

Invitation à la soutenance de thèse

**MODÉLISATION 3D DU TRANSFERT RADIATIF DES PRAIRIES MÉDITERRANÉENNES SUR
PLUSIEURS PHÉNOPHASES POUR ESTIMER LES TRAITS DE VÉGÉTATION
CARACTÉRISTIQUES À LA PRÉVENTION DES INCENDIES AVEC UNE APPROCHE MULTI-
CAPTEURS**

**3D RADIATIVE TRANSFER MODELING OF MEDITERRANEAN GRASSLAND ALONG
PHENOPHASES TO ESTIMATE TRAITS ADAPTED FOR FIRE PREVENTION WITH A MULTI-
SENSOR APPROACH**

Mathilda PORTERIE

Le mercredi 17 décembre 2025 à 14h
ISAE SUPAERO- Salle des thèses
10 Av. Marc Pégélin, 31400 Toulouse

Devant le jury composé de :

M. Sébastien GADAL

M. Sylvain JAY

Mme Valérie LE DANTEC

M. Abdelaziz KALLEL

Mme Karine ADELINÉ

M. Xavier BRIOTTET

UMR ESPACE, Université Aix-
Marseille

INRAE-EMMAH

CESBIO, Université de Toulouse

CRNS, Sfax University, Tunisie

ONERA

ONERA

Rapporteur

Rapporteur

Examinatrice

Examineur

Co-directrice

Directeur de thèse

Résumé

Les savanes méditerranéennes ou « tree-grass ecosystems » (TGE) sont de plus en plus menacées par la fréquence et l'intensité accrue des feux, dont la couche herbacée en constitue la principale source de combustible. La télédétection satellitaire, en donnant accès aux traits biochimiques et biophysiques de la végétation, est un outil pour la prévention du risque incendie. Peu d'études ont été réalisées pour estimer ces traits pour la couche herbacée et avec des méthodes hybrides (méthodes d'apprentissages entraînées sur des simulations de modèles de transfert radiatif ou RTM) du fait de limitations des RTM telles que : la non prise en compte de la végétation non-photosynthétique (NPV) à l'échelle feuille, et le mélange entre la végétation photosynthétique (PV) et NPV, qui composent la canopée herbacée pendant la majorité du cycle phénologique. Ainsi, l'objectif de cette thèse est de proposer une modélisation 3D des prairies méditerranéennes pour estimer les traits utiles à la prévention des incendies. Cette étude repose sur un jeu de données acquis à différentes échelles spectrales, spatiales et temporelles, sur un site de dehesa (TGE espagnole) en collaboration avec le CSIC. Ce jeu est composé de données hyperspectrales 0,4-2,5 μm terrain et aéroportées 0,4-1 μm , complétées par des images multispectrales Sentinel-2. La première étape a consisté à comprendre le comportement biophysico-chimique et spectral de la couche herbacée dans le temps et l'espace. Les résultats ont montré qu'à l'échelle locale, la variabilité spectrale maximale ne coïncidait pas avec la variabilité maximale des traits végétaux, suggérant que la biodiversité était le principal facteur de l'hétérogénéité spectrale entre capteurs et phénophases. La deuxième étape décrit la modélisation phénologique de la couche herbacée à partir de l'utilisation du modèle 3D Discrete Anisotropic Radiative Transfer (DART) et sa validation par comparaison avec le jeu de données multi-échelles. Les performances de validation sont similaires à la seule étude existante sur le sujet. La dernière étape a été l'estimation des traits végétaux avec l'algorithme Partial Least Square Regression, sélectionnée afin d'avoir une meilleure compréhension des bandes spectrales utiles à l'estimation de chaque trait. Les résultats montrent de meilleures performances à l'échelle canopée pour Sentinel-2, et similaires entre les mesures terrain et aéroportées. Cette thèse a mis en évidence les limites pour représenter la couche herbacée 3D par des modèles physiques aux deux échelles, feuille et canopée, en particulier la non prise en compte des fleurs et arbres aux différents stades phénologiques et échelle de mesure.

Mediterranean savannas, or tree-grass ecosystems (TGEs), are increasingly threatened by the frequency and intensity of fires, for which the herbaceous layer is the primary fuel source. Satellite remote sensing, by providing access to the biochemical and biophysical traits of vegetation, is a tool for fire risk prevention. Few studies have been conducted to estimate these traits for the herbaceous layer using hybrid methods (machine learning methods trained on radiative transfer model or RTM simulations) due to limitations of RTMs, such as: the failure to account for non-photosynthetic vegetation (NPV) at the leaf scale, and the mixing of photosynthetic vegetation (PV) and NPV, which together comprise the herbaceous canopy for most of the phenological cycle. Thus, the objective of this thesis is to propose a 3D model of Mediterranean grasslands to estimate traits useful for fire prevention. This study is based on a dataset acquired at different spectral, spatial, and temporal scales at a dehesa site (Spanish TGE) in collaboration with the CSIC. This dataset comprises 0.4–2.5 μm ground hyperspectral and 0.4–1 μm airborne data, complemented by Sentinel-2 multispectral images. The first step involved understanding the bio-physico-chemical and spectral behavior of the herbaceous layer over time and space. The results showed that, at the local scale, the maximum spectral variability did not coincide with the maximum variability of plant traits, suggesting that biodiversity was the main factor in the spectral heterogeneity between sensors and phenophases. The second step describes the phenological modeling of the herbaceous layer using the 3D Discrete Anisotropic Radiative Transfer (DART) model

and its validation by comparison with the multiscale dataset. The validation performance is similar to the only existing study on the subject. The final step was the estimation of plant traits using the Partial Least Squares Regression algorithm, chosen to provide a better understanding of the spectral bands useful for estimating each trait. The results show better performance at the canopy scale for Sentinel-2, and similar performance between ground and airborne measurements. This thesis has highlighted the limitations of representing the 3D herbaceous layer with physical models at both the leaf and canopy scales, particularly the failure to account for flowers and trees at different phenological stages and measurement scales.

Mots clés

Télédétection optique multi-échelle / données hyperspectrales et multispectrales / écosystèmes herbacés méditerranéens / transfert radiatif 3D/ estimation des traits de végétation / phénophases / végétation non photosynthétique / modèle hybride.