

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

### **Intitulé : Suivi de la résilience du patrimoine arboré méditerranéen par télédétection hyperspectrale**

Référence : **PHY-DOTA-2018-Numéro d'ordre**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Laboratoire d'accueil à l'ONERA :**

Branche : Physique	Lieu (centre ONERA) : Toulouse
Département : Optique et Techniques Associées (DOTA)	
Unité : POS	Tél. : 05 62 25 26 68
Responsable ONERA : Karine Adeline	Email : karine.adeline@onera.fr

**Directeur de thèse envisagé :**

Nom : Xavier Briottet (directeur, ONERA), Susan Ustin (co-directrice, Université de Californie, Davis)  
Adresse : ONERA, 2 avenue Edouard Belin, 31000 Toulouse  
CSTARS, 139 Veihmeyer Hall/ One Shields Avenue, University of California, Davis, CA 95616-8617  
Tél. : 05 62 25 26 05                      Email : xavier.briottet@onera.fr  
+1 530 752 0621                              slustin@ucdavis.edu

Sujet : Le biome « forêts, terres boisées et broussailles méditerranéennes » est l'un des 14 biomes mondiaux identifiés par le WWF (World Wildlife Fund), pour lequel les régions européennes du sud représentent des zones critiques dû à l'impact du changement climatique (fréquence des sécheresses), l'érosion de la biodiversité et de la biomasse (disparition d'espèces endémiques, feux de forêt, exploitation du bois), et des activités anthropiques (expansion des terres agricoles, élevage intensif, urbanisation). La compréhension du fonctionnement de ce biome et de son évolution nécessite l'estimation de paramètres décrivant sa biodiversité et ses services écosystémiques (définis par les Essential Biodiversity Variables [1]). La télédétection permet un suivi sur de grandes surfaces de ces écosystèmes. Les travaux actuels portent sur la caractérisation des espèces d'arbres à l'échelle du peuplement (abondance, richesse, distribution). Peu d'entre eux portent sur l'évaluation des caractéristiques fonctionnelles des espèces d'arbres, dont leurs propriétés biochimiques. Ces dernières sont reliées à la phénologie (pigments foliaires dont chlorophylle [2]), le stress hydrique (contenu en eau) et la biomasse (contenue en matière sèche). Ainsi, elles sont des indicateurs du fonctionnement des plantes, intervenant sur leur productivité et leurs fonctions écosystémiques.

Compte tenu des spécificités de ces milieux, leur observation par télédétection requiert une grande richesse spectrale sur le domaine optique 0.4-2.5  $\mu\text{m}$  et une résolution spatiale adaptée aux échelles d'étude : individu, population et écosystème. Les missions d'observation de la Terre existantes ne répondent pas à tous ces critères. Néanmoins, la mission satellitaire multispectrale VENUS à une résolution spatiale de 10m avec des acquisitions dans le domaine 0.4-0.9  $\mu\text{m}$ , permettra d'obtenir des résultats préliminaires en attendant des projets de nouvelles missions satellitaires hyperspectrales en cours d'étude dont : ENMAP (DLR) et HYSPIRI (NASA) de résolution spatiale 30m à l'échelle de la population, et HYPXIM (CNES) de résolution 8m aux échelles population/individu.

Pour un pixel de l'image, l'estimation des propriétés biochimiques reste très sensible aux caractéristiques des forêts méditerranéennes (faible couverture arborée, impact du sol, conditions

environnementales) et aux caractéristiques intrinsèques des individus composant le couvert végétal, dont leur structure 3D (forme du houppier, forte présence d'éléments ligneux, faible densité foliaire). Pour des résolutions spatiales faibles, deux nouvelles limitations s'ajoutent : la présence de plusieurs individus et de plusieurs espèces d'arbres au sein du même pixel de l'image.

L'objectif de cette thèse est d'évaluer l'apport de la prise en compte de la structure d'un arbre pour une espèce donnée et la composition des espèces au sein du pixel [3], pour améliorer l'estimation des propriétés biochimiques des arbres par télédétection hyperspectrale multi-temporelle, et permettre un suivi fin de l'état de santé des arbres par type d'espèce.

