bande P a permis de quantifier la décorrélation temporelle d'une forêt tropicale à long terme, selon des intervalles de temps clés des scénarii d'acquisition de la mission BIOMASS. Pour la première fois, cette étude révèle que les cohérences temporelles à 18 jours (correspondant à l'intervalle de temps entre la première et la dernière acquisition du traitement tomographique BIOMASS) peuvent varier en fonction de la saisonnalité et impacter les performances de la mission. En outre, des valeurs significatives ont été obtenues pour les cohérences à 7 et 14 mois, ouvrant la voie à de nouvelles méthodes pour l'exploitation des données issues de différents cycles de la mission.

L'exploitation du traitement tomographique a permis d'imager dans le plan vertical la rétrodiffusion de la scène observée en bande P. Ce traitement a notamment permis de séparer les contributions au niveau du sol et celles au niveau du volume de la canopée, permettant ainsi l'analyse de leurs évolutions temporelles respectives en fonction de la saisonnalité et des mesures in-situ. Cette analyse a permis de quantifier les différences observées entre ces deux contributions, aussi bien pour les cohérences que pour les intensités, à court terme au travers des variations diurnes et à long terme via les effets saisonniers. De plus, l'évaluation relative de ces contributions constitue un élément essentiel pour la généralisation des résultats à d'autres sites de forêt et/ou de géométries d'acquisition.

L'aspect multifréquence des données TropiScat-2 a été initié par l'analyse des séries temporelles inédites en bande C. En considérant le pas de temps d'acquisition, les cohérences à 15 minutes se sont avérées très dépendantes de l'heure de référence, avec des valeurs nocturnes plus élevées qu'attendu. De plus, nos analyses ont permis de dissocier les effets convectifs liés aux mouvements des diffuseurs de ceux liés à l'évapotranspiration. Des pistes de synergies inter-fréquences ont pu être initiées à travers l'exploitation simultanée des séries temporelles en bandes P, L et C. Ces mesures quasi-synchrones ont permis de caractériser les liens entre les trois fréquences que ce soit pour les cohérences ou les intensités.

Ce travail de thèse a permis de souligner le rôle de la décorrélation temporelle non seulement comme une source de perturbation pour les applications cohérentes mais également comme un indicateur pertinent de l'évolution des forêts. De plus, les résultats obtenus permettent d'enrichir nos connaissances sur l'interaction des micro-ondes avec la végétation dense, sur lesquelles pourront se baser des scénarii d'acquisition innovants pour BIOMASS, en lien avec d'autres missions à plus haute revisite temporelle.

Mots-clefs : télédétection radar, forêts tropicales, mission BIOMASS, séries temporelles, interactions micro-ondes, tomographie.

Insights of multi-frequency radar time series derived from the TropiScat-2 tower-based scatterometer for the observation of tropical forests; applications to the BIOMASS mission

Abstract

Field experiments are an essential tool for Earth remote sensing as they allow the acquisition of long time series of measurements that can anticipate and accompany the development of new space technologies. As part of the preparation of the BIOMASS space mission, the TropiScat-2 scatterometer installed on the Guyaflux tower (French Guiana) has enabled to extend and consolidate the initial TropiScat experiment. BIOMASS mission will be the first P-band imaging radar (SAR) (wavelength $\lambda=70\text{cm}$) whose objective is to map the amount of carbon stored in forests and its evolution over time on a global scale, thanks to novel repeat-pass interferometric and tomographic measurements. The efficiency of these configurations has been demonstrated based on the results of airborne campaigns, but without ensuring their robustness with respect to varying observation conditions.

Based on the original multi-frequency dataset acquired from the TropiScat-2 experiment, this thesis aims to characterize and understand the temporal variations of the backscattered radar signal over a dense tropical forest site. Measurements at P, L and C bands were acquired quasi-synchronously every 15 minutes, constituting a database of about two years for this thesis work. The exploitation of these data was carried out thanks to algorithms implemented during this work, based on the one hand on the processing of the impulse responses derived from the frequency measurements, and on the other hand on the generation of tomograms in the case of P-band measurements. Adapted corrections were developed and integrated into these algorithms in order to take into account the particularities of this type of experiment.

The exploitation of P-band time series has allowed the quantification of the temporal decorrelation over a tropical forest in the long term, according to key time intervals for the BIOMASS mission acquisition scenarios. For the first time, this study reveals that temporal coherences at 18 days (corresponding to the time interval between the first and last acquisition of the BIOMASS tomographic processing) can vary depending on seasonal conditions and thus impact the mission performance. In addition, significant values were obtained for the 7- and 14-month coherences, opening the way to new methods for the exploitation of data obtained from different cycles of the mission.

Tomographic processing was performed to vertically image the P-band backscatter of the observed scene. This processing specifically allowed the separation of contributions at the ground level and those at the level of the canopy volume, thus allowing the analysis of their respective temporal evolutions as a function of seasonality and in-situ measurements. Such analysis permitted to assess the differences observed between these two contributions, both for coherences and intensities, in the short term through diurnal variations and in the long term through seasonal effects. The relative evaluation of these contributions is also an essential element for the generalization of the obtained results to other forest sites and/or acquisition geometries.

The multi-frequency aspect of the TropiScat-2 data was initiated by the analysis of novel C-band time series. Considering the acquisition time step, the 15-minute coherences were found to be highly dependent on the reference time, with higher than expected nighttime values. Moreover, our analyses allowed to dissociate the convective effects linked to the motion of the scatterers from those linked to evapotranspiration. Inter-frequency synergies have been initiated through the simultaneous exploitation of time series at P, L and C bands. These quasi-synchronous measurements allowed to characterize the links among the three frequencies for both coherences and intensities.

This thesis work has highlighted the role of temporal decorrelation not only as a source of disturbance for coherent applications but also as a relevant indicator of forest evolution. Moreover, the obtained results help to enrich our understanding of the interaction of microwaves with dense vegetation, on which innovative acquisition scenarios for BIOMASS can be based, in connection with other missions with higher temporal revisit.

Keywords: radar remote sensing, tropical forests, BIOMASS mission, time series, microwave interactions, tomography.