

## PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2024-32**  
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DOTA/POS

Tél. : 05 62 25 26 68

Responsable(s) du stage : Karine Adeline, Xavier Briottet, Marianne Debue

Email : [karine.adeline@onera.fr](mailto:karine.adeline@onera.fr)

### DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Télédétection optique passive, transfert radiatif, machine learning, modélisation 3D, forêt

Type de stage :  Fin d'études bac+5     Master 2     Bac+2 à bac+4     Autres

**Intitulé : Impact de la modélisation 3D sur l'estimation des traits fonctionnels de forêts Méditerranéennes par méthodes hybrides d'inversion et télédétection**

Sujet :

Les forêts méditerranéennes représentent des zones critiques qui d'ici l'an 2100 seront beaucoup plus affectées que d'autres écosystèmes terrestres [1], en particulier du fait de la recrudescence des incendies, sécheresses, et exploitations anthropiques (urbanisation, bois, terres agricoles) [2]. Il est donc important de suivre l'évolution temporelle de ces forêts et l'état de santé de certaines de leurs espèces d'arbres endémiques, pour pouvoir guider les politiques environnementales et préserver ces milieux fragiles. Les observations par télédétection apportent une solution pour cartographier et suivre dans le temps un certain nombre de variables essentielles de biodiversité (EBV) [3]. Les plus couramment étudiées sont le LAI, les pigments foliaires (taux en chlorophylles et caroténoïdes), le contenu en eau et matière sèche, qui attestent de l'état de santé de la plante.

Une solution pour estimer ces propriétés de végétation est l'emploi de méthodes hybrides d'inversion qui combinent des codes de transfert radiatif (RTM), des méthodes d'apprentissage (machine learning) et des données de télédétection. Le principe général consiste à comparer les mesures de télédétection à des scènes synthétiques de paysage 3D générées à l'aide d'un RTM. En effet, le RTM permet de générer des bases de données reliant des images simulées en réflectance au-dessus de la canopée (les sorties) à des paramètres géométriques 3D et optiques des éléments d'une scène donnée, incluant nos propriétés de végétation d'intérêt (les entrées). Ces bases de données sont utilisées pour entraîner et valider une méthode d'apprentissage (ex : PLSR, RFR, SVMR, ANN) qui est ensuite appliquée sur les images réelles de télédétection pour produire des cartes de propriétés de la végétation. La qualité d'estimation de ces propriétés de végétation dépend entre autres de la précision de la description géométrique 3D et optique des éléments composant une scène forestière : hauteur et distribution des arbres, densité et orientation des feuilles, réflectance et transmittance des feuilles, etc.

L'objectif de ce stage est d'évaluer l'influence de la modélisation géométrique 3D d'une scène forestière sur les performances d'estimation des propriétés de végétation au moyen de méthodes hybrides d'inversion et du RTM DART [4]. Deux types de modélisation 3D seront étudiées : une première détaillée provenant d'acquisitions LiDAR drone [5] et une seconde simpliste basée sur des informations provenant d'inventaires forestiers [6]. Cette dernière a déjà fait ses preuves avec des données hyperspectrales à plusieurs résolutions spatiales [6,7]. La paramétrisation optique de la scène s'appuiera sur des résultats obtenus dans notre laboratoire et évaluant l'influence des propriétés optiques du sous-couvert, du tronc/branches et des feuilles sur la simulation directe d'une image de télédétection [5].

Déroulement du stage:

- prise en main de l'ensemble du jeu de données: disponibilité des bases de données optiques mesurées, des données terrain et de télédétection, maquettes 3D pour les modélisations simplifiées à construire et celles pour les modélisations détaillées déjà construites.
- définition de plans d'expériences (nombre et paramétrage optimisé des simulations DART en fonctions des variables d'entrées les plus importantes expliquant les sorties) en s'appuyant sur la librairie python Openturns et exécution des simulations DART sur le serveur grand calcul ONERA (codes disponibles).

