

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Détection et caractérisation de la pollution par les plastiques sur la surface continentale

Référence : **PHY-DOTA-2022-08**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2022

Date limite de candidature : Juin 2022

Mots clés : Hyperspectral, plastiques, IA, classification, détection, mélange spectral, changement d'échelle

Profil et compétences recherchées :

Master 2, Ecoles d'ingénieur,

Compétence en télédétection optique, en traitement du signal et des images et en machine learning.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

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 provient des continents. Or, peu d'études sont consacrées à la cartographie des déchets plastiques sur la surface continentale par des moyens de télédétection optique. Bien que la quantité de microplastiques (μP , plastiques dont la dimension est comprise entre 100 μm et 5 mm) sur la surface continentale soit estimée comme étant de 4 à 28 fois supérieure à celle des μP dans les océans, leur présence dans le sol terrestre n'a fait l'objet que d'un nombre très limité d'études, exclusivement en laboratoire, et ce très récemment.

Dans le domaine optique, la détection des plastiques repose sur la forme de leurs signatures spectrales soit à partir de pigments présents dans les plastiques soit à partir d'absorptions spécifiques liées à leur composition chimique. La détection par les pigments a ses limites car un grand nombre de plastiques sont transparents ou blanchâtres. Aussi l'utilisation des bandes d'absorption fines spécifiques aux composés hydrocarbonés tels que les plastiques, situées majoritairement dans le SWIR (Short Wave InfraRed, entre 1 et 2,5 μm) est une alternative intéressante, même si des dépôts superficiels (terre, biofilms), peuvent venir atténuer ces caractéristiques spectrales. Cette signature spectrale est accessible par télédétection reposant sur l'exploitation d'images hyperspectrale (IHS) par des instruments couvrant le domaine 0,4-2,5 μm . Grâce à sa richesse spectrale (quelques centaines de bandes spectrales), cette technique permet de mieux détecter, discriminer et caractériser les matériaux présents sur la scène. Kuhn et al [KUHN, 2004] ont montré qu'un indice spectral qui exploite la bande des hydrocarbures à 1,73 μm , permet de détecter les structures plastiques dans les villes, à partir d'images hyperspectrales aéroportées (Instrument HyMap, résolution spatiale 2.5 m). De même, à partir des images hyperspectrales AVIRIS (7 m de résolution), les toitures synthétiques et les décharges sont détectées avec cet indice spectral [GARABA, 2018]. Les travaux de thèse de Diri [DIRI, 2019] ont également montré qu'avec l'indice spectral PEI, les toitures synthétiques, des structures en toile de tente, les terrains de sport et des panneaux solaires (ferme solaire) étaient détectés sur les images AVIRIS à 15.5 m de résolution. Cependant aucune publication ne concerne la détection et la caractérisation de déchets plastiques diffus sur les surfaces continentales (milieux ruraux, semi urbains, ...) par des moyens de télédétection.

Différentes méthodes ont été développées pour caractériser ces μP à partir de mesures réalisées en laboratoire [SHAN 2018] [CORRADINI, 2019] [NG, 2020]. Ces premiers travaux ont montré le potentiel de l'IHS associée à des méthodes de machine learning pour la détection des μP pour des tailles entre 0.5 à 5 mm, mais n'ont pas été appliqués directement sur des échantillons de sol non préparés. Aucune étude à notre connaissance n'a été menée pour détecter et caractériser les μP par imagerie aéroportée depuis un drone. La principale difficulté liée au passage à des acquisitions aéroportées est que ces μP ont une taille inférieure aux résolutions spatiales accessibles par les caméras hyperspectrales. Aussi, des méthodes de démixage spécifiques doivent être développées en tenant compte du comportement optique de ces matériaux.

L'objectif de la thèse est de développer des méthodologies de détection, de quantification et de caractérisation de la pollution par les macro-plastiques (dimensions supérieures à 5 mm) et les micro-plastiques sur la surface continentale à partir de moyens hyperspectraux embarqués sur avion ou drone. Les

travaux de thèse comporteront une partie expérimentale et une partie développement de méthodologies adaptées à l'échelle des objets d'intérêt.

