

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2022-01**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DOTA

Tél. : 05 62 25 26 29

Responsable(s) du stage : Véronique Achard

Email. : veronique.achard@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Télédétection

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

Intitulé : Détection des micro et macroplastiques de petites dimensions à partir de mesures spectrales

Sujet :

Des millions de tonnes de plastiques sont rejetés chaque année dans l'environnement. Depuis 2015, 6.9 milliards de tonnes de déchets plastiques ont été produits dont 79% accumulés dans des décharges ou dans l'environnement [<https://www.nationalgeographic.fr/le-plastique-en-10-chiffres>]. Cette pollution a notamment pour conséquence la pollution des sols mais également celle des océans puisque 80% des plastiques observés dans les océans proviennent des continents.

Jusqu'à présent peu de méthodes permettent de détecter et de quantifier de manière automatique les déchets plastiques sur la surface continentale. En particulier, la présence de microplastiques (μP) dans le sol terrestre n'a fait l'objet que d'un nombre très limité d'études, exclusivement en laboratoire, et ce très récemment, bien que leur quantité soit estimée comme étant de 4 à 28 fois supérieure à celle des μP dans les océans.

Le premier objectif du stage est la détection des plastiques par imagerie hyperspectrale depuis un drone. L'imagerie hyperspectrale, du fait de sa richesse spectrale (quelques centaines de bandes spectrales) permet une meilleure détection et caractérisation des matériaux présents sur la surface survolée que l'imagerie multispectrale, et l'acquisition depuis un drone permet d'imager la scène avec une très haute résolution spatiale (quelques centimètres). Les méthodes de détection reposeront notamment sur le calcul d'indices spectraux dédiés à la détection des matériaux hydrocarbonés. On mettra d'accent sur la réduction de fausses alarmes qui peuvent se produire sur d'autres matériaux hydrocarbonés que les plastiques. Pour cela de nouveaux indices ou des combinaisons d'indices spectraux pourront être définis.

Le second objectif est la quantification des plastiques aux échelles pixellique et sub-pixellique. Les méthodes envisagées sont basées sur le démélange spectral, qui consiste à extraire de manière automatique les spectres des matériaux purs présents dans l'image et à estimer l'abondance de chaque matériau au sein des pixels.

Le stage se déroulera selon le planning suivant :

1. Lecture de quelques articles de référence.
2. Analyse de spectres de plastiques contenus dans une base de données et acquisition de mesures spectrales complémentaires en laboratoire avec une sonde de contact.
3. Détection des plastiques en se basant sur des méthodes existantes au DOTA que l'on cherchera à améliorer pour réduire les fausses alarmes. En particulier on définira de nouveaux indices spectraux. La détection sera testée sur les mesures acquises en laboratoire, sur des mesures spectro-radiométriques réalisées sur le terrain en 2021, et sur des images hyperspectrales acquises depuis un drone au cours de deux campagnes réalisées en 2021. La première campagne s'intéressait en particulier à la pollution en milieu rural par des plastiques agricoles, et la seconde, réalisée dans la baie du Mont Saint Michel, aux plastiques déposés par les marées.
4. Enfin, des méthodes visant à quantifier les plastiques présents sur les images drone seront mises en œuvre. Les méthodes de démélange spectral existantes au DOTA seront utilisées et une méthode semi-

supervisées exploitant la base de données réalisée dans la tâche 2 sera développée. Les résultats des deux approches seront comparés

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 checked="" type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : **Oui**

Durée du stage : Minimum : 4 mois Maximum : 5 mois (6 mois sur dérogation uniquement)

Période souhaitée : janvier-juillet 2022

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis : Connaissances en traitement du signal ou d'images Programmation en Python, Matlab ou IDL	Ecoles ou établissements souhaités : Ecole d'ingénieur ou Master 2
---	---

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2022-02**

(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DOTA/POS

Tél. : 0562252859

Responsable(s) du stage : S. Fabre

Email : sophie.fabre@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Télédétection, environnement, végétation

Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4 Autres**Intitulé : Cartographie des espèces d'un ancien site de traitement de minerais à partir d'une image hyperspectrale à haute résolution spatiale**

Sujet :

Le suivi de la végétation est essentiel non seulement pour l'analyse des changements environnementaux, mais également pour la surveillance de l'environnement naturel dégradé par des activités anthropiques. Parmi les effets du stress environnemental sur la biodiversité et les répercussions des activités anthropiques sur la végétation, des changements souvent irréversibles de la composition des espèces (disparition ou apparition de nouvelles espèces), de leur assemblage et de leur distribution spatiale sont observés. L'identification des espèces, leur cartographie et leur suivi constituent donc une source d'information majeure pour le suivi d'un site anciennement pollué réhabilité. De nombreux travaux ont montré l'intérêt de la télédétection optique du domaine spectral réflectif (0.4-2.5 μm) pour cartographier les espèces végétales ou les habitats (assemblage d'espèces).

Des travaux antérieurs ont conduit d'une part à effectuer des relevés terrain des habitats en développement sur un ancien site de traitement de minerais et d'autre part à cartographier les habitats à l'échelle décimétrique à partir d'une série temporelle d'images acquise par les instruments satellitaires multispectraux Sentinel-2.

L'objectif de ce stage est de comparer différentes méthodes de classification des espèces sur ce même site d'étude à une échelle spatiale plus fine en exploitant une image hyperspectrale aéroportée couvrant le domaine (0.4-2.5 μm) à résolution spatiale métrique. Pour cela, un outil de classification supervisée existant basé sur des approches de machine learning sera exploité.

Les travaux de ce stage seront réalisés en plusieurs étapes :

- Prise en main de l'outil de classification et introduction d'une approche d'apprentissage profond, par exemple basée sur les réseaux de neurones convolutifs 3D.
- Définition des classes de végétation à discriminer adaptées à l'échelle métrique.
- Application sur le jeu de données disponible et validation des résultats par rapport aux relevés terrain.
- Analyse des performances des différentes approches de classification supervisée et analyse de l'apport de l'information spectrale à haute résolution spatiale en comparaison à l'information temporelle renseignant sur la phénologie des espèces.

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 : Février - Septembre 2022

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :

Télédétection, machine learning, physique de
la mesure, physiologie végétale

Ecoles ou établissements souhaités :

Master (SIGMA, STPE...), ENSAT, ISAE, ENSEEIHT
...

GEN-F218-3

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2022-03**

(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : TOULOUSE

Département/Dir./Serv. : DOTA/POS

Tél. : 0562252608

Responsable(s) du stage : Aurélie Michel

Email. : aurelie.michel@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Télédétection optique passive et active

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

Intitulé : Impact de la connaissance a priori sur l'estimation de la température de surface en milieux urbains pour la future mission TRISHNA

Sujet : TRISHNA est une future mission spatiale franco-indienne de résolution spatiale ~60 m et 4 bandes spectrales dans le TIR (Thermal InfraRed) qui a pour objectif notamment d'estimer la température de surface LST (Land Surface Temperature) en ville afin d'étudier l'effet d'ICU (Îlot de Chaleur Urbain). Dans le cas de surfaces planes naturelles et d'images TIR à résolution spatiale moyenne/grande (~100m), la LST est obtenue avec une précision de l'ordre de 1 K en utilisant les algorithmes existants comme le TES (Temperature and Emissivity Separation). Mais sur les milieux urbains, les performances sont dégradées dues à plusieurs phénomènes : 1/ Les effets d'adjacence (Zheng 2019) ; 2/ La structure 3D (Roupioz 2018, Zheng 2020) ; 3/ La taille moyenne des objets inférieure à la taille des pixels observés par le capteur (Granero-Belinchon 2019, Small 2001) ; 4/ La large plage de variation de l'émissivité des matériaux notamment artificiels, impactant directement la qualité de l'estimation de la LST (David A. Artis 1982). Afin de pallier au point 4, les projets APR-CNES CATUT et AMISTAD ont permis de simuler des données TRISHNA et d'adapter le TES aux milieux urbains en prenant en compte un a priori sur la classification des matériaux, grâce à des données aéroportées de la campagne ESA-DESIREX 2008. Cet a priori permet de différencier les matériaux artificiels des matériaux naturels pour que le TES puisse considérer la variabilité forte de l'émissivité sur les matériaux artificiels. Le projet SCO-THERMOCITY a permis d'appliquer ce TES modifié aux données ASTER et ECOSTRESS en prenant comme a priori une carte d'imperméabilité du sol et en réalisant une couche qualité des données comptabilisant les autres sources d'erreur.

