



6^{ème} édition

COLLOQUE GROUPE HYPERSPPECTRAL SFPT-GH

**17 & 18 Mai 2018
Agropolis International Montpellier**

Jeudi 17

- 8 h 30 **Accueil**
- 8 h 45 **Ouverture de la conférence Comité d'organisation**
- 9 h 00 **Présentation du Groupe Hyperspectral de la SFPT**
Jean-Baptiste Féret – TETIS (Montpellier)

Session 1

Thématique : Atmosphère

Animateur de session : **Rodolphe Marion**

- 9 h 15 **Détection de gaz par filtrage adapté CTMF en imagerie hyperspectrale dans le domaine infrarouge thermique** _____ 12
Aurélié Quéméner – CEA (Paris)
- 9 h 35 **Comparaison des méthodes de détection des nuages à partir d'images hyperspectrales dans le domaine [0.4 - 2.5µm]** _____ 14
Sandra Salgado – ONERA (Toulouse)
- 9 h 55 **Détection de gaz dans un panache volcanique par imagerie hyperspectrale dans l'infrarouge (ImagEtna)** _____ 15
Sébastien Payan – LATMOS (Paris)
- 10 h 15 **Caractérisation et quantification des propriétés de panaches d'aérosols par mesures aéroportées hyperspectrales** _____ 16
Pierre-Yves Foucher – ONERA (Toulouse)
- 10 h 35 **Pause-café**

Session 2

Technique : Du multi à l'hyper (ou l'inverse)

Animatrice de session : **Nathalie Gorretta**

- 11 h 00 **Evaluation et correction du straylight dans la chaîne opérationnelle du spectromètre-imageur multispectral OLCI** ____ 19
Nicolas Lamquin – ACRI-ST (Biot)
- 11 h 20 **Segmentation sémantique de peuplements forestiers à partir d'imagerie optique et de données Lidar aéroportées : comparaison de capteurs** _____ 20
Arnaud Le Bris – IGN LaSTIG (St Mandé)
- 11 h 40 **Fusion de données sur Sentinel-2 pour la détection de la neige** _____ 21
Théo Masson – GIPSA-lab (Grenoble)
- 12 h 00 **Pause déjeuner**

Session 3

Flash Poster :

Animatrice de session : **Audrey Minghelli**

- 13 h 50 **Une méthode de démixage non supervisé basée sur la corrélation non linéaire des sorties pour des mélanges bilinéaires ; applications aux milieux urbains** _____ 24
Andréa Guerrero – IRAP (Toulouse)
- 13 h 55 **Impact de la résolution spatiale sur des méthodes de démixage hyperspectral** _____ 25
Simon Rebeyrol – ONERA/IRAP (Toulouse)
- 14 h 00 **Projet HypFoM : analyse du fond marin par imagerie hyperspectrale : une approche sub-pixel ; prise en compte de modèles du transfert radiatif précis de la colonne d'eau** _____ 26
Mireille Guillaume – Institut Fresnel (Marseille)
- 14 h 05 **Comparison of Tree Segmentation Schemes based on Lidar and Hyperspectral Data** _____ 27
Eduardo Alejandro Tusa Jumbo – GIPSA-lab (Grenoble)
- 14 h 10 **Fusion de données multispectrales multi capteurs** _____ 28
Théo Masson – GIPSA-lab (Grenoble)
- 14 h 15 **Methane leaks quantification from imaging Hyperspectral data** _____ 29
Pierre-Yves Foucher – ONERA (Toulouse)
- 14 h 20 **Mini Pause**

Session 4

Thématique : Planétologie

Animateur de session : **Sylvain Douté**

- 14 h 25 **Calibration des données spectrales Rosetta/VIRTIS-H** _____ 31
François Andrieu – LESIA (Paris)
- 14 h 45 **Enregistrement et référencement des données de l'imageur haute résolution OSIRIS, embarqué sur la mission ESA/Rosetta** _____ 32
Pedro Henrique Hasselmann – LESIA (Paris)
- 15 h 05 **Hypsimars: a tool to simulate hyperspectral images for Martian 3D scenes** _____ 33
Sylvain Douté – IPAG (Grenoble)
- 15 h 25 **Pause-Café**

Session 5

Technique : Avancées et simulations capteur

Animateur de session : **Xavier Briottet**

15 h 45	HySpex Mjolnir - the first scientific grade hyperspectral cameras for UAVs	36
	Lukas Paluchowski – HySpex	
16 h 05	Etudes préparatoires à une mission hyperspectrale spatiale française	37
	Marie-José Lefevre-Fonollosa – CNES	
16 h 25	Impact de la résolution spatiale pour l'identification d'essences forestières en milieu tempéré à partir d'une image hyperspectrale du domaine réflectif	38
	Thierry Erudel – DYNAFOR (Toulouse)	
17 h 05	Reconstruction d'images hyperspectrales à faible coût pour un imageur pilotable à double dispersion	39
	Ibrahim Ardi – LAAS (Toulouse)	
17 h 25	Fin de la journée	
20 h 00	Repas HyperSpectrable	
	Au Restaurant Le Petit Jardin - 20 rue Jean-Jacques Rousseau - Montpellier	

Vendredi 18

Session 6

Thématique : Méthodologie

Animateur de session : **Stéphane Jacquemoud**

9 h 00	Amélioration du modèle MARMIT de simulation d'un spectre de réflectance de sol en fonction de sa teneur en eau	41
	Aurélien Bablet – IPGP/ONERA (Paris)	
9 h 20	An NMF-based unmixing method with known spectra of photovoltaic panels for their detection and area estimation from urban hyperspectral remote sensing data	42
	Moussa Sofiane Karoui – Centre des Techniques Spatiales (Alger)	
9 h 40	Détection/identification de minéraux industriels par imagerie hyperspectrale VNIR/SWIR - Apport de la transformée en ondelettes continue pour l'initialisation de l'algorithme AGM	43
	Ronan Rialland – CEA	
10 h 00	Pause-Café	

Session 7

Thématique : Végétation

Animateur de session : **Martin Ecarnot**

- 10 h 20 **Prédiction des services écosystémiques dans les paysages agricoles par télédétection hyperspectrale** _____ 45
Mathieu Fauvel – ENSAT (Toulouse)
- 10 h 40 **Identification de l'apport d'une chaîne de traitement corrective complète sur des images hyperspectrales pour la séparabilité des espèces végétales en milieu tropical** ____ 46
Anthony Laybros – AMAP (Montpellier)
- 11 h 00 **Recognition of urban vegetation by hyperspectral airborne high-resolution VNIR imager (Kaunas, Lithuania)** _____ 47
Walid Ouerghemmi – ESPACE (Marseille)
- 11 h 20 **An oblique projection method for multi-scattering effects correction in close range hyperspectral imagery of vegetation scenes: application to nitrogen content assessment in wheat** _____ 48
Nathalie Al Makdessi – ITAP (Montpellier)
- 11 h 40 **Multivariate analysis of variance of vegetation spectra dataset included into an experimental design by using ANOVA-SCA and ANOVA-Target Projection** _____ 49
Maxime Ryckewaert – ITAP (Montpellier)
- 12 h 00 **Pause déjeuner**

Session 8

Thématique : Milieux littoraux

Animatrice de session : **Mireille Guillaume**

- 13 h 30 **Estimation de la composition de l'eau en zones peu profondes par télédétection hyperspectrale** _____ 51
Sylvain Jay – Institut Fresnel (Marseille)
- 13 h 50 **Méthodologie semi-automatique de cartographie des petits fonds en zone lagunaire. Application à la cartographie des herbiers de zostères de l'Etang de Berre** _____ 52
Nicolas Thomas – Hytech-Imaging (Brest)
- 14 h 10 **Comparaison des méthodes empiriques et semi-analytiques pour l'estimation de la composition de l'eau** _____ 53
Audrey Minghelli – UTLN (Toulon)
- 14 h 30 **Pause-Café**

Vendredi 18

Session 9

Thématique : Végétation et modélisation

Animatrice de session : **Karine Adeline**

14 h 50	Estimation de la chimie foliaire par spectroscopie et apprentissage profond	55
	Florian De Boissieu – TETIS (Montpellier)	
15 h 10	Suivi des effets physiologiques des maladies foliaires avec le modèle de transfert radiatif PROCOSINE et l'imagerie hyperspectrale submillimétrique : un cas d'étude avec le pathogène du bananier <i>P. fijiensis</i>	56
	Julien Morel – ITAP (Montpellier), Swedish University of Agricultural Sciences (Umeå, Sweden)	
15 h 30	Suivi de la phénologie saisonnière en savane boisée par télédétection aéroportée hyperspectrale	57
	Karine Adeline – ONERA (Toulouse)	
15 h 50	Validation du modèle DART pour la simulation d'images hyperspectrales en forêt tropicale	58
	Dav Ebengo – TETIS (Montpellier)	
16 h 10	Imagerie hyperspectrale et chimie du bois	59
	Mariana Pires Franco – ESALQ-USP (Brésil)	
16 h 30	Synthèse et clôture du colloque	
	Jean-Baptiste Féret – TETIS (Montpellier)	
16 h 50	Fin de la journée	

Sponsors



Bonsaï Advanced Technologies
France & Suisse
<http://www.bonsaiadvanced.fr>



HARRIS
Imanol Echave
<http://www.harrisgeospatial.com>



HySpex
Lukas
<https://www.hyspex.no>



HyTech Imaging
<https://hytech-imaging.fr>



IDIL Fibres Optiques
<https://www.idil-fibres-optiques.com>



Quantum Design
<https://lot-qd.fr/fr>



ACAL BFI
European leader in advanced technology solutions
<https://www.acalbfi.com/fr>

Édito

La télédétection hyperspectrale a connu un essor considérable dans le monde de la télédétection au cours des vingt dernières années. Les avancées méthodologiques permettent d'accéder à de nombreux paramètres géophysiques, géochimiques ou biochimiques par l'étude des spectres de réflectance continus caractéristiques des surfaces et objets observés dans le domaine optique. En parallèle, les avancées instrumentales ont permis le développement de capteurs miniaturisés permettant l'utilisation de drones, et plusieurs missions satellite sont en cours de préparation avec l'appui de différentes agences spatiales, permettant de diversifier encore les applications, et soulevant des nouveaux défis.

La communauté hyperspectrale française s'est structurée au sein du groupe thématique Imagerie hyperspectrale de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection (SFPT), et se réunit annuellement depuis 2011 pour faire le point sur les avancées de l'ensemble de la filière : futurs projets spatiaux nationaux et internationaux, nouveautés en matière d'instruments et de capteurs, progrès des méthodes et des algorithmes pour l'exploitation des données, validité des résultats. Dans la continuité, l'édition 2018 réunit la communauté scientifique nationale multidisciplinaire des utilisateurs de données hyperspectrales toutes thématiques confondues: géosciences, végétation, milieux littoraux et urbains, instrumentation, algorithmes...

L'intérêt de la communauté scientifique montpelliéraine pour la télédétection hyperspectrale se manifeste au sein de multiples disciplines : sciences du sol, écologie, agronomie... l'organisation de ce colloque permettra de mieux faire connaître la technologie hyperspectrale et son potentiel, ainsi que de faciliter les échanges entre les communautés des différents domaines d'application. Nous remercions nos sponsors pour leur soutien financier qui nous a permis d'organiser cet événement dans les meilleures conditions.

Comité d'organisation

Ryad Bendoula - Irstea
Françoise Boissier - Irstea
Colette Fatou - Irstea
Jean-Baptiste Féret - Irstea
Cecile Gomez - IRD
Nathalie Gorretta - Irstea

Comité scientifique

Karine Adeline - ONERA
Mauro Dalla Mura - GIPSA
Adrien Deschamps - CNES
Mathieu Fauvel - INP
Stéphane Jacquemoud - IPGP
Sylvain Jay - Fresnel
Philippe Lagacherie - INRA
Arnaud Le Bris - IGN
Marie-José Lefevre - CNES
Rodolpe Marion - CEA
Audrey Minghelli - USTV
Gilles Rabatel - Irstea
David Sheeren - INP
Sylvain Douté - IPAG



Session 1

Thématique : Atmosphère

Détection de gaz par filtrage adapté CTMF en imagerie hyperspectrale dans le domaine infrarouge thermique

Aurélie Quémener¹, Rodolphe Marion¹

¹CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives)

Depuis plusieurs décennies, l'étude des émissions gazeuses industrielles et naturelles et la compréhension de leur impact radiatif est un enjeu scientifique majeur [1,2]. L'augmentation de la pollution atmosphérique, en raison de ses conséquences environnementales et sur la santé, est devenue aujourd'hui un problème mondial [3,4]. Ces émissions gazeuses proviennent à la fois de sources anthropiques et de dégagements naturels.

La télédétection, et en particulier l'imagerie hyperspectrale aéroportée ou satellitaire, constitue un moyen adapté pour la caractérisation des gaz atmosphériques, cette caractérisation nécessitant une haute résolution à la fois spatiale et spectrale.

Nous utilisons la méthode de filtrage adapté CTMF (Cluster – Tuned Matched Filter) [5] pour la détection des gaz. La construction de ce filtre repose sur la signature spectrale du gaz d'intérêt et la statistique du sol sous-jacent (classification K-Means, application du filtre pour chaque gaz et chaque classe de sol). Cette méthode a été utilisée avec succès pour la détection de CO₂, CH₄, H₂O et N₂O dans le domaine de longueurs d'onde [0,4 – 2,5 µm] [6, 7, 8] et de NH₃, CH₄, H₂S, SO₂, NO₂ dans le domaine de l'infrarouge thermique [7 – 15 µm] [5, 9].

L'étude présentée au colloque comporte deux axes. Dans un premier temps, des images hyperspectrales contenant des panaches de gaz sont simulées à l'aide du logiciel de transfert radiatif MODTRAN dans différentes configurations : nature du sol, concentration du gaz, conditions d'acquisition (géométrie, atmosphère), bruit de capteurs. Ces images sont ensuite filtrées avec l'algorithme CTMF afin de définir le seuil de détection de chaque gaz d'intérêt. Dans un second temps, la méthode est appliquée à plusieurs images réelles aéroportées acquises dans l'infrarouge thermique : deux images HyTES, l'une sur le site du lac de Salton Sea (Etats-Unis) avec la présence de fumerolles d'ammoniac NH₃ (cf figure ci-dessous), l'autre sur un champ de puits pétrolières à Kern River (Etats-Unis) avec la

présence de fuites de méthane (CH₄) et une image TELOPS sur une zone commerciale de la ville de Québec pour la détection d'une émission contrôlée d'éthylène (C₂H₄). L'analyse de ces travaux sera présentée et discutée lors du colloque.

La possibilité d'utiliser CTMF en quantification, de produire des cartes de concentrations et d'inverser le débit des sources sera exposée en perspectives.

> Références

- [1] Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks : 1990-2013, p.564.
- [2] Fenger J., Air pollution in the last 50 years–From local to global, *Atmospheric Environment*, 43 ,p13-22, 2009.
- [3] IPCC, Climate Change 2014 : Synthesis report 2014, http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml
- [4] Molina M, Air pollution is a global problem with local solutions. *Nature, international weekly journal of science*, vol. 456, Octobre 2008.
- [5] Funk C.C., Theiler J., Roberts D. A. and Borel C. C., Clustering to improve matched filter detection of weak gas plumes in hyperspectral thermal imagery, *IEEE TGRS*, VOL.39, N°7, July 2001.
- [6] Thorpe A.K., Roberts D. A., Dennison P. E., Bradley E. S., Funk C.C., Point source emissions mapping using the Airbone/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS), *SPIE*, Vol. 8390, 2012.
- [7] Dennison P.E., Thorpe A.K. & al , High spatial resolution mapping of elevated atmospheric carbon dioxide using airborne imaging spectroscopy : Radiative transfer modeling and power plant plume detection, *Rem Sens. Envir.*, vol 139, pp 116-129, 2013.
- [8] Thorpe A.K., Roberts D. A., Bradley E. S., Funk C.C.,Dennison P. E. and Leifer I., High resolution mapping of methane emissions from marine and terrestrial sources using a Cluster-Tuned Matched Filter technique and imaging spectrometry, *Rem Sens. Envir.*, vol 134, pp 305-318, 2013.
- [9] Hulley G.H. and al., High spatial resolution imaging of methane and other trace gases with the airborne Hyperspectral Thermal Emission Spectrometer (HyTES), *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 2393–2408, 2016.

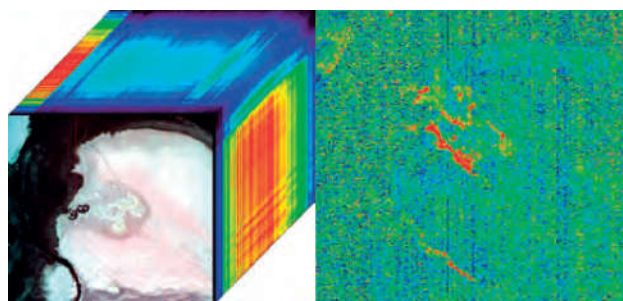


Figure 1. à gauche, cube hyperspectral de l'image HyTES acquise le 24 juillet 2014 au niveau du lac de Salton Sea (Etats-Unis), à droite, détection de fumerolles de NH_3 .

