

## Soutenance de thèse

**Matthieu DELUZET** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA PSI et intitulée «*Cartographie des espèces d'une forêt par combinaison de données optiques multimodales*»

**Le 4 avril 2023 à 14h00, salle des thèses ISAE-SUPAERO**

devant le jury composé de

Mme Sophie FABRE	Directrice de recherche ONERA	Directrice de thèse
M. Xavier BRIOTTET	Directeur de recherche ONERA	Co-directeur de thèse
M. Rodolphe MARION	Directeur de recherche CEA / DAM	Rapporteur
M. Sébastien GADAL	Professeur Université Aix-Marseille	Rapporteur
M. Didier GALOP	Directeur de recherche GEODE Toulouse	Examineur
Mme Elodie MAGNANOU	Directrice de recherche Observatoire océanographique de Banyuls/Mer	Examinatrice

**Résumé :** L'impact du changement climatique sur les forêts tempérées est complexe et nécessite une meilleure compréhension. Leur réponse se manifeste par une dégradation de leur état de santé et une perte de leur biodiversité, en particulier leur essence. Les forêts anciennes de hêtre sont particulièrement intéressantes à étudier de par leur résilience et leur maturité écologique. La télédétection permet de cartographier les essences d'arbres à grande échelle. On distingue généralement trois types d'informations sur le couvert forestier fournies par la télédétection pour discriminer les essences d'arbres. L'information spectrale renseigne sur la réflectance de surface de la canopée, elle est accessible à partir de données multispectrales ou hyperspectrales. L'information spatiale renseigne sur la structure du couvert forestier obtenue à partir de données LiDAR (Light Detection And Ranging). Elle renseigne également sur la texture du couvert forestier en utilisant des données spectrales de haute résolution spatiale. L'information temporelle permet d'observer des variations liées à la phénologie des essences présentes dans la forêt, elle nécessite des acquisitions au cours de l'année avec un fort taux de revisite. L'objectif de cette thèse est d'évaluer la combinaison de ces différents types d'informations complémentaires afin d'améliorer la cartographie des essences de forêt tempérée (en particulier le hêtre). La démarche retenue pour atteindre une cartographie de l'essence de chaque arbre est mise en œuvre en deux étapes : délimitation (segmentation) des couronnes d'arbres, classification de la couronne (mono-espèce : hêtre / non hêtre, multi-espèces : 5 essences). La délimitation des couronnes d'arbres est classiquement réalisée en utilisant uniquement l'information géométrique (LiDAR). Lors de cette thèse, nous avons mis en place une méthode, fusionnant des informations géométriques et radiométriques, afin de corriger les cas de sur-segmentation d'une délimitation réalisée par une méthode de référence de la littérature watershed. La méthode a été appliquée sur trois sites de forêts tempérées ayant des caractéristiques différentes et a permis d'obtenir une augmentation de performance allant jusqu'à 25% par rapport à la méthode de référence. Cette méthode est robuste au changement de site d'étude et évolutive de part l'ajout de nouveaux critères. La seconde partie se consacre à la classification d'une ou plusieurs essences d'une ancienne forêt primaire de hêtres, la réserve naturelle nationale de la Massane. L'état de l'art montre que la combinaison des informations spectrales et géométriques est fréquemment utilisée. Dans le cadre de cette thèse l'apport de la combinaison de divers types d'informations est évalué. Pour cela, une approche orientée objet a été mise en place à partir de la

carte de délimitation réalisée au préalable utilisant des caractéristiques calculées sur une image RGB (Red Green Blue) de haute résolution spatiale, un nuage de points LiDAR aéroporté et une série temporelle d'images Sentinel-2. Les résultats montrent que la combinaison des informations permet d'obtenir les meilleures performances avec une précision globale de 85% (gain de 5 % par rapport à une combinaison de données RGB et LiDAR) Enfin une méthode de combinaison de cartes de classification a été mise en place afin de combiner une cartographie de résolution spatiale décimétrique réalisée au niveau du pixel avec des données Sentinel-2 et une cartographie de résolution spatiale 0,5 m réalisée à l'échelle de l'objet avec une combinaison des données RGB et LiDAR. Cette combinaison permet d'atteindre une précision globale de 88%.

**Mots-clés :** forêt, cartographie, Sentinel-2, délimitation, lidar, multispectral

**Summary:** The objective of this phd is to map the species of a forest by merging multimodal data and to evaluate the contribution of multitemporal data to refine this mapping. The first step will be to improve the very high spatial resolution species map by merging hyperspectral and telemetric airborne data. For this, high spectral resolution will be used to improve delineation and structure information will be introduced to refine species identification. This mapping will be considered as a reference. The second step will be to analyze the quality change of species mapping by passing from the Metric Airborne Scale to the Decametric Sentinel-2 Satellite Scale. The third step will be to track the evolution of species mapping using time series acquired by Sentinel-2. Reference mapping at very high spatial resolution will be used to interpret time series at lower spectral or spatial resolutions. The analysis of the evolution of changes will be carried out from the time series. A review will be carried out to show the contribution of temporal information on the one hand and spectral and spatial information on the other.

**Keywords :** forest, cartography, Sentinel-2, delineation, lidar, multispectral