Le but du stage est de comparer, puis sélectionner le choix de la connaissance a priori donnant les meilleures performances d'estimation de la LST. Les résultats seront évalués sur 2 jeux de données : ESA-DESIREX (Madrid, 2008) et AI4GEO/CAMCATT (Toulouse, 2021). Différentes étapes sont ainsi identifiées : production d'une carte d'imperméabilité du sol et/ou de classification des matériaux, application de ce TES modifié sur les données originales et simulées TRISHNA, validation/comparaison avec les jeux de mesures disponibles, bilan d'erreur des différentes étapes de traitement. Cette étude, réalisée dans le contexte de l'APR-CNES CUTE, permettra de consolider les connaissances sur la précision de la LST, d'anticiper la valorisation de produits TRISHNA et confirmer les sources de données nécessaires à un protocole de validation. A l'issue de ce stage, le TES retenu pourra être hybridé avec une méthode corrigeant des effets d'adjacence développé par ICube à Strasbourg (hors cadre du stage).

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 : **Non**

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

Période souhaitée : Mars à Août 2021

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :

Traitement du signal et des images, transfert radiatif, programmation Python

Ecoles ou établissements souhaités :

Universités ou écoles d'ingénieur-es

GEN-F218-3

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2022-04**

(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. :DOTA/POS

Tél. : 05 62 25 26 68

Responsable(s) du stage :

Email :

CESBIO: Jean-Philippe Gastellu-Etchegorry

karine.adeline@onera.fr

ONERA: Karine Adeline, Thierry Gaubert, Xavier Briottet, Sidonie Lefebvre

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Télédétection, transfert radiatif, deep learning

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

Intitulé : Estimation de variables de biodiversité de forêts méditerranéennes par deep learning avec des données de télédétection pluri-dates pour les futures missions hyperspectrales

Sujet : La rapide dégradation de la biodiversité de la végétation ces dernières décennies a mené les écologues à définir des variables essentielles pour la caractériser (EBV : Essential Biodiversity Variables). La télédétection permet le suivi de certaines de ces EBV sur de grandes surfaces comme celles caractérisant les espèces d'arbres à l'échelle de la population (abondance, richesse, distribution) et l'évaluation des caractéristiques fonctionnelles pour chaque espèce d'arbres, dont leurs propriétés biophysiques et biochimiques. Ces derniers sont des indicateurs pertinents du fonctionnement des plantes, intervenant sur leur productivité et leurs fonctions écosystémiques. D'une part, les propriétés biochimiques les plus étudiées par télédétection sont les pigments foliaires (chlorophylle et caroténoïdes), le contenu en eau et en matière sèche, qui interviennent respectivement dans le cycle phénologique de la plante, son stress hydrique et sa biomasse. D'autre part parmi les propriétés biophysiques, celle la plus communément étudiée est l'indice foliaire ou LAI (Leaf Area Index) relié à la densité de feuilles de l'arbre.