Comparaison des méthodes de détection des nuages à partir d'images hyperspectrales dans le domaine [0.4 - 2.5 μ m]

Sandra Salgado^{1,2}, Laurent Poutier¹, Xavier Briottet¹, Sandrine Mathieu³

¹ONERA The French Aerospace Lab - 2 Avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse Cedex 4, France

²Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées, 41 Allées Jules Guesde- CS 61321 - 31013 Toulouse Cedex 6, France

³Thales Alenia Space, 5 Allée des Gabians, 06156 Cannes la Bocca Cedex - France

La télédétection par spectro-imagerie depuis l'espace permet d'accéder à la propriété intrinsèque des surfaces, la réflectance, une fois les mesures corrigées des effets de l'atmosphère. Cette correction atmosphérique est aujourd'hui très bien maîtrisée en conditions de ciel clair. Or les nuages recouvrent environ 66 % de la surface terrestre, réduisant fortement le nombre d'images exploitables. Leur présence produit différents effets radiatifs sur la scène, en particulier une atténuation voire une occultation de l'éclairement solaire direct et une augmentation des termes de diffusion (éclairage diffus et de couplage). Par construction, ces effets varient spatialement dans le champ de l'image. La connaissance exacte de ces perturbations est indispensable à la proposition d'une correction atmosphérique améliorée. Néanmoins, une étape de détection des nuages et de leurs ombres est requise avant tout traitement.

Différentes méthodes de détection des nuages existent déjà dans la littérature. Parmi elles, la plus courante a pour avantage d'être simple, efficace, et rapide et repose sur l'utilisation de seuils sur des bandes spectrales ou ratio de bandes spécifiques. L'ajustement et la définition des seuils sont basés sur les propriétés spectrales des nuages : blanc donc spectralement plat dans le domaine 0.4-1.0 μ m, brillant donc de réflectance élevée, et sous différentes phases liquide/glace présentant un niveau de réflectance différent à 1.38 μ m.

Nos travaux se situent dans le cadre de la définition d'une méthode de correction des nuages sur des images hyperspectrales. Chaque image étant traitée indépendamment les unes des autres, l'aspect multi-temporel n'est pas pris en compte. Les travaux présentés visent à comparer les performances des différentes méthodes de détection sur différents types de scènes, en discriminant les nuages de glace des nuages de gouttelettes d'eau. Ils s'appuient sur un jeu d'images AVIRIS couvrant une grande variété de fonds de sol et de nuages et sont étayés par des simulations de transfert radiatif représentatives des conditions rencontrées.

Les seuils de la littérature nous permettent d'obtenir de bonnes performances, en particulier pour les nuages de type glace ainsi que sur des scènes simples telles que des nuages épais et épars au-dessus de la végétation. Plusieurs limitations sont identifiées. Les bords des nuages présentent une réflectance apparente plus faible, difficilement discriminable. De même, les nuages semi-transparents, laissant passer une partie du rayonnement, sont également plus complexes à détecter. Enfin, les paysages urbains peuvent présenter des réflectances élevées assimilables à des nuages.

Une illustration de détection des nuages de glace et de nuages épais est présentée sur la figure 1.



Figure 1. Image AVIRIS du 29 Juillet 2009, Wisconsin, Etats-Unis, (a) RGB, (b) détection des cirrus, (c) détection des nuages épais.

Détection de gaz dans un panache volcanique par imagerie hyperspectrale dans l'infrarouge (ImagEtna)

Sébastien Payan¹, Nathalie Huret², Charlotte Segonne²

¹Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales
Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines : UMR8190, Université Pierre et Marie Curie - Paris 6 : UMR8190, Institut national des sciences de l'Univers

²Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace
Institut national des sciences de l'Univers, Université d'Orléans, CNRS: UMR7328

La connaissance de la composition et de l'évolution spatiale des panaches volcaniques donne un aperçu des processus qui se produisent à l'intérieur de la Terre. D'autre part, la quantification des flux d'émission gazeux est également une tâche fondamentale dans le cadre de l'étude de l'évolution climatique afin d'affiner la contribution des émissions naturelles. Les caméras UV permettent aujourd'hui d'imager les panaches volcaniques et d'évaluer les flux de SO₂, bien qu'ils puissent être sujets à des incertitudes liées à l'inversion des mesures spectrales. Une autre technique d'imagerie est maintenant disponible dans l'infrarouge. Un tel imageur hyperspectral infrarouge (un spectre pour chaque pixel de l'image) pourrait représenter une avancée majeure en volcanologie en raison de sa capacité à permettre des mesures de flux de SO₂ pendant la nuit et à accéder à d'autres espèces pertinentes mais cette technique et l'analyse des mesures doivent être testées et validées.

En juin 2015, une campagne de mesures - IMAGETNA - a été réalisée à l'Etna (Observatoire du Volcan Pizzi Deneri) dans le but d'explorer l'application de ces techniques pour les mesures de gaz volcaniques. Pendant cinq jours, le panache volcanique a été observé simultanément à distance en utilisant trois imageurs hyperspectraux différents (commercial et en développement), un instrument FTIR, des caméras UV LWIR et un radiomètre. Les résultats obtenus avec un traitement classique à partir de l'imageur hyperspectral IR seront présentés. Ce traitement est très coûteux en temps calcul. Un traitement statistique des images sera proposé pour converger vers une analyse quasi temps réel.

Caractérisation et quantification des propriétés de panaches d'aérosols par mesures aéroportées hyperspectrales

Pierre-Yves Foucher¹, Yannick Philippets²

¹ONERA - The French Aerospace Lab

²Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives [Arpajon]

Aujourd'hui il existe très peu de données d'observations permettant de suivre l'évolution spatio-temporelle des émissions en champ proche sur site industriel et donc de valider la modélisation numérique des processus de chimie-transport mis en jeu à petite échelle en particulier pour les aérosols les plus fins. En effet, même s'il existe des données d'inventaire des émissions canalisées par les industriels et des estimations des flux diffus, les rejets atmosphériques interagissent avec leur environnement et ainsi se transforment. Par conséquent, les particules émises ne sont pas nécessairement celles inhalées à 1 km de là. La compréhension des mécanismes de dispersion et de modification physico-chimique des particules dans l'atmosphère entre les différentes sources de polluants industriels ou non et la mesure de la qualité de l'air en zone proche est un problème majeur si l'on veut pouvoir disposer de modèle de qualité de l'air fiable à l'échelle locale et pouvoir définir les actions spécifiques à la source à entreprendre pour son amélioration. La problématique de la caractérisation de l'évolution de la granulométrie et des propriétés des aérosols depuis la source d'émission à la formation d'aérosols secondaires est donc essentielle pour faire le lien entre les données à l'émission et leur exploitation in fine au titre de l'amélioration de la qualité de l'air.

Ce papier est ainsi centré sur la mesure par télédétection hyperspectrale à haute résolution spatiale par moyens aéroportés des polluants atmosphériques particuliers proches des émissions industrielles et lors de la dilution du panache dans son environnement immédiat afin d'améliorer la modélisation locale et régionale de leurs impacts sanitaires. En effet l'imagerie hyperspectrale dans le domaine 0.4-2.5 μm permet de combiner la haute résolution spatiale nécessaire pour l'étude de ces phénomènes à la finesse spectrale permettant d'identifier les types et la granulométrie des particules fines émises près des sources.

Nous exposons ici deux approches différentes permettant de remonter à des cartographies des propriétés des panaches industriels : une méthode directe ne nécessitant qu'une image hyperspectrale et une méthode temporelle permettant d'utiliser la variabilité temporelle des images pour extraire les propriétés d'un panache d'aérosols.

Dans les deux cas, le principe est d'arriver à estimer une image de référence « propre » c'est-à-dire corrigée de l'impact du panache recherché. Cette référence « propre » peut être obtenue par analyse statistique de l'image segmentée par classe de sol [1], [2] ou par l'utilisation de données acquises à différents moments d'une même zone. A partir de l'image différentielle obtenue il s'agit ensuite d'identifier la famille (type et granulométrie) d'aérosol prépondérant dans le panache [2] et éventuellement le rapport de mélange entre plusieurs familles d'aérosols. Dans un second temps une analyse pixel à pixel est conduite au sein du panache pour étudier les variations spatiales de la granulométrie et du rapport de mélange entre les différentes familles présentes dans le panache.

Nous présentons différentes applications. Une première dans le cadre du projet ADEME-CORTEA TEMMAS (TEledetection, Measure, Modeling of Atmospheric pollutants on industrial Sites) où un panache de raffinerie est analysé et les résultats confrontés à un ensemble de vérité terrain obtenus lors des campagnes de mesures en Septembre 2015 et février 2016 [3]. Dans ce cas les épaisseurs optiques sont très faibles et une analyse temporelle a pu être conduite pour estimer un ratio sulfate/suie de l'ordre de 90/10 pour une granulométrie moyenne de l'ordre de 100nm proche de la source. Un second cas d'application est présenté pour le cas d'une aciérie où l'épaisseur optique des panaches est bien plus importante, la taille moyenne des particules diffusante est de l'ordre de 200 nm avec des contributions non négligeable de particules de taille supérieure à 0.5 μm .

Cette méthodologie innovante est un apport indéniable pour le suivi local de la qualité de l'air et l'amélioration des modèles à fine échelle pour la prévision de l'évolution spatiale des panaches en sortie de cheminées industrielles [4].

> Références

- [1] Philippet, Y., P.-Y. Foucher, R. Marion and X. Briottet. 2017. "Anthropogenic aerosol emissions mapping and characterization by imaging spectroscopy – Application to a metallurgical industry and a petrochemical complex" submitted to IJRS – January 2018.
- [2] Funk, C. C., J. Theiler, D. A. Roberts, and C. C. Borel. 2001. "Clustering to improve matched filter detection of weak gas plumes in hyperspectral thermal imagery". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39 (7): 1410 – 1420.
- [3] Foucher et al., "Overview of TEMMAS project", International Conference on Aerosols cycles, Lille, France, 2017.
- [4] Olivier Duclaux, Valentin Raffort, Jonathan Lemus , Pierre Yves Foucher, Yelva Roustan, Alexandre Armengaud, Henri Wortham , Catherine Juery, The TEMMAS project "Teledetection, Measure, Modeling of Atmospheric pollutants on industrial Sites" : Confrontation of PM analysis with dispersion models : non reactive Lagrangian model and Plume in Grid model with chemical mechanism, 2017 Air Quality Measurement Methods and Technology Conference, November 7-9, 2017, Long Beach, CA

Technique : Du multi à l'hyper (ou l'inverse)

Evaluation et correction du straylight dans la chaîne opérationnelle du spectromètre-imageur multispectral OLCI

Nicolas Lamquin^{1,*}, Ludovic Bourg¹, Laurent Blanot¹, Sébastien Clerc¹

¹ACRI-ST

*Auteur correspondant

Les imageurs hyperspectraux embarqués dans l'espace (présents et futurs) sont pour la plupart des spectromètres de type push-broom. A l'instar des autres spectromètres (par exemple multispectraux) ils sont sujets à la contamination par de la lumière parasite ou straylight. Dans cette présentation nous montrons les effets du straylight sur des produits de niveau 1 et 2 du spectro-imageur multispectral OLCI (Ocean and Land Color Instrument) embarqué à bord du satellite Sentinel-3 de l'Agence Spatiale Européenne. La contribution des différentes sources de straylight (imageur, spectromètre et CCD) a été caractérisée au sol par une méthode de simulation de tracés lumineux au travers de la chaîne optique. Nous présentons l'algorithme de correction de straylight ainsi que les méthodes d'optimisation ayant permis de le rendre applicable dans un contexte opérationnel. L'analyse des données en vol montre que la méthodologie employée pour corriger le straylight semble remplir les objectifs de qualité de la mesure dans toutes les bandes spectrales à l'exception de la bande la plus lointaine à 1 020 nm. Le transfert de cette problématique pour l'imagerie spatiale hyperspectrale sera discuté.

Segmentation sémantique de peuplements forestiers à partir d'imagerie optique et de données Lidar aéroportées : comparaison de capteurs

Arnaud Le Bris¹, Clément Dechesne¹, Clément Mallet¹, Valérie Gouet-Brunet¹

¹Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN) / LaSTIG

Les peuplements forestiers constituent une entité de base pour l'inventaire forestier statistique et la cartographie de l'occupation du sol. Ils sont définis comme de (grandes) zones forestières (par exemple, de plus de 2 ha) et de composition homogène en terme d'essence d'arbres et d'âge. Dans le cas de la BDForêt de l'IGN, leur définition se fonde uniquement sur la notion d'essence et leur délimitation précise est effectuée par des opérateurs humains par photo-interprétation d'images aériennes infrarouge couleur à très haute résolution (THR). Cette tâche est fastidieuse, longue et coûteuse et doit donc être automatisée pour un raffinement, un suivi de l'évolution et une mise à jour plus efficaces des bases de données.

Une solution potentielle réside dans l'analyse automatique de données de télédétection multimodales, et plus précisément ici d'imagerie optique multi/hyperspectrale et de nuages de points 3D Lidar. Il existe en effet une complémentarité entre ces deux types de données, l'imagerie apportant une information sur les espèces et le Lidar apportant sur la structure 3D du peuplement.

Une méthode [1] fondée sur la fusion de données lidar aéroportées et d'images multispectrales THR a été proposée pour la délimitation automatique de peuplements forestiers contenant une essence dominante (c'est à dire, pure à plus de 75 % dans le cas de la BDForêt). Afin de tirer le meilleur parti des différentes sources de données, le processus de fusion se déroule à plusieurs niveaux au cours des différentes étapes constituant la méthode proposée. Des attributs multimodaux sont d'abord extraits au niveau du pixel et du point Lidar, avant d'être croisés avec une sursegmentation afin d'obtenir des attributs au niveau objet. En raison du nombre élevé d'attributs potentiels, une sélection d'attributs a également été effectuée, afin de réduire les temps de calcul et d'améliorer la discrimination mais aussi d'évaluer la pertinence des attributs extraits et la complémentarité des deux sources de données. Une classification supervisée fondée objet est ensuite effectuée avec l'algorithme supervisé des Forêts Aléatoires, l'apprentissage étant réalisé à partir de la base de données à mettre à jour. Une régularisation spatiale globale est ensuite appliquée au résultat de la classification afin d'obtenir des zones homogènes avec des frontières lisses compatibles avec le niveau de généralisation de la base de données à mettre à jour.

Il s'agit maintenant d'investiguer plus précisément l'apport de différents capteurs. On étudiera l'influence du type de capteur optique avec des données multispectrales, superspectrales (6 bandes dans le VNIR) et hyperspectrales (capteur Hyperspec dans le domaine VNIR+SWIR), aéroportées ainsi que celle de la densité du nuage de points Lidar. Ces comparaisons seront faites sur une zone montagneuse des Vosges assez variée en terme de peuplements.

> Références

[1] C. Dechesne. Segmentation sémantique de peuplements forestiers par analyse conjointe d'imagerie multispectrale très haute résolution et de données 3D Lidar aéroportées. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est. 2017.

Fusion de données sur Sentinel-2 pour la détection de la neige

Théo Masson¹, Mauro Dalla Mura¹, Marie Dumont², Jocelyn Chanussot^{1, 3}

¹GIPSA-lab, Grenoble-INP, Saint Martin d'Hères, France

²Météo-France-CNRS, CNRM /CEN, UMR 3589, Saint Martin d'Hères, France

³Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Iceland, Reykjavik, Iceland

Les récents développements de méthodes de fusion inter capteurs dérivées de l'hyperspectral et dédiées aux satellites Sentinel-2 de l'ESA permettent d'envisager des changements d'échelles dans les observations. En effet certaines techniques d'extraction d'éléments tel que la neige utilisent un rapport de bandes dont les différentes composantes présentent des résolutions spatiales différentes de 10 et 20 m. La fusion de ces bandes via les approches telles qu'ATPRK [1] permettraient d'envisager un produit final à 10 m de résolution à la place des 20m actuels.

Cette étude s'attelle à la vérification de la faisabilité d'une telle évolution dans le cas de la détection de la surface du manteau neigeux. La détection proprement dite du manteau neigeux utilise l'approche Let-It-Snow développée par le Cesium, disponible sur Théia, basée sur le seuillage du NDSI (Normalized Difference Snow Index). Cette approche est alors appliquée aux données classiques, puis aux données fusionnées. Les résultats obtenus après fusion sont comparés à ceux obtenus après un ré-échantillonnage simple des bandes 20 m à 10 m.