- estimation des propriétés de végétation en utilisant le code d'inversion disponible PHYTREE: choix de la base d'images simulées par le RTM DART par l'une des deux modélisations géométriques, choix de la méthode d'apprentissage (PLSR, GPR, MLP, GBR, SVR, RFR) et entraînement/validation, application sur l'image réelle de télédétection et calcul des cartes d'estimation des traits de végétation, évaluation des performances par comparaison avec les données mesurées sur le terrain.
- bilan des performances obtenues selon les propriétés de végétation en fonction du type de modélisation et du type de donnée de télédétection (caractéristiques spectrales et spatiales).

Ces travaux se font dans le cadre du projet APR CNES TOSCA SentHyMED [8] qui étudie deux forêts Méditerranéennes de chênes décidus et sempervirents au Nord de Montpellier (Puéchabon et Pic Saint Loup). Les images de télédétection disponibles sont des données aéroportées hyperspectrales AVIRIS-Next Generation à 1 et 3 m de résolution spatiale, satellitaires multispectrales Sentinel-2 à 10/20 m et hyperspectrales PRISMA et DESIS à 30 m. Des données simulées permettront également d'étudier la faisabilité d'une nouvelle mission spatiale hyperspectrale portée par le CNES (BIODIVERSITY) [9].

Si vous êtes intéressé par le sujet, veuillez envoyer votre CV et lettre de motivation à K. Adeline ([karine.adeline@onera.fr](mailto:karine.adeline@onera.fr)).

Références :

[1] Sala et al., "Global biodiversity scenarios for the year 2100," *Science*. 2000, doi: 10.1126/science.287.5459.1770.

[2] Underwood et al., "Threats and biodiversity in the mediterranean biome," *Divers. Distrib.*, 2009, doi: 10.1111/j.1472-4642.2008.00518.x.

[3] Pereira et al., "Essential biodiversity variables," *Science*. 2013, doi: 10.1126/science.1229931.

[4] Debue et al., « Simulations d'images hyperspectrales de forêts méditerranéennes à partir du modèle de transfert radiatif DART, de données terrain et drone LiDAR adéquation à des images aéroportées et satellitaires », 8th symposium of SFPT-GH, 5-6 July 2023, Paris, poster.

[5] Miraglio et al., "Assessing Vegetation Traits Estimates Accuracies from the Future SBG and Biodiversity Hyperspectral Missions Over two Mediterranean Forests". *International Journal of Remote Sensing*, 43:10, 3537-3562, 2022, doi: 10.1080/01431161.2022.2093143.

[6] Adeline et al., « Projet HyperMED : estimation des traits fonctionnels de forêts méditerranéennes à canopée ouverte par imagerie hyperspectrale en prévision des missions BIODIVERSITY et SBG », 8th symposium of SFPT-GH, 5-6 July 2023, Paris, oral.

[7] Gastellu-Etchegorry et al., « Modeling radiative transfer in heterogeneous 3-D vegetation canopies », *Remote Sensing of Environment*. vol. 58(2), p. 131-156. 1996, doi : 10.1016/0034-4257(95)00253-7.

[8] <https://remotetree.sedoo.fr/senthymed/>

[9] Briottet et al., « BIODIVERSITY – Une Nouvelle Mission Spatiale Pour Le Suivi Des Ecosystèmes A Une Echelle Fine ». *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 2022, 224(1), 33–58. <https://doi.org/10.52638/rfpt.2022.568>.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? **Non**

Méthodes à mettre en oeuvre :

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Recherche théorique            | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input type="checkbox"/> Travail de documentation        |
| <input type="checkbox"/> Recherche expérimentale        | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : **Oui**

**Durée du stage :** Minimum : 5 mois Maximum : 5 mois (6 mois sur dérogation uniquement)

Période souhaitée : à partir de février/mars 2024

**PROFIL DU STAGIAIRE**

Connaissances et niveau requis : traitement du signal/image, télédétection, transfert radiatif, physique, machine learning, programmation python	Ecoles ou établissements souhaités : Master 2 ou 3 <sup>ième</sup> année d'école d'ingénieur
---	---