A partir de données de télédétection, l'estimation de ces propriétés nécessite une forte richesse spectrale dans le domaine optique 0.4-2.5 μm (notamment les propriétés biochimiques) et une résolution spatiale adaptée à l'échelle d'étude. Les futures missions satellitaires hyperspectrales d'observation de la Terre prévoient un choix de capteurs à une résolution spatiale de 30 m avec un rapport signal-à-bruit élevé (PRISMA, EnMAP, SBG) et à 8 m avec un rapport signal-à-bruit plus faible (BIODIVERSITY). Pour une résolution de 8 m, les études pourront être conduites aux échelles individu/population (1 à 2 arbres dans un pixel), alors que pour une résolution de 30 m, uniquement celle de la population (plusieurs arbres dans un pixel) sera envisagée. Pour des écosystèmes de savanes boisées (forêts éparses de climat méditerranéen), l'estimation des propriétés biophysico-chimiques est sensible dans le premier cas aux caractéristiques relatives des individus composant le couvert végétal telle que la structure des arbres (faible LAI, forte présence d'éléments ligneux, forme du houppier) tandis que dans le second cas s'ajouteront les caractéristiques générales de l'écosystème (faibles taux de couverture boisée et impact du sol).

D'un point de vue méthodologique et du fait des spécificités du milieu étudié, une manière courante d'estimer ces propriétés repose sur la méthode d'inversion par LUTs (Look Up Tables) ou bases de données simulées par un modèle physique de transfert radiatif. Cette méthode consiste tout d'abord à générer une LUT de réflectances de la canopée simulant le spectre d'un pixel d'une image de télédétection à partir d'une maquette 3D modélisant la scène (i.e. prenant en compte les caractéristiques structurelles de l'arbre, le type de sol et les conditions d'illumination), en faisant varier les propriétés biophysiques et biochimiques qu'on cherche à estimer. Ensuite, l'inversion consiste à trouver la meilleure correspondance entre cette LUT de réflectances simulées et la réflectance mesurée provenant de l'image de télédétection, afin de remonter à l'estimation de ces propriétés de végétation. Une alternative repose sur l'emploi de méthodes hybrides avec l'entraînement de méthodes d'apprentissage sur ces LUTs [1], telles que les méthodes de machine learning et de deep learning. Ces dernières pourront bénéficier de la grande taille des LUT déjà générées comme bases d'apprentissage et de validation pour entraîner des modèles prédictifs qui seront ensuite appliqués

sur les images de télédétection. Néanmoins, les performances entre les méthodes hybrides (machine et deep learning) et la méthode d'inversion par LUT diffèrent selon l'échelle étudiée (feuille vs canopée), le site d'étude, le modèle de transfert radiatif, le type de capteur et la propriété de végétation. A notre connaissance, aucune étude n'a été menée sur des forêts peu denses pour estimer les 5 propriétés de végétation précitées avec notamment l'utilisation de méthodes de deep learning.

L'objectif de ce stage est d'évaluer et inter-comparer les performances des méthodes de deep learning, machine learning et d'inversion par LUT pour élaborer une cartographie des propriétés biophysiques et biochimiques des arbres de forêts méditerranéennes afin de suivre leur état de santé au cours du temps, notamment dans un contexte de sécheresse. Cette comparaison s'effectuera à plusieurs dates et pour plusieurs résolutions spatiales, dont celles correspondant aux futures missions satellitaires hyperspectrales à 8 m et à 30 m.

Deux sites de savanes boisées typiques de forêts méditerranéennes seront à l'étude. Ils sont situés en Californie dans la Sierra Nevada. Plusieurs campagnes terrain ont été menées en concomitance avec des acquisitions hyperspectrales aéroportées par le capteur AVIRIS-Classic à 18 m de résolution spatiale entre 2013 et 2019, et une acquisition supplémentaire à une date avec le capteur AVIRIS-Next Generation à 2m. Toutes les données (terrain et de télédétection) sur les deux sites sont actuellement traitées dans le cadre de la thèse de Thomas Miraglio [2] et d'un précédent stage en 2020.