Ces cartes de neige sont ensuite comparées en deux sites (Grandes Rousses et Mont Blanc) à des données très haute résolution issues du capteur pléiades (XXX cm). Les résultats présentés pour la zone « Grande Rousse » en Figure 1 montrent l'apport des données à 10 m pour l'extraction des structures de petites taille d'un point de vue général et particulièrement lorsqu'elles sont isolées dans le cas d'ATPRK. Ces avantages sont confortés par l'étude des lignes de neige via la métrique « Average Symetric Surface Distance » ou ASSD qui avantage d'environ 30 % les produits à 10 m par rapport au produit à 20 m dans la définition de la ligne de neige. Les perspectives évidentes sont la production par la suite d'un produit fractionnel de neige pour ces mêmes zones, la difficulté résidant dans la prise en compte des zones ombragées ainsi que dans l'évaluation de la qualité de la référence, notamment pour les zones de neige « sale ».

> Références

[1] Qunming Wang, Wenzhong Shi, Zhongbin Li, and Peter M Atkinson, "Fusion of sentinel-2 images," Remote sensing of Environment, vol. 187, pp. 241–252, 2016.

[2] Jeff Dozier, "Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat thematic mapper," Remote sensing of environment, vol. 28, pp. 9–22, 1989.

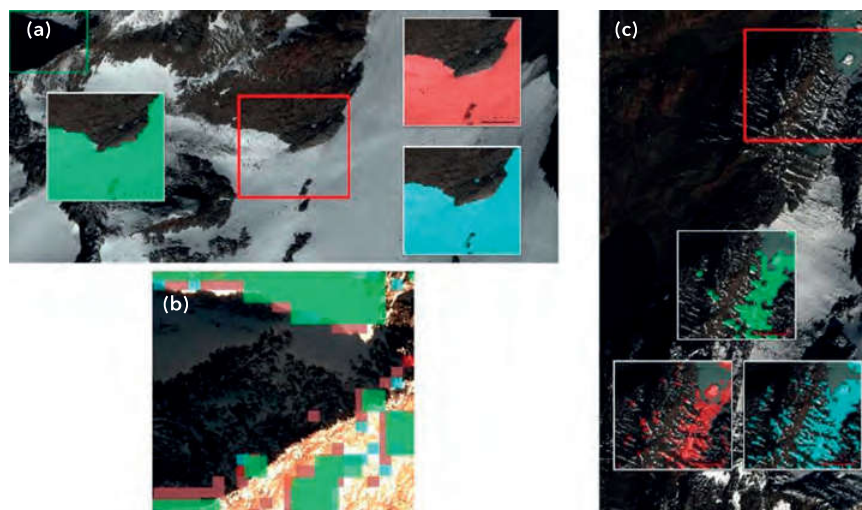


Figure 1. Deux sous-échantillons de la zone "Grande Rousse" (a) et (b). Encadré en rouge les zones d'intérêt avec l'extraction de neige correspondant aux trois approches. En vert le produit Théma classique à 20 m, en rouge le ré-échantillonnage à 10 m et en bleu ATPRK. Le sous-échantillon vert an (a) correspond à la figure (c) et montre les limites des produits dans les zones d'ombre.

Session 3

Flash Poster :

Une méthode de démixage non supervisé basée sur la corrélation non linéaire des sorties pour des mélanges bilinéaires ; applications au milieu urbain

Andréa Guerrero¹, Yannick Deville^{1,*}, Shahram Hosseini^{1,*}

¹Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie IRAP-Toulouse

*Auteur correspondant

Dans de nombreux domaines, les images hyperspectrales sont devenues monnaie courante, notamment en Observation de la Terre où chaque pixel de l'image peut contenir un mélange de spectres de matériaux. Ces mélanges peuvent être des mélanges non linéaires, et plus particulièrement des mélanges Linéaires Quadratiques (LQ), issus de la réflexion multiple qui a lieu dans le cas de scène urbaine par exemple. Pour la méthode étudiée ici, on s'intéresse aux mélanges bilinéaires, un cas particulier du mélange LQ contenant une combinaison linéaire des sources ainsi que des produits deux à deux des sources.

On souhaite démixer les données afin d'extraire les sources inconnues (les spectres de matériaux) : une étape de séparation aveugle de sources (ou démixage non supervisé) est nécessaire. Il existe de nombreuses méthodes dans l'état de l'art, mais celles-ci reposent bien souvent sur des propriétés contraignantes sur les sources et/ou sur le mélange : l'indépendance statistique des sources, la parcimonie, la non-négativité... Dans la méthode BOCSS (Bilinear Output Correlation-based Source Separation) développée ici, la séparation repose seulement sur la forme du mélange (mélange bilinéaire) et sur l'indépendance linéaire entre les sources et certains produits de ces sources. La méthode a pour l'instant été développée et appliquée pour le cas de 2 sources et pour 3 observations au minimum.

Pour effectuer la séparation, on construit trois vecteurs, appelés "sorties", en combinant linéairement 3 observations. Le but est alors d'extraire la première source sur la première sortie, la deuxième source sur la deuxième sortie (ou inversement) et le produit des sources (terme bilinéaire) sur la troisième sortie. Pour cela, on teste la corrélation entre le produit terme à terme des deux premières sorties et la troisième sortie : la séparation a lieu lorsque la valeur absolue de cette corrélation est maximale. L'unicité de la solution est prouvée aux indéterminations de permutation et facteur d'échelle près, avec des contraintes d'indépendance linéaire. L'algorithme de la méthode repose sur la minimisation de l'opposé du critère de corrélation, en utilisant la fonction MATLAB, `fminsearch`. Pour éviter de converger vers des maxima locaux, on complète la méthode BOCSS en ajoutant une contrainte de non négativité sur l'inverse de la matrice de séparation, c'est-à-dire sur la matrice de mélange estimée. C'est une propriété connue en Observation de la Terre : les coefficients de mélange sont toujours non négatifs. On ajoute également une étape de clustering, ici l'algorithme k-medians, pour garder la matrice de séparation la plus représentative sur T tests. En résumé, on effectue d'abord T fois l'initialisation aléatoire de la matrice de séparation puis la maximisation du critère de séparation. On garde uniquement les matrices de séparation ayant une inverse non négative, puis on effectue l'étape de clustering.

Pour évaluer les performances de la méthode BOCSS complète, nous avons effectué des tests sur mélanges artificiels de spectres réels tirés de la bibliothèque USGS. Nous avons comparé cette méthode avec une méthode issue de l'état de l'art basée sur la NMF (Non negative Matrix Factorization) d'I. Meganem et al. (2014) : la méthode BOCSS a de bien meilleurs résultats avec une erreur quadratique normalisée des sources estimées d'environ 1% contre 9 % pour la méthode basée sur la NMF. Nous avons aussi testé la robustesse de BOCSS face à l'initialisation, et les résultats sont très prometteurs : une initialisation aléatoire entre 0 et 1 de la matrice de séparation suffit à obtenir les résultats présentés ci-dessus. Au vu de l'efficacité de la méthode, nous envisageons d'étendre BOCSS à un scénario de plus de 2 sources.

Impact de La résolution spatiale sur des méthodes de démixage hyperspectral

Simon Rebeyrol^{1,2}, Yannick Deville², Véronique Achard¹, Xavier Briottet¹ & Stéphane May³

¹Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales (ONERA), 2 avenue Édouard Belin, 31055 Toulouse CEDEX, France

²Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP), Université de Toulouse, UPS, CNRS, CNES, 14 avenue Édouard Belin, 31400 Toulouse, France

³Centre national de recherche spatiale (CNES), 18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse CEDEX 9, France

Les instruments hyperspectraux spatiaux ou aéroportés permettent aujourd'hui d'acquérir des images d'observation terrestre sur plusieurs centaines de longueurs d'onde dans les domaines visible/proche infrarouge (VNIR) et infrarouge courtes longueurs d'onde (SWIR). Si les acquisitions aéroportées procurent une bonne résolution spatiale (0.5 m), les acquisitions satellitaires n'atteignent pas ces performances. C'est pourquoi, sur des zones à forte hétérogénéité par rapport à la résolution spatiale du capteur utilisé, le signal mesuré par chaque pixel peut être le résultat de la contribution radiative de plusieurs matériaux. On parlera alors de pixel mixte (cf. Figure 1), par opposition à un pixel pur qui n'enregistre le signal issu que d'un seul matériau. De par sa richesse spectrale, l'imagerie hyperspectrale rend possible l'estimation de la réflectance et de l'abondance relative de chaque matériau composant ces pixels mixtes. Un tel traitement s'appuie sur les méthodes de séparation aveugle de sources ou démixage non supervisé.

De nombreuses méthodes de démixage existent dans la littérature [1] mais il reste difficile de choisir parmi celles-ci la méthode la plus adaptée aux spécificités de l'image acquise. L'objectif de nos travaux est alors d'évaluer les performances de ces méthodes, pour différents types de paysages (urbain, rural), sur des images de la même scène acquises à des résolutions spatiales variées. Pour cela, à partir d'une image aéroportée acquise avec une résolution spatiale de 0.5 m, nous simulerons plusieurs jeux d'images aux performances du futur instrument HYPXIM, avec des résolutions spatiales dégradées (2 m, 4 m, 8 m, voire plus). Ces images, alors en luminance dans un référentiel au-dessus de l'atmosphère, seront ensuite ramenées en réflectance au sol pour être traitées. Plusieurs méthodes de démixage (SISAL [1], MVC-NMF [1], NMF [2], IP-NMF [3]) seront appliquées afin de comparer leurs performances au regard des différentes résolutions. Les pôles de mélanges obtenus aux différentes résolutions seront comparés à des classes spectrales de référence établies manuellement depuis l'image 0.5 m de résolution spatiale.

> Références

- [1] J. M. Bioucas-Dias, A. Plaza, N. Dobigeon, M. Parente, Q. Du, P. Gader, and J. Chanussot, Hyperspectral unmixing overview : geometrical, statistical and sparse regression-based approaches, IEEE JSTARS, vol. 5, pp. 354-379, 2012.
- [2] D.D. Lee and H.S. Seung, Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization, Nature , vol. 401, no. 6755, pp. 788-791, 1999.
- [3] C. Revel, Apport de la prise en compte de la variabilité intra-classe dans les méthodes de démixage hyperspectral pour l'imagerie urbaine, Ph.D. dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III - Paul Sabatier, December 2016. [Online]. Available : <http://thesesups.ups-tlse.fr/3415>

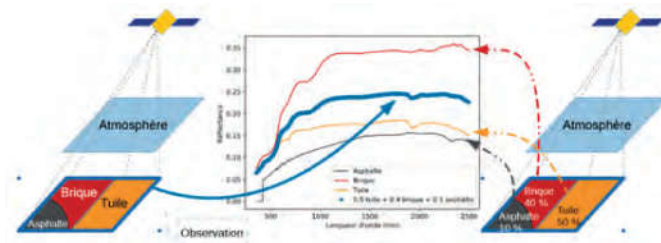


Figure 1. Présentation d'un pixel mixte ainsi que des paramètres du mélange (fractions d'abondance) et des spectres en réflectance que l'on souhaite déterminer.

Projet HypFoM : analyse du fond marin par imagerie hyperspectrale : une approche subpixel ; prise en compte de modèles du transfert radiatif précis de la colonne d'eau

Mireille Guillaume¹, Sylvain Jay¹, Yannick Deville², Audrey Minghelli³, Malik Chami^{4, 5}, Bruno Lafrance⁶, Véronique Serfaty⁷

¹Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, F-13013 Marseille, France.

²Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP), Observatoire Midi-Pyrénées, Université de Toulouse, UPS-CNRS-OMP, 31400 Toulouse, France.

³Université de Toulon, CNRS, SeaTech, LSIS, UMR 7296, 83041 Toulon, France.

⁴Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, Laboratoire Atmosphères Milieux Observations Spatiales, UMR CNRS 8190, 06304 Nice Cedex 4, France.

⁵Institut Universitaire de France, 75231 Paris Cedex 05, France.

⁶CS Systèmes d'Information, 31506 Toulouse Cedex 05, France.

⁷DGA/DS/MRIS, 75509 Paris Cedex 15, France.

L'imagerie hyperspectrale de télédétection permet, grâce à l'information spectrale, d'identifier la nature de la couverture du sol. L'analyse des fonds marins pose le problème supplémentaire de l'influence de la colonne d'eau sur les photons arrivant sur le fond, puis observés après réflexion et transmission dans l'eau, avec une bande spectrale limitée par le domaine d'absorption de l'eau. La correction de l'effet de la colonne d'eau exige la modélisation physique de la propagation du rayonnement solaire pénétrant dans l'océan, qui dépend de la bathymétrie et de la présence des constituants marins capables d'interagir avec le rayonnement lumineux : les matières en suspension, les matières organiques colorées dissoutes, le phytoplancton. L'estimation conjointe des fonds et de la colonne d'eau, malgré un certain nombre de travaux, reste un problème ouvert.

Le projet HypFoM a pour but le développement de méthodes innovantes pour l'analyse des zones côtières, en particulier la reconstruction et le démixage des fonds marins. Pour cela, nous cherchons à prendre en compte les effets induits par les mécanismes de diffusion du rayonnement lumineux au sein de la colonne d'eau, en les modélisant et en développant des méthodes adaptées. Une place importante est donnée à l'évaluation des incertitudes et le juste besoin en termes de rapport signal à bruit.

Nous présentons ici deux résultats importants, obtenus à mi-parcours de ce projet. Le premier résultat est la reconstruction des fonds obtenue par l'estimation des constituants de la colonne d'eau et des abondances des différents matériaux le constituant, à partir d'une base spectrale connue, avec un modèle de transfert radiatif prenant en compte une variabilité spécifique pour chaque classe de matériaux, donné par :

$$\mathbf{r} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}c) \mathbf{r}_{\infty} + \mathbf{K}_b [\mathbf{B} \boldsymbol{\mu}_{b,1} + (1-B) \boldsymbol{\mu}_{b,2}] + \mathbf{n}_{surf} + \mathbf{K}_b [\mathbf{B} \mathbf{n}_{b,1} + (1-B) \mathbf{n}_{b,2}]$$

Le deuxième résultat est l'évaluation des erreurs minimales d'estimation, obtenues théoriquement à l'aide des bornes de Cramér-Rao, qui donnent une borne inférieure en fonction des différents paramètres de la composition de l'eau (constituants et bathymétrie), et des coefficients de mélange des matériaux des fonds.

Les données hyperspectrales sont issues d'une campagne de données de 2017 dans la zone de l'île de Porquerolles.

Comparison of Tree Segmentation Schemes based on Lidar and Hyperspectral Data

Eduardo Tusa^{1,2,3,*}, Jocelyn Chanussot^{1,*}, Jean-Mathieu Monnet^{2,*}, Mauro Dalla Mura¹, Jean-Baptiste Barré², Michele Dalponte⁴

¹Université Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP*, GIPSA-lab, 38000 Grenoble

²Université Grenoble Alpes, IRSTEA, UR LESSEM, 2 rue de la Papeterie-BP 76, F-38402, St-Martin-d'Hères

³Universidad Técnica de Machala, Unidad Académica de Ingeniería Civil, Machala

⁴Department of Sustainable Agro-ecosystems and Bioresources, Research and Innovation Centre, San Michele all'Adige

*Auteur correspondant

Trees are renewal resources with an enormous impact to individuals and communities. For instance, the trees benefits rely on temperature moderation, air purification, biodiversity preservation and reduction of noise pollution. Tree characterization has drawn an important relevance in several areas. In silviculture, experts have been focused on growth models based on competition for light, which describes implicitly the site conditions. For commercial applications, the need of determining the wood quality through stem diameter, height or crown diameter; becomes imperative for the serviceability of end products. On the other hand, Remote sensing tools provide great potential to contribute to sustainable management of forests. Recent advances in sensors such as lidar and hyperspectral cameras make possible to describe forest at tree level.

From a remote sensing point of view, the delineation of trees is a segmentation problem. Some approaches perform the delineation of trees on the 3D point cloud from lidar data by subdividing the point cloud in slices, detecting treetops, clustering points and merging potential tree candidates. Other authors select treetops at the Canopy Height Model (CHM) as seeds for the segmentation algorithms such as: Region Growing or Watershed. Some strategies for hyperspectral image segmentation apply dimensionality reduction by using Principal Component Analysis to preserve the most meaningful feature descriptors. Significant contributions are dedicated to the fusion of lidar and hyperspectral information, for instance; the registration of the CHM and the hyperspectral images, or the fusion of features generated from both sources. The semantic segmentation approach takes the advantage of endowing significant features to each pixel. It provides a better understanding of the scene at pixel level, due to the correspondence between object class and image pixel. Following this line, this work proposes a scheme of semantic segmentation by testing a methodology of feature extraction based on hyperspectral and lidar data.

3D point cloud provides relevant information regarding the vertical distribution of trees, together with spectral information that allows a fine discrimination. Our proposal is motivated by the work of Dechesne et al. [1], who define a set of pixel lidar features based on vegetation density and shape, and a set of pixel hyperspectral features formed by vegetation indices and statistical descriptors. We test this approach on an Alpine forest located at the Municipality of Pellizzano, Italy; whose dataset is formed by 15 plots of approximately 700 square meters. Lidar data has a point density of 45 points per square meter, while spectral resolution of the hyperspectral data is around 0.66 m per pixel with 65 bands in a range of 403.1 nm to 995.3 nm. We compare the performance of our scheme with the segmentation algorithm implemented in the package LidR.