Dans une première étape, il conviendra de caractériser la signature spectrale et directionnelle de différents types de plastiques, vierges ou vieillis et dégradés, et sur des mélanges de sols et de plastiques. Des images hyperspectrales seront acquises en laboratoire avec des résolutions spatiales $\leq 300 \mu\text{m}$ et $\leq 800 \mu\text{m}$ (caméras placées respectivement à 30 cm et 1 m), puis depuis un point haut (résolution spatiale $\sim 1 \text{ cm}$) pour imager des bacs contenant des μP en mélange avec du sol, ou encore des macro-déchets de petite dimension sur différents types de sol. Un tel jeu de données nous permettra de comprendre le comportement spectral et directionnel de ces macro et microplastiques, de valider les méthodes qui seront développées pour les détecter, les caractériser et les quantifier à différentes échelles de résolution de l'échelle millimétrique à décimétrique.

Une seconde étape aura pour but, à partir d'un état de l'art, le développement de méthodes pour arriver à caractériser ces matériaux. Plusieurs voies seront analysées : machine learning (réseaux de neurones, deep Learning), démixage spectral pour la quantification et la caractérisation des plastiques. Ces méthodes seront évaluées et comparées avec des méthodes de référence de l'état de l'art sur le jeu de données acquis en laboratoire.

Enfin, les meilleures méthodes seront appliquées aux données acquises lors de trois campagnes de mesures hyperspectrales réalisées en 2021, deux depuis un drone et une depuis un avion, à l'occasion desquelles des déchets de différents types et de dimension variable (millimétrique à décimétrique) ont été mis en place. D'autres images hyperspectrales sur drone seront acquises durant la thèse sur de nouveaux scénarios de mesures lors de campagnes d'opportunité.

Bibliographie succincte :

[CORRADINI, 2019], Corradini, Fabio, et al. "Predicting soil microplastic concentration using vis-NIR spectroscopy." *Science of the Total Environment* 650 (2019): 922-932.

[DIRI, 2019] [Mehmet Fatih Diri, plastic object detection with an infrared hyperspectral image, thesis submitted to the Graduate School of natural and applied sciences of middle East technical University, June 2019.

[GABARA, 2018] S.P. Gabara, H. M. Dierssen, An airborne remote sensing case study of synthetic hydrocarbon detection using short wave infrared absorption features identified from marine-harvested macro and microplastics, *Remote Sensing Environment*, 205, p224-235, 2018.

[KUHN, 2004] Kühn, F., Oppermann, K. and Horig, B., Hydrocarbon Index - An algorithm for hyperspectral detection of hydrocarbons, *Int. Journal. of Remote Sensing.*, 25, 2467-2473., 2004.

[GABARA, 2018] S.P. Gabara, H. M. Dierssen, An airborne remote sensing case study of synthetic hydrocarbon detection using short wave infrared absorption features identified from marine-harvested macro and microplastics, *Remote Sensing Environment*, 205, p224-235, 2018.

[NG, 2020] Ng, Wartini, Budiman Minasny, and Alex McBratney. "Convolutional neural network for soil microplastic contamination screening using infrared spectroscopy." *Science of The Total Environment* 702 (2020): 134723.

Collaborations envisagées/

Anne-Leila Meistertzheim, Plastic@sea (Banyuls),

Alexandra TER HALLE, Laboratoire des Interactions Moléculaires et Réactivité Chimique et Photochimique UMR 562 (IMRCP / SMOD)

Laboratoire d'accueil à l'ONERA/

Département : DOTA

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact : Véronique Achard (co-directrice de thèse)

Tél. : 05 62 25 26 29 Email : veronique.achard@onera.fr

Directeur de thèse/

Nom : Xavier Briottet

Laboratoire : DOTA

Tél. : 05 62 25 26 26

Email : xavier.briottet@onera.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>