Les travaux de stage porteront sur (1) la simulation d'images synthétiques satellitaires à plusieurs résolutions spatiales à partir des images aéroportées AVIRIS, (2) la génération des LUT avec l'outil de transfert radiatif pour les différentes dates d'acquisition à partir de maquettes 3D, (3) la mise en place et l'application de méthodes de deep learning pour l'estimation et la cartographie des propriétés biophysiques et biochimiques, en prenant la ou les méthodes existantes les plus appropriées, et (4) l'application de la méthode d'inversion par LUT et des méthodes hybrides avec machine learning, et (5) la comparaison des résultats entre les trois catégories de méthode. Pour cette étude, l'outil de transfert radiatif utilisé sera DART [3] développé par le CESBIO. A l'ONERA, des outils sont d'ores et déjà disponibles pour répondre aux tâches (1), (2) et (4) grâce à des travaux en cours et passés [4,5,6], dont un simulateur end-to-end d'images, la méthode d'inversion par LUT, les méthodes de machine learning PLSR (Partial Least-Square Regression) et RF (Random Forest), et la disponibilité des maquettes 3D pour la modélisation. Ainsi pour ces travaux de stage, l'accent sera majoritairement porté sur la tâche (3). Du fait de la possession de deux jeux de données très similaires sur deux sites différents, l'originalité de cette tâche sera de trouver la configuration la plus adéquate des hyperparamètres des méthodes de deep learning afin d'obtenir des estimations correctes des propriétés recherchées à la fois sur les deux sites.

Ce stage financé par le CESBIO et se déroulant dans les locaux de l'ONERA Toulouse s'inscrit dans le cadre du projet APR CNES HyperMED - « Evaluation des caractéristiques fonctionnelles des essences d'arbres pour le suivi de leur état de santé pour des écosystèmes de forêts méditerranéennes pour un imageur hyperspectral ». Ce travail se fera en collaboration avec l'équipe DART du CESBIO, S. Ustin de l'Université de Davis, Californie, USA et M. Huesca de l'Université de Twente, Pays-Bas.

Références :

- [1] Ali et al., Machine learning methods' performance in radiative transfer model inversion to retrieve plant traits from Sentinel-2 data of a mixed mountain forest. *Int. J. Digit. Earth* 2021, 14, 106–120.
- [2] Thèse 2018-2021 ONERA-Région Occitanie "Suivi de la résilience du patrimoine arboré méditerranéen par télédétection hyperspectrale".
- [3] Gastellu-Etchegorry et al., Modeling radiative transfer in heterogeneous 3-D vegetation canopies. *Remotesensing of environment*, 58(2), 131-156, 1996.
- [4] Miraglio, T. et al., Monitoring LAI, Chlorophylls, and Carotenoids Content of a Woodland Savanna Using Hyperspectral Imagery and 3D Radiative Transfer Modeling. *Remote Sens.* 2019, 12, 28.
- [5] Miraglio, T. et al., Joint Use of PROSAIL and DART for Fast LUT Building: Application to Gap Fraction and Leaf Biochemistry Estimations over Sparse Oak Stands. *Remote Sens.* 2020, 12, 2925.
- [6] Miraglio, T. et al., Impact of Modeling Abstractions When Estimating Leaf Mass per Area and Equivalent Water Thickness over Sparse Forests Using a Hybrid Method. *Remote Sens.* 2021, 13, 3235.

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 mars 2022 (négociable)		
PROFIL DU STAGIAIRE		
Connaissances et niveau requis :	Ecoles ou établissements souhaités :	
traitement du signal/image, transfert radiatif, deep learning, python	MR2 ou 3ième année d'école d'ingénieur (INSA, ISAE, ENSEEIHT, etc.)	