> Références

[1] Dechesne, C., Mallet, C., Le Bris, A., & Gouet-Brunet, V. (2017). Semantic segmentation of forest stands of pure species combining airborne lidar data and very high resolution multispectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 126, 129-145.

Fusion de données multispectrales multi capteurs

Théo Masson¹, Mauro Dalla Mura¹, Marie Dumont², Jocelyn Chanussot^{1,3}

¹GIPSA - lab, Grenoble - INP, Saint Martin d'Hères, France

²Météo - France - CNRS, CNRM /CEN, UMR 3589, Saint Martin d'Hères, France

³Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Iceland, Reykjavik, Iceland

De nombreuses approches [1] telles que HySure ou CNMF existent pour effectuer la fusion multi-capteurs. Cependant celles-ci concernent principalement la fusion d'un capteur Hyperspectral de plus haute résolution spectrale avec un capteur multispectral de plus haute résolution spatiale. Ces méthodes exploitent le recouvrement spectral entre les deux capteurs, ceci afin d'établir un « pont » entre les données recueillies. Cela permet de mettre à l'échelle par la fusion et le démixage spectral les données hyper spectrales à la résolution spatiale du capteur multispectral.

Dans le cas de deux capteurs multispectraux le recouvrement spectral entre les deux capteurs n'est pas garanti, voir souvent inexistant. Cette étude propose de généraliser le modèle utilisé par CNMF [2] et HySure afin que le produit final comporte l'ensemble des bandes spectrales disponibles ainsi que la meilleure résolution spatiale possible. Dans le but de résoudre ce nouveau problème, nous effectuons une dégradation spatiale du capteur le mieux résolu spatialement afin de faire coïncider sa résolution avec celle du second capteur. Ces données sont ensuite concaténées afin de créer un nouveau jeu de données à la plus basse résolution spatiale mais comportant l'ensemble des bandes spectrales recherchées dans le produit final. Ce jeu de données est alors fusionné suivant les algorithmes de résolution CNMF ou HySure, la concaténation ayant permis un recouvrement spectral entre les deux capteurs. Des tests synthétiques ont été effectués afin de vérifier la robustesse de cette approche lorsque les écarts entre les bandes deviennent importants. La figure 1 présente les résultats de la fusion entre deux capteurs pour différents décalages entre les bandes et démontre la robustesse de cette nouvelle approche. Les tests supplémentaires sur des données simulées à partir du jeu de données « Cuprite » vont dans le même sens. L'application de cette méthode pour la fusion de deux ou de plusieurs capteurs de différentes résolutions est réaliste et est en cours de réalisation.

> Références

[1] N. Yokoya, C. Grohnfeldt, & J. Chanussot, "Hyperspectral and multispectral data fusion: A comparative review," IEEE GRSM, 2017.

[2] N. Yokoya, T. Yairi, & A. Iwasaki, "Coupled nonnegative matrix factorization unmixing for hyperspectral and multispectral data fusion," IEEE TGRS, vol. 50, no. 2, pp. 528 – 537, 2012.

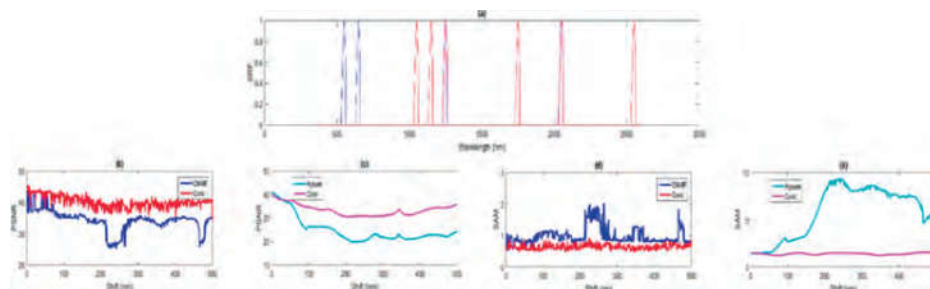


Figure 1. Présentation d'un pixel mixte ainsi que des paramètres du mélange (fractions d'abondance) et des spectres en réflectance que l'on souhaite déterminer.

Methane leaks quantification from imaging Hyperspectral data

Pierre-Yves Foucher¹, Stéphanie Doz¹

¹ONERA - The French Aerospace Lab

Detection and measurement of gaseous hydrocarbon emissions in industrial facilities is a must for obvious environmental reasons: currently large uncertainties exist associated with the attribution and quantification of fugitive emissions of criteria pollutants and greenhouse gases such as methane across large regions and key economic sectors. Besides, the history of gas leak incidents in the Oil and Gas Industry has shown the need for efficient and accurate tools for quantifying the gas leak rate and the extent of the hazardous areas to manage efficiently an emergency situation.

Hyperspectral imaging in the long-wave infrared (LWIR) or in the short wave infrared (SWIR) can be a mean, that is proving its worth in the characterization of gaseous effluent. On one hand, methane gas has a spectral signature in these two spectral bands. On the other hand, improvement of hyperspectral acquisition systems (compactness, integration time, spectral resolution, noise) make possible ground, airborne or UAV applications for gas monitoring. A diversity of gases quantification approaches has been proposed in the literature. The majority of these algorithms exploit the difference of radiance between the plume-present and plume-absent cases which corresponds to the plume contribution on the radiance. In this paper, we use a method using a single image able to retrieve trace gas concentration from airborne infrared hyperspectral data without introducing optimal estimation and iterative processing of radiative transfer calculation. More particularly the outlined method improves existing background radiance estimation approach to deal with heterogeneous scenes corresponding to industrial scenes. It consists in performing a classification of the scene, and then to apply the approach introduced by Niu et al. [2] on each cluster stemming from the classification [1].

In this paper we show methane quantitative map retrieved from ground and airborne hyperspectral data during a gas test campaign organized on Total's Lacq Pilot Platform in France. The two-week test demonstrated that methane leak emissions ranging from 0.7 g/s to 140 g/s could be visualized and quantified in real time using a mobile Hyperspectral LWIR [3] camera and than a 50g/s methane leak could be detected and quantified from SWIR airborne hyperspectral data.

> Références

- [1] R.Idoughi, T.Vidal, P-Y.Foucher, X.Briottet, "Background radiance estimation for gas plume quantification in downlooking thermal infrared Images" Hindawi Publishing Corporation, Journal of Spectroscopy, February 2016, Vol. 2016, No. 1.
- [2] S. Niu, S.E. Golowich, V.K. Ingle, D.G. Manolakis, New approach to remote gas-phase chemical quantification: selected-band algorithm, in Optical Engineering, Feb. 2014, vol. 53(2).
- [3] Watremez *et al.*, "Remote Sensing Technologies for Gas Leak Detection, Visualization and Quantification Using Infrared Imagers". Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, June 2016. · DOI: 10.2118/183527-MS

Session 4

Thématique : Planétologie

Calibration des données spectrales Rosetta/VIRTIS-H

François Andrieu¹, Stéphane Érad²

¹Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique, Université Pierre et Marie Curie - Paris 6, Institut national des sciences de l'Univers, Observatoire de Paris, Université Paris Diderot - Paris 7, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8109

²LESIA, Observatoire de Paris, PSL Research University, CNRS, Sorbonne Universités, UPMC Univ. Paris 6, Univ. Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, France

La sonde Rosetta a été envoyée en 2004 pour étudier la comète Churyumov-Gerasimenko, qu'elle a atteint en 2014. Un de ses objectifs principaux était d'étudier le noyau cométaire et d'en déterminer les caractéristiques principales. Pour ce faire, la sonde disposait d'une batterie d'instruments, dont le spectromètre à dispersion croisée (ou échelle) VIRTIS-H [1], conçu et fabriqué au LESIA. Ce type de d'instrument permet, en dispersant d'abord la lumière dans les ordres élevés par deux réseaux, puis en séparant ces ordres de diffraction par un prisme, d'acquérir simultanément l'ensemble du spectre sur une matrice de détecteurs, à haute résolution spectrale (1 300-3 000) dans le domaine 1.88-5.03 μm .

Essentiellement conçu pour l'étude de la coma, cet instrument peut néanmoins apporter beaucoup à l'étude de la surface, notamment par sa haute résolution spectrale, bien supérieure à celle du canal VIRTIS-M (70-380), imageur hyperspectral et autre composante essentielle de l'instrument VIRTIS [2]. Cependant, l'étude de la surface par VIRTIS-H est actuellement rendue difficile par une caractéristique du dispositif optique de l'instrument : l'image de la fente permettant de collecter la lumière sur les réseaux servant à la diffracter n'est pas complètement défocalisée, si bien que les deux réseaux n'observent en réalité pas exactement la même zone : les réseaux « louchent ». Ceci ne pose aucun problème pour l'étude de la coma, car elle peut être considérée comme homogène à cette échelle spatiale : même si les zones observées sont légèrement différentes, la différence de signal entre elles est négligeable. En revanche, la surface de 67P/TG étant très inhomogène, notamment avec de nombreuses ombres portées, il peut y avoir des différences importantes entre les signaux envoyés par l'un et l'autre des réseaux [3]. Le spectre résultant montre alors une alternance de niveaux de réflectance sur des portions de spectre (correspondant au demi-ordres) qui le rend en pratique très difficile à exploiter. De plus, pour une raison encore inconnue, il semblerait qu'une fuite de lumière au niveau du voisinage de la fente de l'instrument soit à déplorer, dans des conditions géométriques particulières.

Je présenterai d'abord une méthode visant à retirer la lumière parasite due à la fuite. Cette méthode s'appuie sur (i) la construction d'un modèle de lumière parasite (ii) la détection de la lumière parasite dans un cube de mesure en mode nominal, et (iii) la mise à l'échelle du modèle pour le retirer du spectre. D'autre part, je présenterai une méthode de correction du « louchage des réseaux » lorsque c'est possible pour les données de surface. Cette méthode s'appuie sur la co-registation spatiale de données acquises quasi simultanément le long d'une trace. L'objectif est de fusionner deux données correspondant aux images de la même zone : un pixel donné étant observée par l'un des réseau dans la première mesure, et par le deuxième réseau quelques secondes plus tard.

> Références

- [1] Coradini, A. et al., Virtis: An Imaging Spectrometer for the Rosetta Mission, *Space Science Reviews*, 2007, 128, 529-559.
- [2] Capaccioni, F. et al., The organic-rich surface of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko as seen by VIRTIS/Rosetta, *Science*, 2015, 347.
- [3] Fornasier, S. et al., Spectrophotometric properties of the nucleus of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from the OSIRIS instrument onboard the ROSETTA spacecraft 2015, *A&A*, 583, A30

Enregistrement et référencement des données de l'imageur haute définition OSIRIS, embarqué sur la mission Rosetta/ESA

Hasselmann, Pedro Henrique¹

¹LESIA, Observatoire de Paris, PSL Research University, CNRS, Univ. Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, UPMC Univ., Paris 06, Sorbonne Universités, 5 Place J. Janssen, Meudon Principal Cedex 92195, France

Les instruments hyperspectraux spatiaux ou aéroportés permettent aujourd'hui d'acquérir des images d'observation terrestre sur plusieurs centaines de longueurs d'onde dans les domaines visible/proche infrarouge (VNIR) et infrarouge courtes longueurs d'onde (SWIR). Si les acquisitions aéroportées procurent une bonne résolution spatiale (0.5 m), les acquisitions satellitaires n'atteignent pas ces performances. C'est pourquoi, sur des zones à forte hétérogénéité par rapport à la résolution spatiale du capteur utilisé, le signal mesuré par chaque pixel peut être le résultat de la contribution radiative de plusieurs matériaux. On parlera alors de pixel mixte (cf. Figure 1), par opposition à un pixel pur qui n'enregistre le signal issu que d'un seul matériau. De par sa richesse spectrale, l'imagerie hyperspectrale rend possible l'estimation de la réflectance et de l'abondance relative de chaque matériau composant ces pixels mixtes. Un tel traitement s'appuie sur les méthodes de séparation aveugle de sources ou démixage non supervisé.

De nombreuses méthodes de démixage existent dans la littérature [1] mais il reste difficile de choisir parmi celles-ci la méthode la plus adaptée aux spécificités de l'image acquise. L'objectif de nos travaux est alors d'évaluer les performances de ces méthodes, pour différents types de paysages (urbain, rural), sur des images de la même scène acquises à des résolutions spatiales variées. Pour cela, à partir d'une image aéroportée acquise avec une résolution spatiale de 0.5 m, nous simulerons plusieurs jeux d'images aux performances du futur instrument HYPXIM, avec des résolutions spatiales dégradées (2 m, 4 m, 8 m, voire plus). Ces images, alors en luminance dans un référentiel au-dessus de l'atmosphère, seront ensuite ramenées en réflectance au sol pour être traitées. Plusieurs méthodes de démixage (SISAL [1], MVC-NMF [1], NMF [2], IP-NMF [3]) seront appliquées afin de comparer leurs performances au regard des différentes résolutions. Les pôles de mélanges obtenus aux différentes résolutions seront comparés à des classes spectrales de référence établies manuellement depuis l'image 0.5 m de résolution spatiale.

> Références

- [1] Keller H. U. et al., OSIRIS – The Scientific Camera System Onboard Rosetta. 2007. Space Science Reviews 128, Issue 1–4, pp 433–506.
- [2] S. Fornasier et al. (44 more). Spectrophotometric properties of the nucleus of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from the OSIRIS instrument onboard the ROSETTA spacecraft. A&A, 583 (2015) A30.
- [3] PH Hasselmann et al. The opposition effect of 67P/Churyumov-Gerasimenko on post-perihelion Rosetta images. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 469 (Suppl_2), S550-S567
- [4] PH Hasselmann et al. Asteroid (21) Lutetia: Disk-resolved photometric analysis of Baetica region. 2016. Icarus 267, 135-153
- [5] S van der Walt, J. L. Schönberger, J. Nunez-Iglesias, F. Boulogne, J. D. Warner, N. Yager, E. Gouillart, T. Yu and the scikit-image contributors. scikit-image: Image processing in Python. 2014. PeerJ 2:e453.
- [6] BD. Lucas and T. Kanade. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. 1981. Proceedings of Imaging Understanding Workshop, pp 121-130
- [7] S Fornasier et al. Rosetta's comet 67P/Churyumov-Gerasimenko sheds its dusty mantle to reveal its icy nature. 2016. Science 17 Nov 2016: aag2671.
- [8] JDP Deshapriya et al. Spectrophotometry of the Khonsu region on the comet 67P/Churyumov-Gerasimenko using OSIRIS instrument images. 2016. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 462 (Suppl_1), S274-S286

Hypsimars: a tool to simulate hyperspectral images for Martian 3D scenes

Sylvain Douté¹

¹Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5274, Université Joseph Fourier - Grenoble 1 : UMR5274

We present a tool for simulating hyperspectral images for 3D Martian scenes. Several lines of development are considered for achieving a high degree of realism : high resolution digital elevation models, description of material distribution with fractal characteristics, bidirectional reflectance measured in the laboratory as a function of geometry and wavelength for a series analogue materials, mixing of spectral signatures at different scales, 3D radiative transfer between atmosphere and surface. The simulator addresses different needs (i) developing and testing methods for the correction of atmospheric and photometric effects images taken by orbiter around Mars (ii) developing and testing methods for the linear and nonlinear spectral unmixing applied to hyperspectral images. (iii) understanding the phenomenology of image formation and, in particular, the factors that control the spectrophotometric properties (bidirectional reflectance as a function of wavelength) of the pixels resulting from the aggregation of physical signals at different sub-pixel scales.

A synthetic hyperspectral image is generated according to a given scene, atmospheric conditions, sensor characteristics, and observation geometry. For that purpose several modules are implemented that reflect different steps in the simulation. The spatial distribution of materials covering the scene is described by maps of pure component - a.k.a "endmembers" - abundances. The latter are generated by a genetic algorithm - a cellular automaton - reproducing some planetary transport and mixing processes for achieving fractal properties as expected for real scenes in nature [1]. In the simulation, the bidirectional reflectance of the surface materials is expressed either using the Hapke model or the Ross-Thick Li-Sparse (RTLS) model which has proved to be accurate in recreating many types of natural surfaces. Several modalities of the RTLS model were extracted by our tool MARS-ReCO [2] for varied Martian geological contexts from the processing of multi-angular hyperspectral observations by the Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM). On the other hand the bidirectional reflectance of eight natural well-controlled samples of planetary interest was measured as a function of wavelength in the visible and infrared for a large range of phase angles [10-130°] with a spectrophotometer [3]. The components can coexist at two main sub-pixel levels: macroscopic (linear spatial mixing) and/or microscopic (non linear granular mixture). The scene is also defined by a high-resolution (10m.pixel-1) high quality Digital Elevation Model (DEM) that we generate from the fusion of photogrammetry and photoclinometry information derived from CTX@MRO imagery [4]. Then maps of local geometrical and illumination conditions can be calculated considering the sun elevation and northern azimuth as well as the viewing zenith angle and the phase angle as a function of the pixel geographical coordinates. The atmospheric condition is defined by the aerosol radiative properties, their vertical distribution and an integrated Aerosol Optical Depth (AOD). At this point the atmospheric radiative LUT of MARS-ReCO (Ceamanos2013) provides the direct and diffuse wavelength dependent illumination for a flat ground. We use an improved version of the parametrization by [5] for adapting these fluxes to any slope characterized by its magnitude and orientation. In addition one needs to consider the fraction of sky visible and to care about possible shadowing and occultation of a given facet by neighboring topography. The calculation of the spectral radiance at the sensor is based on (i) the Hapke or RTLS model fed by the macroscopic spectro-photometric parameters for computing the reflectance of the surface and (ii) a 3D surface-atmosphere radiative transfer (RT) scheme inspired by [6] and addressing environmental effects (i.e. reflections of direct and diffuse irradiance from the neighborhood) and the multiple scattering between the surface and the atmosphere. The upward transfer of the surface reflected radiance to the sensor either by direct path or by multiple scattering.