La méthodologie pour estimer ces grandeurs biochimiques repose sur l'utilisation d'outils de transfert radiatif 3D de canopée et de feuille, PROSPECT [4] et DART [5], avec une stratégie d'inversion par LUT (Look-Up Table). Les bases de données de réflectances spectrales simulées au-dessus de la canopée dans les LUT générées seront comparées avec les images hyperspectrales, afin de remonter à l'estimation des propriétés biochimiques et à leur cartographie spatiale. Le travail de thèse se fera sur trois échelles d'observation : individu, population et écosystème. Premièrement, on évaluera à l'échelle de l'individu, l'impact de la structure d'un arbre isolé sur l'estimation de ces propriétés biochimiques pour une espèce donnée. La création des maquettes 3D d'arbres pour l'utilisation de DART s'appuiera sur des données lidar terrestre et des formes géométriques simplifiées. Deuxièmement, l'étude se poursuivra sur le groupement d'arbres, en prenant en compte des approches mono et pluri-espèces sur des parcelles arborées sélectionnées, et en reprenant les structures d'arbres définies dans la première partie. Enfin troisièmement, le traitement de l'ensemble de la zone de l'écosystème qui a été imagée sera considéré.

A chaque étape, ces méthodes seront validées avec des données terrain et aéroportées hyperspectrales Aviris-Next generation (2m) et Aviris (18m) réalisées sur les sites d'étude entre 2013 et 2016 par l'université de Davis, Californie (CSTARS) et la NASA [6], pour préparer la mission HYSPIRI. Ce jeu de données est unique. Les zones acquises sont de savanes boisées en Californie mêlant pâturages et forêts éparses de chênes et de conifères avec 1 à 3 espèces d'arbres endémiques, dans le cadre de la sécheresse ayant débutée en 2013. La résilience des espèces sera évaluée en fonction du stress hydrique. La thèse comprendra un séjour au sein du laboratoire CSTARS, ainsi que la participation à une campagne expérimentale sur les sites étudiés.

Dans un dernier temps, la méthode sera appliquée sur un site de forêt éparse sud-européenne en région Occitanie avec la collaboration du laboratoire CEFE et DYNAFOR. Dans ce but, une campagne aéroportée et de mesure terrain est prévue au cours de la thèse.

Un stage financé par l'ONERA "Evaluation de l'impact de la structure d'un arbre sur l'estimation des propriétés biochimiques de la végétation" devrait constituer une étude préliminaire à ce sujet de thèse proposé.

[1] Skidmore. Essential biodiversity variables (EBV) and plant functional traits from earth observation and image spectroscopy : powerpoint. 1-13, 2013.

[2] Adeline et al., Spectral sensitivity of radiative transfer inversion for seasonal canopy pigments estimation from AVIRIS data in a woodland savanna ecosystem. Whispers, 8th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing : Evolution in Remote Sensing, August 2016 (Best paper award).

[3] Adeline et al., The Role of Species, Structure, and Biochemical Traits in the Spatial Distribution of a Woodland Community, AGU Fall meeting, oral, 2015.

[4] Gastellu-Etchegorry et al., Modeling radiative transfer in heterogeneous 3-D vegetation canopies. Remote sensing of environment, 58(2), 131-156, 1996.

[5] Féret et al., PROSPECT-D: Towards modeling leaf optical properties through a complete lifecycle. Remote Sensing of Environment, Volume 193, 204-215, 2017.

[6] Ustin et al., Multiyear Multiseasonal Changes in Leaf and Canopy Traits Measured by AVIRIS over Ecosystems with Different Functional Type Characteristics Through the Progressive California Drought 2013-2015, AGU Fall meeting, oral, 2015.

**Collaborations extérieures** : Susan Ustin (Université de Californie, Davis, CSTARS) ; Crystal Schaaf (Université de Massachussetts, Boston) ; Jean-Philippe Gastellu-Etchegorry (CESBIO) ;

Jean-Baptiste Féret (IRSTEA-TETIS) ; Jean-Louis Martin (CEFE) ; Clélia Sirami (DYNAFOR)

### **PROFIL DU CANDIDAT**

**Formation : Ecoles d'ingénieurs optique ou physique, Master Recherche en physique ou mathématiques appliquées**

**Spécificités souhaitées : traitement signal/image, transfert radiatif, programmation scientifique, modélisation 3D, bon niveau en anglais**