GEN-F218-3

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2022-05**

(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DOTA/POS

Tél. : 05 62 25 28 83

Responsable(s) du stage : Laure Roupioz

Email : laure.roupioz@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Télédétection active et passive

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

Intitulé : Evaluation des températures de surface simulées par Solene microclimat à l'aide de mesures in-situ

Sujet :

Le projet APR CNES DIRT explore actuellement l'apport des données infrarouge thermique (IRT) satellitaires pour la cartographie de la température de l'air et d'indices de confort en milieu urbain en s'appuyant sur la modélisation micro-climatique (modèle Solene microclimat du CEREMA). Dans le cadre de la campagne de mesures terrain CAMCATT (APR CNES) qui s'est déroulée sur Toulouse en juin 2021, un jeu de données in-situ a été collecté pour la validation des simulations micro-climatiques et l'évaluation de la méthode mise en place dans le projet. L'objectif de cette expérimentation était de suivre l'évolution de la température de surface d'un bâtiment et de son environnement sur une période de plusieurs jours afin d'en mesurer les variations à l'échelle locale et de bien saisir tous les échanges radiatifs entre les différents éléments de la scène considérée. La température des surfaces extérieures et intérieures d'un bâtiment d'intérêt ainsi que des surfaces avoisinantes a donc été mesurée à l'aide de différents instruments :

- Des capteurs iButtons, mesurant directement par contact la température de surface. Une cinquantaine de capteurs a été répartie sur l'ensemble de la scène pendant 7 jours ;
- Une caméra thermique, mesurant la température de brillance d'une portion du bâtiment instrumenté. Des images ont été acquises toutes les 5 minutes en continu pendant 4 jours ;
- Des radiomètres KT19, mesurant précisément la température de surface en un point donné. Des mesures ont été faites sur différentes surfaces et à proximité de iButtons sur deux périodes de 4h, de nuit et de jour ;
- Des capteurs (HOBO), mesurant la température de l'air dans quelques logements.

De par leur nombre, les iButtons fournissent un échantillonnage représentatif de l'ensemble d'une façade mais la précision de la mesure reste limitée. A l'inverse, les KT19 sont très précis mais ne mesurent que quelques points dans la scène. La caméra thermique, quant à elle, acquiert une image apportant ainsi une information spatialisée sur les variations locales pour une zone de plusieurs mètres carrés. En plus de ces acquisitions, les propriétés optiques des différentes surfaces de la scène ont été mesurées ainsi que la température de l'air et l'humidité à proximité de la scène.

La complémentarité des différentes mesures réalisées devrait permettre la comparaison des données collectées par les iButtons avec les mesures ponctuelles plus précises des KT19 ainsi que les images IRT acquises par la caméra afin de vérifier que les données sont utilisables pour la validation de Solene microclimat. Cela permettra également d'approfondir l'étude des réflexions IRT entre les bâtiments et de valider les simulations micro-climatiques pour la scène considérée. Ce travail implique donc :

- Le prétraitement des images IRT pour convertir les températures de brillance en températures de surface ;
- L'évaluation des mesures iButtons par comparaison avec les images IRT et les mesures des KT19 ;
- La construction de la maquette 3D de la scène considérée à partir du modèle numérique de surface ;
- La réalisation de simulations à l'aide de Solene microclimat ;
- L'analyse des effets de réflexion IRT entre les bâtiments ;
- La validation des simulations micro-climatiques pour la scène considérée.

Selon l'avancée des travaux, il pourra être envisagé de comparer les mesures de températures au sol aux données IRT aéroportées acquises sur la zone pendant la campagne CAMCATT.

Ce stage sera encadré en collaboration avec Auline Rodler de l'équipe BPE du CEREMA de Nantes.

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

Possibilité de prolongation en thèse : **Oui**

Durée du stage : Minimum : 4 mois Maximum : 5 mois

Période souhaitée : Mars à Aout 2022

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :

Thermique/physique de la ville, transfert radiatif et télédétection optique, traitement du signal, compétences de programmation en Python

Ecoles ou établissements souhaités :

Master-e Ingénieur-e en télédétection, traitement du signal ou thermique

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2022-06***(à rappeler dans toute correspondance)*

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DOTA/POS

Tél. : 05 62 25 26 10

Responsable(s) du stage : F. Viallefont-Robinet

Email : francoise.viallefont@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Télédétection

Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4 Autres**Intitulé : Caractérisation du sol et estimation de son humidité par télédétection hyperspectrale**

Sujet :

Depuis plusieurs années, le Département d'Optique et Techniques Associées étudie l'impact de l'humidité sur la réflectance du sol [1] [4] pour développer des méthodes d'estimation de l'humidité de surface du sol par télédétection [2] [3] pour différentes applications : traficabilité, agriculture, occupation des sols et prévisions d'incendies par exemple. Pour obtenir une information de qualité concernant l'humidité, il est important de connaître le type de sol.