Series of tests are produced to validate the direct simulation code and to perform a sensitivity analysis of the model regarding its different parameters. We pay particular attention to the calculation of the diffuse illumination term using the modified parametrization and the calculation of the irradiance reflected by the neighborhood facets in a given point of a scene. In addition a method is put forward aimed at estimating, for a real in-orbit image acquisition, the vertically integrated aerosol content of the atmosphere while providing a first order correction of the atmospheric contribution and a normalization of the radiometric condition throughout the scene. The method is based on a series of simulations of the real image.

> Références

- [1] W. Lucht et al. TGRS, 38(2):977–998, 2000.
- [2] Ceamanos X. et al. JGR planets, 118:1–20, 2013. doi:10.1029/2012JE004195.
- [3] C. Pilorget et al. Icarus, 267:296 – 314, 2016.
- [4] C. Jiang and Douté S, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2017, 130, 418-430
- [5] A. Spiga and F. Forget. GRL, 35:15201–+, 2008.
- [6] Mieschet al. Applied Optics, 39:6830–6846, 2000.

Technique : Avancées et simulations capteur

HySpex Mjolnir – the first scientific grade hyperspectral cameras for UAVs

Lukas Paluchowski¹, Trond Løke¹, Ivar Baarstad¹, Julio Hernandez¹, Pesal Koirala¹ & Andrei Fridman¹

¹Norsk Elektro Optikk AS (NEO)

The HySpex Mjolnir V-1240 and S-620 hyperspectral cameras provide a unique combination of small form factor and low mass combined with high performance and scientific grade data quality. Top level specifications include a spatial resolution of 1 240 pixels in VNIR range and 620 spatial pixels in SWIR range. A spectral resolution of 200 bands (VNIR) and 300 spectral bands (SWIR) as well a high light throughput (F1.8 and F1.9) make these cameras an excellent option for a wide range of scientific application for UAV operations and field applications. The optical architecture is based on the high-end ODIN-1024 system and features a total FOV of 20 degrees. With a total mass of less than 4.5 Kg including hyperspectral camera, data acquisition unit, battery, IMU and GPS, the system is suitable for even small UAVs. The system is generic and can be deployed on a wide range of UAVs with various downlink capabilities. The ground station software enables full control of the sensor settings and also has the capability to show in real time where the UAV is located, plot the track of the UAV and display the image footprint in order to give instant feedback on spatial coverage. Real time processing results can also be displayed directly on the ground control station. The system can be triggered automatically by the UAV's flight management system, but can also be controlled manually.

In this presentation, we will present results from tests of the performance and stability of the systems and give an overview of the complete system from the hyperspectral camera to computer, navigate on system and software. We will also present the methods used to calibrate and characterize these systems. We will also present a new real-time processing software that is running on the data acquisition unit inside Mjolnir. This software enables real-time georeferencing and rectification, real time indices

Etudes préparatoires à une mission hyperspectrale spatiale française

**Marie-José Lefèvre-Fonollosa¹, Adrien Deschamps¹, Vincent Lonjou¹,
Gwendoline Blanchet¹, Stephane May¹ & Thierry Bret-Dibat¹**

¹Centre National d'Etudes Spatiales, 31401 Toulouse cedex

HYPXIM est une étude préliminaire (phase 0) qui a débuté en 2009, conduite et financée par le CNES. Les objectifs de la mission spatiale HYPXIM devaient répondre aux besoins duaux exprimés, d'une part, par la communauté scientifique nationale utilisant les données hyperspectrales à haute résolution (principalement aéroportées) pour de la recherche, et, d'autre part, la Défense, en complément de l'imagerie THR, sur des thèmes ciblés. Pour répondre aux exigences du groupe de mission plusieurs classes de besoins ont été identifiées, qui présentent en commun, un échantillonnage spectral de 10nm sur l'ensemble du domaine 400-2400nm et un SNR @L2 [VIS :250, PIR :200 et WIR :150] pour une résolution spatiale variant entre 8 et 15 m.

Entre 2010 et 2015, le CNES avec le soutien industriel d'Airbus Defence & Space et de Thales Alenia Space a conçu trois principaux scénarios de mission différents qui sont rappelés dans ce document :

- HYPXIM-C (Challenging), répond au besoin de résolution spatiale à 15 m en hyperspectral et 3.2 m en panchromatique pour un champ de 30 km. Il s'agit d'un microsatellite de 200 kg placé sur une orbite héliosynchrone à 650 km, acceptant une charge utile de 80Kg / 110W.
- HYPXIM-P (Performance), permet d'atteindre une résolution spatiale de 8 m en hyperspectral, 1.8 m en panchromatique pour un champ de 15 km avec un minisatellite de 600 kg au lancement; sa charge utile (115 kg / 150W) est composée d'un instrument hyperspectral composé d'un télescope Korsch (diam 450 mm) et d'un canal panchromatique séparé, utilisant le même télescope.
- HYPXIM-D (Démonstrateur) accueille le même instrument que HYPXIM - C (80 kg / 110 w) mais sa performance de résolution spatiale est identique à celle d' HYPXIM-P mais pour un champ limité à de 8-10 km en raison de son orbite basse (360 ou 500 km). C'est ce concept, rebaptisé HYPEX-2 , qui a été revisité et proposé en 2016 et 2017 à l'appel d'offre de l'ESA Earth Explorer 9 par une communauté scientifique élargie au niveau européen.

Depuis 2015 et en parallèle de ces études d'architecture système, des activités centrées sur les problématiques suivantes ont également été mises en place :

- Sur la modélisation 3D du transfert radiatif en milieu forestier tropical (cadre TOSCA - modèle DART et maquettage de placettes forestières réalistes par lidar terrestre et aéroportés) et sa validation via des campagnes aéroportées et in situ sur la Guyane (Etude phase 0 - Hypertropik Leaf Expé-Val).
- Sur l'apport de l'hyperspectral à la thématique côtière et sur l' étude d'impact des corrections atmosphériques et des performances instrumentales (cadre R&T – physique de la mesure CNES).
- Sur la reprise les points de fonctionnement en partant des besoins mission de trois applications ciblées afin d'évaluer quel est le juste besoin au regard des utilisateurs finaux (phase 0 CHIMERE)
- Sur le sujet du débruitage hyperspectral (cadre R&T – qualité Image CNES).
- Sur des études algorithmiques relatives conjointement à de la classification et du démixage d'images hyperspectrales notamment en s'appuyant sur les informations contenues dans une voie panchromatique mieux résolue à haute ou très haute résolution (cadre de thèses - CNES/ONERA /INP – TOULOUSE) .

Aujourd'hui des opportunités de coopérations internationales apparaissent sur des missions plus ciblées peut-être moins ambitieuses mais répondant à des contraintes de coûts et de masse sévères. Dans ce contexte, le CNES explore des concepts résolument innovants de la classe de satellite autour de 50 kg. Pour cela, une étude a été récemment mise en place afin de revisiter les besoins mission pour un satellite d'Observation de la Terre embarquant un imageur hyperspectral compact. Un point sur les travaux les plus avancés est présenté.

Impact de la résolution spatiale pour l'identification d'essences forestières en milieu tempéré à partir d'une image hyperspectrale du domaine réflectif

Thierry Erudel¹, Sophie Fabre², Xavier Briottet², Jean-Baptiste Féret³, Mathieu Fauvel¹, Harold Clénet¹, David Sheeren¹

¹Dynamiques Forestières dans l'Espace Rural Institut National Polytechnique [Toulouse], Institut National de la Recherche Agronomique : UMR1201, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse

²ONERA - The French Aerospace Lab

³Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale TETIS CNRS

L'image hyperspectrale aéroportée dans le domaine réflectif a démontré son potentiel pour la caractérisation de la végétation et la discrimination d'espèces d'intérêt. Dans le cadre de la préparation des futures missions spatiales hyperspectrales, il est nécessaire de consolider les spécifications instrumentales, et notamment d'évaluer l'impact des résolutions spatiale et spectrale sur les performances de méthodes disponibles pour les différentes applications envisagées comme l'identification des essences forestières ou la caractérisation de différentes composantes de la biodiversité.

Pour réaliser cette étape de consolidation des spécifications instrumentales, nous proposons une méthodologie s'appuyant sur deux composantes :

- Un jeu de données expérimentales comprenant des acquisitions hyperspectrales aéroportées à très haute résolution spatiale (1m de résolution spatiale, 3.6 nm d'échantillonnage spectral sur le domaine VNIR, 6 nm sur le domaine SWIR) et des données de validation terrain de cette même zone.
- Des outils de simulation permettant de dégrader les résolutions spatiale et spectrale des données expérimentales, ainsi que d'intégrer un certain nombre de caractéristiques capteur, évaluées ultérieurement (bruit, déformations – smile, keystone) et perturbations environnementales (conditions atmosphériques) pour aboutir à la simulation de la luminance TOA (Top-of-Atmosphere) et de la réflectance TOC (Top-of-Canopy).

Les données expérimentales sont issues d'une campagne aéroportée effectuée le 18 septembre 2015 dans le cadre du projet Naomi ONERA-Total sur la forêt de Fabas (Haute-Garonne, France) avec deux imageurs hyperspectraux HySpex de l'ONERA (VNIR : 400 – 1 000 nm, SWIR : 1 000 – 2 500 nm). Il s'agit d'une forêt principalement composée de différentes essences de résineux, mais aussi de chênes de réserve et quelques feuillus.

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons à l'impact de la résolution spatiale sur les performances obtenues pour la classification d'espèces d'arbres à 2 niveaux hiérarchiques : 1. distinction de feuillus / résineux ; 2. distinction des 8 essences. Nous appliquons dans un premier temps des méthodes de classification orientée pixel couramment utilisées pour ce type d'applications (Support Vector Machine et Random Forest) sur les données aéroportées à leur résolution spatiale et spectrale natives. Cette première étape nous fournit un niveau de référence en termes de performances de classification. Dans un second temps, nous dégradons la résolution spatiale initiale jusqu'à 2 m, 4 m, 8 m (résolution envisagée pour le capteur Hypxim), 10 m (Sentinel-2), 30 m (EnMap, Prisma).

Nos premiers résultats montrent que le changement de résolution spatiale a un effet limité sur la performance des classifications (kappa proche de 0,8 pour la simulation TOC). Cet effet est actuellement mal évalué car il n'est mesuré que sur des pixels de référence purs, quelle que soit la résolution spatiale testée. Les feuillus / résineux (niveau 1) sont très bien séparés avec un niveau de confiance élevé (kappa proche de 0,9). La qualité de discrimination des essences varie quant à elle selon la méthode de classification utilisée (SVM ou RF) et le niveau de pré-traitement de l'image (TOA ou TOC).

Plusieurs perspectives sont envisagées : une évaluation par démixage avec une quantification de l'hétérogénéité à l'échelle pixellaire et objet, une comparaison des résultats avec une classification d'une série temporelle Sentinel-2, une utilisation d'indices spectraux de végétation pour la classification, et une étude de l'impact des caractéristiques spectrales (échantillonnage, résolution, bruit capteur) pour une résolution spatiale donnée.

Reconstruction d'images hyperspectrales à faible cout pour un imageur pilotable à double dispersion

Ibrahim Ardi^{1,2}, Hervé Carfantan¹, Antoine Monmayrant², Simon Lacroix²

¹IRAP - Université de Toulouse/CNRS, Toulouse, France

²LAAS-CNRS - Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France

Nous nous intéressons à la reconstruction d'images hyperspectrales (HS) à partir d'un nouveau dispositif d'imagerie proposé au LAAS [1], composé de deux lignes 4f (assemblage de deux lentilles et d'un réseau de diffraction) symétriques et séparées par une matrice de micro-miroirs (Digital Micromirror Device, DMD) placée dans le plan de symétrie. Ce dispositif est similaire à celui proposé dans [2], la différence fondamentale provenant du masque codé figé dans [2] qui est remplacé dans [1] par le DMD, pilotable en temps réel. Chacun des micro-miroirs du DMD peut être configuré en position de transmission ou de réjection du signal lumineux, effectuant ainsi un filtrage spatial du signal. Notre objectif à terme est de rendre ce dispositif adaptatif en fonction de l'objet observé, ce qui nécessite de disposer de méthodes de reconstruction à faible cout calculatoire. Nous nous focalisons sur la reconstruction de l'image HS à partir d'un faible nombre d'acquisitions, pour des configurations différentes du DMD. Le système d'acquisition peut se modéliser sous forme matricielle $\mathbf{d} = \mathbf{H}\mathbf{o}$, où $\mathbf{d}$ rassemble sous forme vectorielle l'ensemble des données et $\mathbf{o}$ l'ensemble des pixels spatiaux et spectraux de l'image HS. Grâce aux propriétés du dispositif, la matrice $\mathbf{H}$ est extrêmement creuse. Pour résoudre ce problème inverse linéaire avec un cout de calcul raisonnable, nous exploitons une régularisation quadratique sur les gradients spatiaux et spectraux de l'image, soit la solution définie par

$$\hat{\mathbf{o}} = \arg \min_{\mathbf{o}} \|\mathbf{d} - \mathbf{H}\mathbf{o}\|^2 + \mu_x \|\mathbf{D}_x \mathbf{o}\|^2 + \mu_y \|\mathbf{D}_y \mathbf{o}\|^2 + \mu_\lambda \|\mathbf{D}_\lambda \mathbf{o}\|^2$$

où $\mathbf{D}_x$, $\mathbf{D}_y$ et $\mathbf{D}_\lambda$ représentent l'approximation de l'opérateur de dérivation suivant x , y et λ respectivement et μ_x , μ_y et μ_λ les coefficients de régularisation associés. Notons que les dimensions des matrices en jeu dans cette équation ne permettent pas un calcul direct de la solution par inversion matricielle, aussi nous utilisons une méthode itérative par gradients conjugués pour résoudre l'équation normale associée au problème (Conjugate Gradients on the Normal Equations, CGNE), qui nécessite essentiellement, à chaque itération, le calcul de produits de type $\mathbf{M} \cdot$ et $\mathbf{M}^T \cdot$ pour les différentes matrices de l'équation (1), particulièrement simples à calculer.

Dans ce cadre classique, connu pour reconstruire une version basse résolution de la solution, nous proposons une reconstruction permettant de préserver les contours spatiaux de l'image. A cette fin, nous exploitons la possibilité qu'a l'imageur de fournir une image panchromatique (obtenue en positionnant l'ensemble des micro-miroirs en mode transmission): nous effectuons une détection de contours sur cette image et supprimons la régularisation entre les pixels spatiaux au voisinage de ces contours, ce qui entraîne une simple modification des matrices $\mathbf{D}_x$ et $\mathbf{D}_y$ (suppression des lignes correspondantes).

> Références

- [1] Coradini, A. et al., Virtis: An Imaging Spectrometer for the Rosetta Mission, *Space Science Reviews*, 2007, 128, 529-559.
- [2] Capaccioni, F. et al., The organic-rich surface of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko as seen by VIRTIS/Rosetta, *Science*, 2015, 347.
- [3] Fornasier, S. et al., Spectrophotometric properties of the nucleus of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from the OSIRIS instrument onboard the ROSETTA spacecraft 2015, *A&A*, 583, A30

Session 6

Thématique : Méthodologie

Amélioration du modèle MARMIT de simulation d'un spectre de réflectance de sol en fonction de sa teneur en eau

Aurélien Bablet^{1,2}, Françoise Viallefont¹, Sophie Fabre¹, Xavier Briottet¹, Stéphane Jacquemoud²

¹ONERA – DOTA/POS, 2 avenue Edouard Belin, 31000 Toulouse, France

²IPGP – PSS, 35 rue Hélène Brion, 75013 Paris, France

La teneur en eau des sols (SMC, pour Soil Moisture Content) est une donnée essentielle pour un grand nombre d'applications comme l'agriculture, l'hydrologie, la météorologie, la planétologie ou la défense. Les mesures in situ sont coûteuses, compliquées à mettre en œuvre et locales (échelle parcellaire). L'approche par télédétection est plus globale et plus rentable. Les méthodes actuelles permettant de déterminer la teneur en eau d'un sol à partir de sa réflectance (indices spectraux, continuum, gaussiennes inversées, etc.) reposent rarement sur des considérations physiques. Le modèle MARMIT (MultiLayer Radiative transfer Model of soil reflectance) présenté lors du 4^e colloque du Groupe Hyperspectral assimile un sol humide à un sol sec recouvert d'une fine pellicule d'eau: le spectre de réflectance d'un sol dans le domaine solaire est modélisé à l'aide de deux paramètres d'entrée :

- L'épaisseur de la lame d'eau, qui est liée à la teneur en eau.
- Un facteur d'efficacité tenant compte du caractère hétérogène des surfaces humides.

MARMIT tend à surestimer la réflectance du sol humide dans le visible et à sous-estimer dans le moyen infrarouge. Cette inadéquation pourrait s'expliquer par une mauvaise prise en compte de l'indice de réfraction de la lame d'eau recouvrant le sol, à cause de petites particules de sol qui pourraient y être mélangées. Dans ce travail nous utilisons la théorie des milieux effectifs (ou théorie de Maxwell-Garnett) qui permet d'inclure des particules de sols sphériques dans la lame d'eau et de calculer un nouvel indice de réfraction. La nouvelle version du modèle, MARMIT-2, améliore sensiblement l'ajustement du modèle aux données de réflectance.

An NMF-based unmixing method with known spectra of photovoltaic panels for their detection and area estimation from urban hyperspectral remote sensing data

Moussa Sofiane Karoui¹, Fatima Zohra Benhalouche¹, Yannick Deville^{2,*}, Khelifa Djerriri¹, Xavier Briottet³, Thomas Houet⁴, Arnaud Le Bris⁵

¹Centre des Techniques Spatiales

²Institut de recherche en astrophysique et planétologie, Université Paul Sabatier - Toulouse 3, Observatoire Midi-Pyrénées, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5277

³ONERA

⁴Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR6554, Université de Rennes 2

⁵IGN

*Auteur correspondant

Currently, photovoltaic panels constitute an important part of renewable energy systems in urban areas of developed countries. They are expected to generate greener electrical energy from non-polluting solar resources. Therefore, government agencies, electricity grid operators and decision makers encourage their setting up by funding and tax reduction. To avoid frauds with these substitute energies, several organizations are interested in detailed information, including localization and energy production, about these solar systems.

Field surveys constitute one of the methods to obtain the above information on photovoltaic panels. However, this approach consumes a lot of time and can be very expensive, which leads to the use of other less expensive and faster approaches. The integration of remote sensing data is an interesting alternative for automatic detection of photovoltaic installations and their localization. Some remote sensing-based methods use high spatial resolution airborne/spaceborne images with a limited number of spectral bands. Such data do not allow an effective detection of photovoltaic panels principally due to their material properties. Indeed, when the visual properties of these panels are altered by specular reflections, their detection becomes difficult.

High spectral resolution hyperspectral data may be considered to overcome the above limitation. These data are acquired by sensors that gather images from hundreds of narrow and contiguous bands of the electromagnetic spectrum, which offer unique opportunities for precise material recognition.

In the investigation reported here, a hyperspectral-unmixing based method is proposed to detect photovoltaic panels and to estimate their areas. This approach is based on a new multiplicative nonnegative matrix factorization (NMF) algorithm which exploits known panel spectra. The designed approach, which can be considered as a partial NMF method, is applied to real airborne hyperspectral data acquired over the urban region of Toulouse, France. The obtained results (detection and area estimation) are confirmed by using a very high spatial resolution ortho-image of the same region. Also, these results are compared with those obtained by the standard multiplicative NMF algorithm introduced by Lee and Seung. This comparison shows that the proposed method yields much better overall performance than the considered method from the literature.

Détection/identification de minéraux industriels par imagerie hyperspectrale VNIR/SWIR - Apport de la transformée en ondelettes continue pour l'initialisation de l'algorithme AGM

Ronan Rialland^{1,*}, Rodolphe Marion^{1,*}, Véronique Carrère^{2,*}

¹CEA Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

²Département de Planétologie [Nantes], Université de Nantes

*Auteur correspondant

Le développement de l'imagerie hyperspectrale permet aujourd'hui l'étude des minéraux industriels à partir de capteurs aériens ou satellitaires. En effet, la mesure de la signature spectrale (aussi appelée spectre de réflectance) donne accès aux paramètres physico-chimiques des objets observés. Dans cette étude, nous utilisons l'imagerie hyperspectrale dans les domaines VNIR (Visible Near-InfraRed) [0,4 – 1,3] μm et SWIR (Short-Wave InfraRed) [1,3 – 2,5] μm pour détecter/identifier les minéraux présents sur des sites industriels et miniers.

L'objectif de l'algorithme AGM [1],[2],[3] (Automatized Gaussian Model) est, à partir d'un modèle EGO [4] (Exponential Gaussian Optimization), de décrire le spectre de réflectance comme la somme de gaussiennes et d'un continuum représentant respectivement les absorptions et la forme générale du spectre. Les minéraux sont identifiés et caractérisés dans un second temps à partir du spectre modélisé, les paramètres physico-chimiques des minéraux agissant à la fois sur les positions (chimie du minéral) et les formes (mélanges, tailles de grains, etc.) des absorptions ainsi que sur le continuum (diffusion liée à la granulométrie, l'humidité, l'éclairement, etc.). L'influence de ces paramètres, à l'exception de la composition chimique, n'est cependant pas toujours bien comprise et analysée.

La procédure actuelle d'estimation des paramètres du modèle se décompose de la manière suivante. Tout d'abord, le continuum est estimé et soustrait [5]. Cette étape permet de s'affranchir des effets autres que ceux de la composition chimique. Ensuite, les paramètres des gaussiennes sont initialisés par dérivées spectrales [1] dont la sensibilité au bruit peut générer un phénomène d'overfitting (surestimation du nombre de bandes d'absorption). Enfin, les paramètres du continuum et des absorptions sont ajustés conjointement par une méthode de Levenberg-Marquardt [6]. Cette procédure est certes efficace mais nécessite de nombreux et importants ajustements, en particulier pour gérer l'overfitting, induisant aussi des temps de calcul très élevés.

Ainsi, la présentation effectuée lors de ce colloque s'attarde particulièrement sur l'étape d'initialisation des paramètres des gaussiennes. Une méthode inspirée par Du *et al.* [7] et basée sur une transformée en ondelettes continue (Continuous Wavelet Transform CWT) est proposée. Elle permet de décomposer le spectre de réflectance en une matrice de coefficient où les informations sur les caractéristiques des absorptions sont accessibles. De plus cette décomposition rend possible la discrimination des faibles absorptions et du bruit. La figure 1 présente les spectres initialisés par les dérivées spectrales et par CWT. Le nombre de gaussiennes, estimé par la méthode CWT, est très nettement réduit ce qui limite la gestion de l'overfitting.

Un second aspect de la présentation introduit la problématique de l'identification (position des absorptions) et de la caractérisation (formes des absorptions et du continuum) des minéraux à partir du spectre modélisé. Plusieurs évolutions envisagées de l'algorithme AGM sont également détaillées (modèle de bruit, ajustement des paramètres, identification par logique floue, etc.).

Session 7

Thématique : Végétation

Prédiction des services écosystémiques dans les paysages agricoles par télédétection hyperspectrale

Mathieu Fauvel¹, Rémi Duflot², Aude Vialatte³, David Sheeren¹, Nicolas Dobigeon⁴

¹École nationale supérieure agronomique de Toulouse [ENSAT]

²Ecosystèmes, biodiversité, évolution (ECOBIO), INEE, Université de Rennes 1, CNRS : UMR6553, Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes

³UMR 1201 Dynafor, INRA - INP Toulouse, ENSAT

⁴Institut de recherche en informatique de Toulouse (IRIT), Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, Université des Sciences Sociales - Toulouse I, CNRS : UMR5505, Université Paul Sabatier - Toulouse III

L'objectif du projet MUESLI (*Multiscale Mapping of Ecosystem Services by Very High Spatial Resolution Hyperspectral and Lidar Remote Sensing Imagery*) est la cartographie des services écosystémiques et de la biodiversité par l'utilisation d'images hyperspectrales et LiDAR aéroportées. Les services étudiés concernent les services de régulation de ravageurs agricoles et forestiers ainsi que les services de production de céréales et de bois dans des paysages agri-forestiers.

Dans cette présentation, nous discuterons des résultats obtenus depuis le dernier colloque SFPT-GH de 2017. En particulier, nous détaillerons la modélisation continue proposée à partir des données hyperspectrales dans le cadre d'une approche prédictive pour les services écosystémiques. Cette modélisation consiste à approcher la distribution des pixels d'un paysage par un modèle de mélange de gaussiennes. A partir de cette modélisation, nous proposons une distance L2 pour des modèles de mélanges. Cette distance permet l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage classique (Knn, SVM, etc ...) pour prédire les niveaux de services à partir de cette représentation paysagère. Nous montrerons des résultats de prédiction de services écosystémiques et les comparerons aux approches classiques de représentation paysagère. La figure 1 fournit un exemple de plus proche et plus lointain voisin qu'il est possible de calculer à partir de cette modélisation.



Figure 1. Présentation d'un pixel mixte ainsi que des paramètres du mélange (fractions d'abondance) et des spectres en réflectance que l'on souhaite déterminer.

Identification de l'apport d'une chaîne de traitement corrective complète sur des images hyperspectrales pour la séparabilité des espèces végétales en milieu tropical

Anthony Laybros¹, Carla Baltzer, Raphael Dutrieux², Jean-Baptiste Feret³, Marie-Jose Lefèvre⁴, Grégoire Vincent⁵

¹Botanique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des Végétations, Université de Montpellier : UMR5120, Institut de Recherche pour le Développement : UMR123

²Botanique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des Végétations Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5120

³Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale TETIS CNRS

⁴Centre National d'Études Spatiales Expert Senior Systèmes d'Observation de la Terre

⁵Botanique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des Végétations de Recherche pour le Développement : UMR123

La caractérisation des espèces végétales en milieu tropical est un enjeu crucial pour la connaissance de la biodiversité. La forêt tropicale est un milieu difficile d'accès et les inventaires forestiers extrêmement coûteux. La démarche proposée est d'identifier automatiquement la taxonomie des arbres de la canopée à partir des informations acquises par imagerie hyperspectrale. Ces données d'imagerie ont été obtenues lors d'une campagne aéroportée datant de 2016 en Guyane française sur le site de Paracou, et financée par le CNES dans le cadre des projets HyperTropik et ExpeVal. Deux capteurs distincts couvrant le domaine visible proche infrarouge de 400 nm à 1 000 nm (HySpex VNIR-1600) et le domaine infrarouge de 900 nm à 2 500 nm (Hyperspec SWIR-384) ont été utilisés lors de cette acquisition. Un certain nombre de traitements sont nécessaires à la préparation de ces données pour parvenir à une identification générique des espèces végétales. Les images brutes sont en effet affectées par les conditions d'acquisition (caractéristiques du capteur, position solaire, conditions météorologiques).

L'objectif de cette étude est d'identifier l'apport d'une chaîne de traitement complète intégrant les corrections radiométriques, atmosphériques et de BDRF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) sur la stabilité de la réponse spectrale des espèces. L'établissement de la chaîne de prétraitement met en œuvre les méthodes publiques disponibles les plus avancées, tel que le nouveau module SHAOT récemment proposé. Une segmentation de 2 045 houppiers identifiés à l'espèce est préalablement établie permettant d'évaluer l'apport de différents prétraitements pour la reconnaissance des espèces de canopée.

Recognition of urban vegetation by hyperspectral airborne high-resolution VNIR imager (Kaunas, Lithuania)

Sébastien Gadal¹, Walid Ouerghemmi¹, Gintautas Mozgeris², Romain Barlatier¹

¹Aix-Marseille Univ, CNRS, ESPACE UMR 7300, Univ Nice Sophia Antipolis, Avignon Univ, 13545 Aix-en-Provence, France

²Aleksandras Stulginskis University, LT-53361, Akademija, Kaunas r., Lithuania.

The management of urban green spaces became crucial with the growing of the environmental and climatic issues nowadays; insofar as they provide multitude of services for the well-being of citizens, and contribute to the environment regulation. Remotely sensed data offers an abundance of environmental and urban information needed for the urban planners and urban architects to characterize, manage, and monitor urban green spaces. These data could bring complementary information at large scale (e.g. fast species recognition, vegetation health, green spaces mapping) and consolidate field inventories data. Multi-platform remote sensing sensors exist, with different spatial/spectral resolutions and different spectral domains. The choice of the VNIR sensor must take into account the allocated budget, the study scale (individual trees scale, groups of trees scale, green frame scale) and the seasonality aspect.

Multi-spectral satellite imagery is limited for spectral/radiometric detection and characterization of urban objects, indeed, few bands are generally available (i.e. 4 to 10 spectral bands usually), with at best a spatial resolution of one to few meters commonly (i.e. presence of mixed pixels) and some other issues related to cloud presence. An interesting alternative to satellite imagery could be the use of hyperspectral imaging (HSI), which offers a better spectral characterization at pixels level (from 50 to hundreds of contiguous bands) and generates high spatial resolution imagery when using airborne platforms (i.e. meter to centimeters). HSI introduces specific issues related to correlation between bands (i.e. information redundancy), to sensor noise (i.e. usually higher than the multispectral case), and to the complexity of image processing and image analysis (i.e. usually hundreds of bands to process). An airborne VNIR 64 bands hyperspectral imager with ground sampling distance (GSD) of 0.5 meter and Full width at half maximum (FWHM) of ~10 nm is experimented for the detection of eleven urban vegetation species over Kaunas city (Lithuania). The large panel of green spaces biodiversity (parks, green open spaces, and urban forests), urban structures (XVIIIth, XIXth, Inter-war Art Nouveau, Soviet, post-soviet urbanisms) and more specifically of tree species, allow us to consider Kaunas as a promising test zone to assess the feasibility of urban vegetation identification by hyperspectral imagery. The maps, biogeographic and individual tree species geo-localized databases available as well as the sampling techniques gathering the validation of the methodologies implemented for the vegetation and species detection. The generated maps, biogeographic and individual tree species databases were integrated in a Geographic Information System (GIS) as well as the sampling techniques that served for complementary validation (i.e. georeferenced photos).

The vegetation mapping concerned three identification scale: (1) green frame scale for assessing the detection of vegetation pixels, (2) group of species scale (i.e. deciduous, coniferous and short grass), and (3) individual species detection. The methodology developed and validated is composed of four main steps: (1) image pre-processing, (2) creation of a vegetation mask, (3) automatic classification based on spectral library (i.e. image and laboratory spectra used for the training process) and, (4) validation of the results. The pre-processing step includes band co-registration, mosaic build, calibration by MODTRAN model followed by a Minimum Noise Fraction (MNF) transformation to reduce the image noise. The second step consists of the elimination of non-vegetation pixels (water bodies, shadow and urban fabric) to reduce misclassifications. The third step is a classification based on spectral SVM with a RBF kernel. The classifier is applied over the full spectral range and over a reduced spectral range to assess if a band reduction step contributes to the enhancement of the classification map. The validation and accuracy level estimation of the generated maps is done using the validation data included in the GIS and collected over Kaunas city. Vegetation mapping performance decreased gradually when increasing the mapping scale, with overall accuracies of 90.3%, 74.0% and 46.6% respectively at the green frame scale, group of species scale and species scale.

Acknowledgment: this research was supported by the French National Research Agency (ANR) through the HYPE project (ANR-14-CE22-0016)

An oblique projection method for multi-scattering effects correction in close range hyperspectral imagery of vegetation scenes: application to nitrogen content assessment in wheat

Nathalie Al Makdessi¹, Gilles Rabatel¹, Martin Ecarnot², Pierre Roumet²

¹IRSTEA, UMR ITAP, 361 rue Jean-François Breton, F-34196 Montpellier, France
Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture - IRSTEA (FRANCE)

²INRA, UMR AGAP, 2 place Pierre Viala, 34060 MONTPELLIER Cedex 02, Institut National de la Recherche Agronomique - INRA (FRANCE)

Close range hyperspectral imagery is a promising tool for crop phenotyping or monitoring. In association with Partial Least Square Regression or PLS-R, it allows building high spatial resolution maps of the chemical content of plant leaves at the canopy level, as soon as a learning set including representative spectrum samples and their corresponding output values are provided. However, several optical phenomena must be taken into account when applying this approach to vegetation scenes in natural conditions. Among them, specular reflection and multiplicative factors due to leaf inclination can be overcome by pre-processing. But the most challenging phenomenon is multiple scattering. It is produced when a leaf is illuminated partly by direct light from the sky, and partly by light reflection or transmission from neighboring leaves, inducing strong non-linear effects on its reflectance spectrum and thus, possible bias in regression results, especially for leaves that are not at the top of the canopy.

The objective of the present study is to analyze these effects in the context of hyperspectral imaging for plant phenotyping purposes and to propose chemometrical methods to overcome them.