L'objectif de ce stage est d'identifier les méthodes et les outils existants pour caractériser le sol (type et humidité), de tester les outils disponibles, en particulier le logiciel HYSOMA [5], sur un jeu d'images hyperspectrales et selon la durée du stage, de développer les méthodes identifiées les plus prometteuses.

Le stage démarrera donc par une petite bibliographie. L'étape suivante sera d'identifier les prétraitements nécessaires (masquage des zones à l'ombre par exemple) pour les images compte-tenu de leurs caractéristiques et des fonctionnalités des outils disponibles. Le travail se poursuivra en exploitant à différents niveaux le logiciel HYSOMA. Dans un premier temps, il sera utilisé sans donnée auxiliaire pour obtenir des cartes semi-quantitatives du SOC (Soil Organic carbon), de Al-OH, caractéristique des argiles, de l'oxyde de fer (Fe₂O₃), des carbonates (Mg-OH) et de l'humidité. Dans un deuxième temps, une analyse plus quantitative de l'humidité sera faite en calant l'estimation semi-quantitative sur des mesures ponctuelles faites avec des sondes ou par pesées d'échantillons de sol. Une comparaison et une analyse des différentes estimations de l'humidité du sol sera faite en fin de stage.

Les données exploitées dans le stage seront celles d'une campagne de mesure dédiée à la caractérisation du sol réalisée en été 2021 par l'ONERA. Cette campagne a permis d'acquérir sur un sol nu (sec puis humide) des images hyperspectrales en réflectance de résolution spatiale centimétrique, des mesures ponctuelles de la réflectance spectrale de surface, des mesures avec des sondes d'humidité et des échantillons de sol. Pour ce jeu de données, le sol est composé de terre et de galets, et n'est donc pas homogène.

[1] Lesaignoux A., "Estimation de l'humidité de surface des sols nus à partir de l'imagerie hyperspectrale à haute résolution spatiale sur le domaine optique 0,4-14µm", thèse 2010.

[2] Fabre S., Briottet X., Lesaignoux A., "Estimation of soil moisture content from the spectral reflectance of bare soils in the 0.4–2.5 µm domain." *Sensors*, 15(2):3262–3281, 2015. doi:10.3390/s150203262.

[3] Oltra-Carrió R., Baup F., Fabre S., Fieuzal R., Briottet X., "Improvement of soil moisture retrieval from hyperspectral VNIR-SWIR data using clay content information: From laboratory to field experiments." *Remote Sensing*, 7(3):3184–3205, 2015. doi:10.3390/rs70303184.

[4] Bablet A., "Modélisation de la réflectance spectrale d'un sol nu en fonction de sa teneur en eau dans le domaine réflectif solaire (400-2500 nm)", thèse 2018.

[5] Chabrillat S., Eisele Guillaso A., Rogass C., Ben Dor E., Kaufmann H., "HYSOMA: An easy-to-use software interface for soil mapping applications of hyperspectral imagery", Conference: 7th EARSeL SIG Imaging Spectroscopy Workshop, Edinburgh, Scotland, UK, 11-13 April 2011 Volume: 7pp.

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

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 : **Non**

Durée du stage : Minimum : 3 mois Maximum : 5 mois (6 mois sur dérogation uniquement)

Période souhaitée : Entre février et juillet 2022

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :

Solides connaissances en Physique et en optique, en particulier en radiométrie. Des bases en traitement d'image et du signal sont nécessaires.

Ecoles ou établissements souhaités :

Master 2 Universitaire ou 3eme année d'Ecole d'Ingénieur