The methodological development was based on simulation tools included in the open source software platform OpenAlea (<http://openalea.gforge.inria.fr>). Typical winter wheat canopy scenes were modeled using Adel-Wheat model and combined with the light-propagation model Caribu. The proposed tool simulates the apparent reflectance of every visible leaves in the canopy for a given actual reflectance.

As a first application, model calibration for leaf nitrogen content (LNC) assessment was carried out on 57 wheat leaves. Reflectance spectra in the range 450-1 000 nm, associated with LNC in the range 0.5 to 4.5 % of dry matter, have been issued from real leaf measurements. These data allowed to build a satisfactory PLS-R model ($R^2 = 0.90$, standard error of cross-validation SECV = 0.315). However, as expected, applying this model to simulated spectra led to unacceptable results ($R^2=0.321$, SECV=1.33).

To address this issue, a theoretical disturbance subspace representing the spectrum dispersion in the spectral space due to multi-scattering has been built by considering polynomial combinations of the 57 initial spectra, and a projection along this subspace has been applied to every simulated spectra. Using this strategy, a PLS-R model built on initial spectra has led to very interesting results when applied to simulated spectra with multiple scattering ($R^2 = 0.891$; SECV = 0.354).

The method has then been applied on real plants in greenhouse and field conditions. Its prediction results compared with those of a standard PLS-R, confirms its efficiency in presence of various lighting environments.

Multivariate analysis of variance of vegetation spectra dataset included into an experimental design by using ANOVA-SCA and ANOVA-Target Projection

Maxime Ryckewaert^{1,2}, Nathalie Gorretta², Fabienne Henriot¹, Alexia Gobrecht², Jean-Michel Roger²

¹Limagrain Europe, Clermont-Ferrand, France

²UMR ITAP, IRSTEA, Montpellier, France

Progress made in the design of spectrometric equipment but also in the processing of associated spectral data has democratized the use of spectrometry for experimental acquisitions. In agronomy, spectral data has thus demonstrated its value for disease detection (Mahlein *et al.*, 2012) or even for crops monitoring (Ecarnot *et al.*, 2013; Mahajan *et al.*, 2016; Vigneau *et al.*, 2011). Consequently, spectral data are expected to increasingly be associated with experimental designs. An experimental design is designed to study the variables involved, called factors. In agronomy, these factors can be genotype, treatment or time. An experimental design allows as well, to separate and evaluate the effects of these factors on variance (Kirk, 1982) with a minimum of experiments. Especially for multivariate data where all sources of variability may affect conclusions (Massart, 1997).

Lately, chemometrics methods have been developed to analyze multivariate data fully integrated to an experimental design (Brereton *et al.*, 2017). Initially used in metabolomics as NMR spectroscopy and chromatography, ANOVA-Simultaneous component analysis (ASCA) (Smilde *et al.*, 2005) and ANOVA-Target-Projection (ANOVA-TP) (Marini *et al.*, 2015) provide statistical significance of every factor and information about their effect on the variability of the data. We are interested here in the use of these techniques for the study of vegetation spectra associated with an appropriate experimental design.

In this presentation, we first discuss the assumptions involved in ASCA and ANOVA-TP. Then, we compare these methods to analyze a dataset of 480 vegetation spectra where 10 genotypes of maize are confronted to 2 irrigation treatments. Spectra are acquired above the crops with a high-spectral resolution (256 bands) in the range of 310 nm – 1 100 nm. The obtained results confirm that both methods, with their own specificities, are relevant to describe the influences of factors on the variance. ASCA and ANOVA-TP share many similarities and provide the same conclusions concerning the significance of each factor. However some differences are highlighted in terms of scores and loadings. Indeed, ASCA provides orthogonal loadings whereas ANOVA-TP gives accurate estimation of between and within-class variance.

> Références

- Brereton, R.G. *et al.*, 2017. Chemometrics in analytical chemistry—part I: history, experimental design and data analysis tools. *Anal. Bioanal. Chem.* 409, 5891–5899.
- Ecarnot, M., *et al.*, 2013. Assessing leaf nitrogen content and leaf mass per unit area of wheat in the field throughout plant cycle with a portable spectrometer. *Field Crops Res.* 140, 44–50.
- Harrington, P. de B. *et al.*, 2005. Analysis of variance–principal component analysis: A soft tool for proteomic discovery. *Anal. Chim. Acta* 544, 118–127.
- Kirk, R.E., 1982. *Experimental design*. Wiley Online Library.
- Mahajan, G.R. *et al.*, 2016. Monitoring nitrogen, phosphorus and sulphur in hybrid rice (*Oryza sativa* L.) using hyperspectral remote sensing. *Precis. Agric.*
- Mahlein, A.-K. *et al.*, 2012. Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms caused by different sugar beet diseases. *Plant Methods* 8, 1.
- Marini, F. *et al.*, B., 2015. Analysis of variance of designed chromatographic data sets: The analysis of variance-target projection approach. *J. Chromatogr. A* 1405, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.05.060>
- Massart, D.L. (Ed.), 1997. *Handbook of chemometrics and qualimetrics, Data handling in science and technology*. Elsevier, Amsterdam ; New York.
- Smilde, A.K., Jansen, J.J., Hoefsloot, H.C.J., Lamers, R.-J.A.N., van der Greef, J., Timmerman, M.E., 2005. ANOVA-simultaneous component analysis (ASCA): a new tool for analyzing designed metabolomics data. *Bioinformatics* 21, 3043–3048
- Vigneau, N. *et al.*, 2011. Potential of field hyperspectral imaging as a non destructive method to assess leaf nitrogen content in Wheat. *Field Crops Res.* 122, 25–31

Session 8

Thématique : Milieux littoraux

Estimation de la composition de l'eau en zones peu profondes par télédétection hyperspectrale

Sylvain Jay¹, Mireille Guillaume¹, Yannick Deville², Audrey Minghelli³, Malik Chami^{4,5}, Bruno Lafrance⁶, Véronique Serfaty⁷

¹Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, F-13013 Marseille, France.

²Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP), 2Université de Toulouse,

³UPS, CNRS, CNES, 31400 Toulouse, France. ³ Université de Toulon, CNRS, SeaTech, LSIS, UMR 7296, 83041 Toulon, France.

⁴Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, Laboratoire Atmosphères Milieux Observations Spatiales, UMR CNRS 8190, 06304 Nice Cedex 4, France.

⁵Institut Universitaire de France, 75231 Paris Cedex 05, France.

⁶CS Systemes d'Information, 31506 Toulouse Cedex 05, France.

⁷DGA/DS/MRIS, 75509 Paris Cedex 15, France.

La télédétection est un outil essentiel pour le suivi et la caractérisation des milieux marins de l'échelle locale à l'échelle globale. En zones optiquement peu profondes (littoraux, eaux continentales), la télédétection permet l'estimation de diverses variables caractérisant la couche d'eau (profondeur, fond marin et concentrations en phytoplancton, en matière organique dissoute colorée et en particules non-algales en suspension) via un processus d'inversion de modèle physique de réflectance. Cependant, si la profondeur peut généralement être estimée avec une bonne précision lorsque l'épaisseur de la couche d'eau est faible, les trois variables caractérisant la composition de l'eau sont bien plus difficiles à estimer en raison de leur faible influence sur la réflectance mesurée et de la mauvaise connaissance de la réflectance du fond. Nous présentons ici une méthode itérative visant à estimer la composition de l'eau en zones optiquement peu profondes sans connaissance experte de la réflectance du fond considéré. Dans un premier temps, la profondeur est estimée précisément par inversion de modèle en utilisant une bibliothèque spectrale générique de spectres de fond. Pour cela, la réflectance du fond est représentée par un mélange de deux spectres issus de la bibliothèque; pour chaque pixel, l'inversion est réalisée en testant tous les couples possibles, pour ne retenir finalement que le meilleur candidat. Dans un deuxième temps, la concentration en particules non-algales en suspension est estimée en fixant la profondeur à sa valeur estimée précédemment, et en réalisant l'inversion dans les domaines rouge et infra-rouge uniquement. En effet, la concentration en matière organique dissoute colorée (et dans une moindre mesure, la concentration en phytoplancton) a peu d'influence dans ce domaine, et la forte absorption de l'eau limite l'influence d'une mauvaise connaissance du fond. Enfin, les concentrations en matière organique dissoute colorée et en phytoplancton sont estimées en fixant la profondeur et la concentration en particules non-algales en suspension à leurs valeurs estimées précédemment, et en réalisant l'inversion dans le domaine bleu uniquement. L'influence de ces deux variables est en effet maximale dans ce domaine, tandis que la réflectance du fond peut y être modélisée simplement, et ce, quel que soit le type de fond rencontré (sable, algues vertes ou brunes, corail, etc). Les résultats obtenus à partir de simulations démontrent clairement l'apport de cette méthode par rapport à la méthode classique d'inversion de modèle. De façon similaire, des résultats prometteurs ont été obtenus sur deux jeux de données réelles, correspondant à des environnements très différents (presqu'île de Quiberon et île de Porquerolles). Remerciements : Ces travaux ont été financés par la Direction Générale de l'Armement (DGA) dans le cadre du projet « HypFoM » (référence ANR-15-ASTR-0019).

Méthodologie semi-automatique de cartographie des petits fonds en zone lagunaire Application à la cartographie des herbiers de zostères de l'Étang de Berre.

Nicolas Thomas¹, Marc Lennon¹, Tristan Petit¹, Simon Guéguen¹, Vincent Faure², Nicolas Mayot²

¹Hytech-imaging, Brest, France

²GIPREB, Berre-l'Étang, France

Les herbiers de phanérogames font partie des espèces indicatrices de la dynamique fonctionnelle des lagunes, en particulier l'espèce protégée *Zostera noltii*. Après une quasi disparition des herbiers de zostères dans l'étang de Berre dans les années 2000, une nette progression de la surface a été observée sur la frange littorale depuis 2014. Connaître et suivre les étendues spatiales des herbiers à l'échelle de l'étang de Berre est ainsi un enjeu crucial pour la compréhension de leur dynamique et la mise en place d'actions de restauration. C'est dans ce contexte que le projet HYPERBERRE (cofinancé par l'Agence de l'Eau, le GIPREB et Hytech-imaging) a consisté à mettre en œuvre une approche de cartographie des herbiers de zostères à l'échelle de l'étang de Berre par imagerie hyperspectrale.

En juin 2017, des levés hyperspectraux aéroportés dans la gamme VNIR (400-1000nm) ont été réalisés par la société Hytech-imaging conjointement à de la photographie très haute résolution sur l'ensemble des zones de l'étang de Berre de bathymétrie comprise entre 0 et 3m. Les levés ont été réalisés avec une résolution spatiale de 1m sur la globalité du site et de 50cm sur les sites prioritaires. Durant les mois de Mai et Juin 2017, des plongées ont été réalisées dans l'étang par le GIPREB afin de disposer de données de calibration pour les algorithmes de classification, et de validation des cartes finales. Une librairie spectrale sous-marine a été constituée comprenant les principales espèces et substrats observables sur cette zone (sables, roches, *Zostera noltii*, ulves, ...)

Les images ont été prétraitées à l'aide des chaînes de traitement Hytech-imaging : HYPIP® (orthorectification, corrections atmosphériques, projection), puis SWIM® (estimation de la réflectance spectrale du fond). Une méthodologie spécifique de détection et cartographie des herbiers à partir de la réflectance du fond a été développée. Elle repose sur un algorithme de détection couplé à l'intégration de connaissance expert pour la calibration finale des seuils de prise de décision. Les résultats sont des cartes détaillées à haute résolution des herbiers de zostères à l'échelle de l'étang de Berre, permettant d'évaluer les surfaces couvertes et la dynamique temporelle de progression/régression des herbiers.

Ce projet a montré la faisabilité de la méthodologie à l'échelle d'une lagune comme l'étang de Berre. Les limitations actuelles concernent les zones de mélanges où les herbiers peuvent être recouverts de macroalgues, limon ou épiphytes. Les conditions d'acquisition sont également très importantes avec un impact des ombres ou du scintillement de surface sur la cartographie.

Cette approche semi-automatique de cartographie grande échelle de la zone de petits fonds à partir d'imagerie hyperspectrale vise à remplacer progressivement les méthodes traditionnelles de cartographie basées sur la photo-interprétation manuelle d'orthophotographies aériennes ou d'images satellitaires haute résolution couplée à des plongées exhaustives sur les sites à cartographier. Ces méthodes sont très précises localement mais ne permettent pas des cartographies exhaustives à grande échelle et sont très coûteuses en temps de travail sur le terrain. La capacité de l'imagerie hyperspectrale à produire des données permettant d'extraire automatiquement de l'information spectrale sur les petits fonds du signal reçu au capteur, couplée aux performances des méthodes automatiques de classification et à l'intégration de connaissances d'expert, en font un outil unique qui ouvre des perspectives inédites pour le suivi des écosystèmes côtiers, en particulier la dynamique des herbiers.

Remerciements : Etude réalisée avec le concours financier de l'Agence de l'eau RMC (AAP « Biodiversité » 2016).

Comparaison des méthodes empiriques et semi-analytiques pour l'estimation de la composition de l'eau

Audrey Minghelli¹, Tristan Petit², Marc Lennon², Guillaume Sicot, Manchun Lei, Cyril Chailloux, Adrien Deschamps

¹Université de Toulon (UTLN) - Avenue de l'université - BP 20132 - 83957 La Garde Cedex - France

²Hytech-imaging, Brest, France

L'objectif du projet ECLIPSE a été d'étudier la complémentarité des informations spectrales et spatiales pour l'estimation de la composition de la colonne d'eau, en comparant les résultats obtenus par les méthodes empiriques et semi-analytiques. La méthode semi-analytique retenue correspond à l'inversion de modèle de Lee. Ce modèle a originellement été développé pour l'imagerie hyperspectrale, et nous avons donc dû adapter l'inversion afin de pouvoir l'utiliser sur des données multi/super-spectrales.

Les images multispectrales et superspectrales ne possèdent pas la richesse spectrale suffisante pour permettre l'inversion de modèle semi-analytique par petits fonds pour chaque pixel. Deux solutions sont alors envisageables : (i) introduire des contraintes spatiales dans la procédure d'inversion en prenant l'hypothèse que certains paramètres varient peu localement, (ii) diminuer le nombre d'inconnues du problème en négligeant les effets optiques du fond marin. Dans notre étude, nous comparons les résultats obtenus par ces deux variantes.

La première partie de cette étude a été réalisée sur des données synthétiques. Pour cela nous avons opté pour la simulation d'images (HYSPEX, HYPXIM, Sentinel-2 et Pléiades) sur un grand nombre de cas tests (2187) représentatifs de différents types d'eau, avec différentes profondeurs et différentes couvertures de fond. L'algorithme a été utilisé sur ces images simulées pour estimer la composition de l'eau avec et sans régularisation spatiale. Les résultats montrent que Hypxim, Hyspex, et S2 permettent d'estimer ces composants. Hypxim et Hyspex sont généralement plus performants que S2, et Pléiades n'est pas suffisamment précis. Les estimations sont sensiblement améliorées grâce à la régularisation spatiale, en particulier pour les faibles concentrations qui deviennent estimables.

La deuxième partie de ce projet a consisté à simuler des images HYPXIM, Sentinel-2 et Pléiades à partir d'images hyperspectrales aériennes réelles (capteur HYSPEX) pour tester l'algorithme dans des configurations plus réalistes. Les résultats ont été comparés à ceux fournis par des algorithmes empiriques. Les résultats ont montré que l'inversion tend à surestimer les différents produits par faible profondeur. L'inversion du modèle de Lee donne de bonnes estimations avec les images Hypxim pour les concentrations en chl-a et en MES. Avec les images Sentinel-2 et Pléiades, nos résultats suggèrent que l'on ne peut estimer que les MES.

Enfin la dernière partie de ce projet a consisté à tester les algorithmes sur des images réelles Sentinel-2, Pléiades, et MERIS. Les résultats ont montré que les MES étaient bien estimées de manière générale et que la prise en compte des effets du fond marin diminue les performances en MES sur MERIS. Les estimations de chl-a par l'inversion du modèle de Lee étaient fortement instables en présence de MES.

Remerciements : Ces travaux ont été financés par le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) dans le cadre du projet R&T « ECLIPSE »

Thématique : Végétation et modélisation

Estimation de la chimie foliaire par spectroscopie et apprentissage profond

Florian De Boissieu¹, Ienco Dino^{1,2}, and Jean-Baptiste Feret¹

¹Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (UMR TETIS), IRSTEA – France

²Laboratoire d'Informatique de Robotique et de Microelectronique de Montpellier (LIRMM),
Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier – France

La spectroscopie foliaire permet d'estimer le contenu chimique de plusieurs constituants foliaires à partir de leur réflectance et transmittance directionnelle hémisphérique. Trois types d'approche sont généralement utilisés pour ce type d'application :

- i) Les approches s'appuyant sur la modélisation physique pour estimer la combinaison optimale de paramètres chimiques permettant de simuler au mieux des propriétés optiques expérimentales.
- ii) Les approches s'appuyant sur des méthodes statistiques ou d'apprentissage machine, permettant d'ajuster des modèles de régression multivariés reliant les propriétés optiques foliaires expérimentales à leur contenu biochimique.
- iii) Les approches hybrides utilisant un modèle pour la mise au point d'une base de données simulée, utilisée ensuite pour ajuster un modèle de régression avec une méthode statistique ou d'apprentissage machine.

Des travaux récents se sont intéressés au potentiel et aux limites des deux premières approches pour l'estimation de la teneur en eau foliaire (Equivalent Water Thickness, EWT) et de la masse surfacique foliaire sèche (Leaf Mass per Area, LMA). Dans le cas des approches physiques, ils ont mis en évidence les domaines spectraux critiques pour l'obtention de résultats optimaux, ainsi que la très bonne capacité de généralisation des modèles lorsque ceux-ci sont utilisés sur des données de toutes origines. Dans le cas des approches par apprentissage machine, ils ont mis en évidence leur faible capacité de généralisation, conduisant à une estimation peu précise ou biaisée lorsque les modèles de régressions sont appliqués sur des jeux de données indépendants des données d'apprentissage.

Cette étude a pour objectif de proposer un cadre méthodologique pour la mise au point de modèles de régression s'appuyant sur une méthode hybride. Les performances de telles méthodes sont conditionnées par deux facteurs : la stratégie d'échantillonnage du jeu de données d'apprentissage, et la méthode d'apprentissage permettant d'ajuster le modèle. Féret et al. (2011) [1] ont utilisé ce type de méthode sur avec des indices spectraux simples (type NDVI) simulé et a montré qu'un bruit additif semblait aboutir à une meilleure généralisation des modèles à des données expérimentales. Nous avons donc exploré l'influence de deux facteurs sur l'estimation de EWT et LMA :

- Niveau de bruit : un jeu de données a été simulé (réflectance, transmittance et EWT et LMA associés), et différents niveaux de bruit ont été appliqués pour créer une série de jeux d'apprentissage.
- Algorithme : les trois algorithmes les plus couramment utilisés (SVM, Random Forest, PLS) ainsi que des méthodes d'apprentissage profond (ResNet 2D, convolution 1D) ont été comparés.

Les résultats obtenus permettent de mieux comprendre le potentiel et les limites des méthodes hybrides, et d'identifier les points d'amélioration possibles pour la mise au point de méthodes généralisables parmi les trois composantes: modèle physique, échantillonnage de la base d'apprentissage, et choix de l'algorithme de régression et de la stratégie d'optimisation associée.

> Références

[1] Féret, J.-B., François, C., Gitelson, A., Asner, G.P., Barry, K.M., Panigada, C., Richardson, A.D., Jacquemoud, S., 2011. Optimizing spectral indices and chemometric analysis of leaf chemical properties using radiative transfer modeling. *Remote Sens. Environ.* 115, 2742–2750.

Suivi des effets physiologiques des maladies foliaires avec le modèle de transfert radiatif PROCOSINE et l'imagerie hyperspectrale submillimétrique : un cas d'étude avec le pathogène du bananier *P. fijiensis*

Julien Morel^{1,2}, Sylvain Jay³, Jean-Baptiste Féret⁴, Adel Bakache¹, Ryad Bendoula¹, Françoise Carreel⁵, Nathalie Gorretta¹.

¹UMR ITAP, Irstea, Montpellier SupAgro, Univ. Montpellier, Montpellier, France

²Department of Agricultural Research for Northern Sweden, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, Sweden

³Aix-Marseille Univ, CNRS, Central Marseille, Institut Fresnel, Marseille F-13013, France

⁴UMR TETIS, Irstea, Univ. Montpellier, Montpellier, France ⁵UMR AGAP, Cirad, Montpellier, France

Les maladies des plantes sont source d'importantes pertes de rendement des cultures à travers le monde. La télédétection offre des outils permettant de détecter les maladies foliaires, avec notamment l'application de modèles statistiques à l'ensemble d'un spectre de réflectance. Cette approche offre généralement des résultats satisfaisants, mais peut être limitée en termes de généralisation, notamment par rapport aux effets de structure foliaire. Nous nous intéressons ici à une méthode alternative plus aisément généralisable, à savoir l'inversion d'un modèle de transfert radiatif permettant de prendre en compte les phénomènes de structure, afin d'extraire des données en lien avec la physiologie foliaire. Ces données ont été ensuite utilisées pour classer les stades de maladie avec un modèle statistique classique. Nous avons ici utilisé des images hyperspectrales submillimétriques de feuilles de bananier contaminées par le pathogène *Pseudocercospora fijiensis* pour tester cette méthode. Le choix de cette échelle était motivé par la taille des lésions induites par le pathogène. Le modèle PROSPECT-D ne permettant pas de prendre en compte les phénomènes de réflexion anisotropiques observés avec les images à résolution submillimétrique, nous avons couplé ce dernier avec le modèle COSINE. Le modèle résultant (PROCOSINE) a été utilisé en mode inverse sur les spectres des images hyperspectrales. Une analyse factorielle discriminante (AFD) a ensuite été utilisée sur les paramètres obtenus après inversion pour classer les différents stades de maladie.

Cinq feuilles de bananier (*Musa* AAA cv. Williams, sous-groupe Cavendish) naturellement contaminées par *P. fijiensis* ont été prélevées sur une parcelle agricole. Chaque feuille présentait plusieurs zones et degrés d'infestation, allant du stade 0 (aucun symptôme observable) au stade 6 (zone nécrosée). Douze disques de 22 mm ont été extraits de ces feuilles avec un emporte-pièce et imagées en conditions contrôlées avec une caméra HySpex VNIR-1600 (Norsk Elektro Optikk, Norway), présentant 160 bandes spectrales entre 415 et 994 nm, avec une résolution spatiale de 0,07 mm. Les réflectances des pixels de ces images ont ensuite été utilisées pour inverser PROCOSINE à l'aide d'une fonction d'optimisation itérative (*lsqcurvefit*, MATLAB), menant ainsi à des cartes des paramètres d'entrée du modèle (par exemple, la teneur en chlorophylle). Parallèlement, pour chaque disque, une zone correspondant à un stade précis de développement de *P. fijiensis* a été identifiée par un expert. Les pixels inclus dans ces zones ont été extraits des cartes des paramètres pour constituer une base de données de 5941 pixels associés à un stade précis de la maladie. Deux jeux d'étalonnage et de validation ont été créés à partir de cette base de données, et une AFD a été étalonnée pour identifier les différents stades de *P. fijiensis*.

Les résultats issus de l'inversion de PROCOSINE sont conformes à nos attentes : par exemple, la teneur en chlorophylle diminue dans les derniers stades de développement de *P. fijiensis*, et inversement, la teneur en pigments bruns augmente. La teneur en anthocyanes présente une dynamique particulière, augmentant fortement dans les tous premiers stades de la maladie, et diminuant rapidement ensuite. La classification des stades de maladie par l'AFD présente une précision globale de 86,2%, les stades 0, 5 et 6 étant les plus aisés à classer. Le taux de bonne classification des stades 2 et 4 est plus faible. La confusion de ces stades avec les stades 1 et 3 respectivement explique ces résultats.

Suivi de la phénologie saisonnière en savane boisée par télédétection aéroportée hyperspectrale

Karine Adeline¹, Margarita Huesca², Keely Roth³, Jean-Philippe Gastellu-Etchegorry⁴, Dennis Baldocchi⁵, Susan Ustin²

¹ONERA, 2 avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse, France

²CSTARS, University of California, Davis, One Shield Avenue, 95616 Davis, CA, USA

³THE CLIMATE CORPORATION, 201 3rd Street, 94103 San Francisco, CA, USA

⁴CESBIO Centre national d'études spatiales - CNES, 18 avenue. Edouard Belin, bpi 2801, 31401 Toulouse cedex 9 - France

⁵ESPM, University of California, Berkeley, 151 Hilgard Hall, 94720 Berkeley, CA, USA

La phénologie des arbres est régie par l'activité photosynthétique des feuilles de par ses constituants biochimiques que sont les pigments (coloration des feuilles de la feuillaison à la senescence), le contenu en eau et matière sèche. Le cycle annuel de la phénologie est déterminé le plus souvent par les variations saisonnières du climat pour un écosystème donné. Il permet de remonter au suivi de l'état de santé du végétal. Le changement climatique, modifiant les températures et les précipitations comme pour une sécheresse, a des conséquences sur la phénologie, et a posteriori provoque des perturbations dans le cycle du carbone (participation au gaz à effet de serre) par la photosynthèse. Suivre la phénologie saisonnière permettrait une meilleure compréhension des mécanismes de résilience des essences d'arbres face à des événements climatiques extrêmes.

La télédétection hyperspectrale aéroportée à bonne résolution spatiale permet de couvrir de larges étendues d'un écosystème boisé et d'estimer les propriétés biochimiques des arbres de part ses fines caractéristiques spectrales dans le domaine réflectif 0.4-2.5µm. L'objectif de ce travail est l'estimation des pigments foliaires, chlorophylles et caroténoïdes, à l'échelle de l'arbre pour une savane boisée (climat de type méditerranéen) dans le cadre de la sécheresse ayant débuté en 2013 en Californie. Les spécificités de ce milieu sont de faibles taux de couverture boisée, de très faibles valeurs de densités foliaires (LAI) et une importante contribution de facteurs structurels aux arbres tels que leur géométrie, la présence des éléments ligneux et l'agrégation du feuillage.

Ainsi, la méthodologie pour estimer ces grandeurs biochimiques repose sur l'utilisation d'outils de transfert radiatif 3D de canopée et de feuille, DART et PROSPECT, 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. Les données utilisées sont celles provenant de campagnes de mesures terrain et des images hyperspectrales AVIRIS à 18m de résolution spatiale en 2013 et 2015 avec 3 acquisitions : printemps, été et automne. Les résultats seront présentés et inter-comparés d'une année à l'autre en connaissance des conditions météorologiques sur le site d'étude, et de l'évolution annuelle de la phénologie à travers le suivi multi-temporel du NDVI à partir d'images LANDSAT acquises au-dessus du même site.

Validation du modèle DART pour la simulation d'images hyperspectrales en forêt tropicale

**Dav M. Ebengo¹, Florian de Boissieu¹, Claudia Lavalley², Grégoire Vincent²,
Christiane Weber¹, Sylvie Durrieu¹ et Jean-Baptiste Féret¹**

¹TETIS, AgroParisTech, CIRAD, CNRS, Irstea, Université de Montpellier, Montpellier, France

²AMAP IRD, CIRAD, INRA, CNRS, Université Montpellier, Montpellier, Montpellier, France

L'utilisation des modèles de transfert radiatif permet de simuler les processus de propagation d'un rayonnement dans le milieu qu'il traverse. Dans le cas d'applications en télédétection, ces modèles sont particulièrement utiles pour décrire les interactions entre le rayonnement solaire et les milieux présents à la surface de la Terre et pour faciliter l'analyse de l'information enregistrée par les capteurs. Source de biens et services environnementaux, les forêts tropicales sont de plus en plus menacées par de multiples facteurs liés principalement à l'activité humaine et au changement climatique. Comparées à d'autres écosystèmes terrestres, elles abritent une diversité biologique importante et elles stockent plus de dioxyde de carbone. Or suivre leur évolution à partir de mesures de terrains s'avère difficile à cause de leur forte hétérogénéité et de leur accessibilité réduite. Le recours à la télédétection constitue donc une opportunité car elle offre la possibilité d'obtenir des informations spatialement continues sur de grandes surfaces. Cependant, le signal enregistré par le capteur n'est pas exclusivement lié à la cible d'intérêt : il dépend de plusieurs facteurs dont les caractéristiques instrumentales et les conditions d'acquisition. Retrouver des caractéristiques de la végétation observée à partir du signal demande ainsi de bien comprendre l'impact des différents facteurs sur ce signal. Les modèles de transfert radiatif peuvent être utilisés à cette fin, à condition de s'être au préalable assuré de leur capacité à simuler un signal réaliste.

Cette étude utilise le modèle DART (Discrete Anisotropic Radiative Transfer) qui simule le bilan radiatif et les mesures de télédétection à partir des cibles reconstituées en 3D sous forme de maquettes. L'objectif est d'évaluer les capacités du modèle de transfert radiatif DART à simuler des acquisitions hyperspectrales en forêt tropicale.

Dans le cadre des projets CNES TOSCA LEAF-EXPEVAL et HYPERTROPIK, des données lidar et hyperspectrales aéroportées ont été acquises en 2016, ainsi que des propriétés optiques foliaires de certains arbres, relevées sur le terrain sur la parcelle du site forestier expérimental de Paracou (Guyane Française). Pour cette étude, une partie de ces données sont utilisées pour générer une maquette 3D de la parcelle. Les données lidar, voxelisées à l'aide du logiciel AMAPVox, permettent de reconstituer la structure 3D de la densité de végétation. Les individus sont identifiés par segmentation du nuage de point lidar pour obtenir un profil de densité de la canopée. Leurs propriétés optiques foliaires relevées sur le terrain sont associées aux voxels correspondants. DART est alors paramétré en vue de simuler sur la maquette 3D, l'acquisition hyperspectrale aéroportée réalisée sur la parcelle. L'influence des propriétés optiques utilisées en entrée sur les résultats en sortie est discutée. La qualité de la simulation est évaluée par comparaison de l'image simulée et l'image acquise par le système aéroporté. Cette comparaison est réalisée de manière absolue par rapport au niveau de réflectance, et de manière relative, en étudiant la séparabilité entre différentes espèces présentes sur la zone et précisément décrites.

Imagerie hyperspectrale et chimie du bois

Mariana Pires Franco¹, Nathalie Gorretta², Cristiane Vidal³, Celio Pasquini³, Mario Tomazello Flho¹, Jean-Michel Roger², Gilles Chaix^{1,4,5}

¹ESALQ-USP, Wood Anatomy & Tree-Ring Lab, Piracicaba, Brazil

²IRSTEA, Unité ITAP, Montpellier, France

³Chemistry Institute, Department of Analytical Chemistry, UNICAMP, Campinas, Brazil

⁴CIRAD, UMR AGAP, Montpellier, France, gilles.chaix@cirad.fr

⁵Univ Montpellier, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, Montpellier, France

Au Brésil, nous nous intéressons à l'impact des changements climatiques sur le développement des arbres forestiers, en particulier l'Eucalyptus. Il s'agit d'étudier le développement d'arbres ayant été soumis à différentes contraintes hydrique et minérale par rapport aux conditions normales de sylviculture industrielle. En plus des données sur la croissance, la biomasse, les flux de sève, l'anatomie du bois et sa densité, nous considérons les conséquences des contraintes environnementales sur la formation du bois et donc sur sa qualité. L'objectif ici est d'évaluer les propriétés chimiques du bois (teneurs en extraits totaux et lignine) et mettre en évidence leur variabilité radiale lors de la mise en place des tissus ligneux) et des processus duraminisation.

En spectroscopie proche infrarouge, des modèles de régression PLS sont établis à partir des spectres d'absorbance acquis en réflexion diffuse et des données de références d'un lot d'échantillons d'étalonnage, puis validés sur un lot externe. Ensuite, ces modèles sont utilisés pour prédire les propriétés considérées à partir seulement des spectres acquis sur de nouveaux échantillons à prédire. Les travaux présentés ici portent sur un dispositif expérimental d'exclusion partielle des pluies installé avec des E. grandis à l'ESALQ-USP, Station Itatinga, Brésil. Nous avons récolté des disques de bois sur 54 arbres abattus à l'âge de 5 ans (15-20 m de hauteur). Pour chaque disque, nous avons acquis une image au moyen d'une caméra HSI (SPECIM, 900 - 2500nm, dimension des pixels 625x625µm).

La contrainte ici est donc de pouvoir transférer nos étalonnages d'un appareil (Vector, Bruker, 12500-3800 cm⁻¹) construits sur les spectres acquis en réflexion diffuse de poudres de bois (dont nous possédons encore un certain nombre d'échantillons de collections sous forme de poudre et sous forme solide), à un autre appareil (caméra HSI) sur des images de disques de bois solide. Il s'agit in fine de produire des cartes de prédiction des propriétés d'intérêt sur les disques de bois. Le transfert a été réalisé au moyen d'un lot de 90 échantillons standards de bois mesurés sur la caméra et sur un spectromètre pour lequel nous avons préalablement des modèles de prédiction construits à l'aide d'environ 500 échantillons. Nous avons alors comparé différentes méthodes de transfert de calibration dont nous présenterons les résultats.

Les cartes de prédiction obtenues sur les disques à partir du meilleur modèle, nous ont permis de comparer les distributions des teneurs chimiques selon les conditions de contraintes de croissance (sans ou avec). Par exemple, les arbres ayant subi un stress hydrique plus important présentent une distribution plus hétérogène sur le rayon et un taux d'extractible moyen plus élevé. En perspective, ces données vont nous permettre d'étudier et d'affiner les connaissances sur le fonctionnement du cambium selon les variations climatiques en croisant variabilité des données chimiques, microdensité du bois, estimée aux rayons X, et rythme de croissance du tronc mesuré au moyen de dendromètres de précision.



