

UNIVERSITÉ  
GRENOBLE  
ALPES

Grenoble, 11,12 et 13 mai 2016.

 gipsa-lab

 IPAG  
Institut de Planétologie  
et d'Astrophysique  
de Grenoble



## Programme et résumés du 4<sup>ème</sup> colloque du Groupe Hyperspectral de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection





# Programme

## SFPT-GH 2016

### Mercredi, 11 Mai, 2016

8h30-9h30	Accueil des participants et enregistrement
9h30-11h00	<b>TUTORIAL</b> : Physique de la télédétection hyperspectrale et prétraitements
11h00-11h30	Pause café
11h30-13h00	<b>TUTORIAL</b> : Classification de scènes
13h00-14h00	Pause déjeuner
14h00-15h30	<b>TUTORIAL</b> : Problèmes inverses appliqués à l'analyse de données : démelange spectral
15h30-16h00	Pause café
16h00-17h30	<b>TUTORIAL</b> : Problèmes inverses appliqués à l'analyse de données : fusion de données
17h00-18h00	Accueil des participants et enregistrement

### Jeudi, 12 Mai, 2016

8h30-9h10	<b>SESSION 0</b> : Introduction
9h10-10h30	<b>SESSION 1a</b> : Méthodologie (classification / démelange / fusion)
10h30-11h00	Pause café
11h00-11h40	<b>SESSION 1b</b> : Méthodologie (classification / démelange / fusion)
11h40-12h40	<b>SESSION 2</b> : Milieux littoraux
12h40-14h00	Pause déjeuner
14h00-15h40	<b>SESSION 3</b> : Milieux urbains/HYEP
15h40-16h10	Pause café
16h10-17h30	<b>SESSION 4</b> : Astrophysique / planétologie
17h30 -19h30	<b>SESSION POSTERS</b> + Cocktail dinatoire
20h00-21h00	<b>CONFERENCE</b> Exploration de la planète Pluton par la mission américaine « New Horizons »

### Vendredi, 13 Mai, 2016

8h30-10h10	<b>SESSION 5</b> : Sols
10h10-10h50	Pause café
10h40-12h00	<b>SESSION 6</b> : Végétation
12h00-13h30	Pause déjeuner
13h30-14h50	<b>SESSION 7</b> : Atmosphère
14h50-15h20	Pause café
15h20-16h20	<b>TABLE RONDE</b> : capteurs
16h20-16h30	Clôture du colloque et futurs rendez-vous



# Comités

## SFPT-GH 2016

### Organisateurs

- Mauro DALLA MURA, GIPSA-lab
- Sylvain DOUTÉ, IPAG

### Comité Permanent de Pilotage du SFPT-GH

- Xavier BRIOTTET, ONERA
- Véronique CARRÈRE, Université de Nantes
- Jocelyn CHANUSSOT, GIPSA-lab
- Stéphane JACQUEMOUD, Université Paris Diderot
- Rodolphe MARION, CEA

### Comité Local d'Organisation

- Lucia BOUFFARD-TOCAT, GIPSA-lab
- Jocelyn CHANUSSOT, GIPSA-lab
- Bruno MAILLARD, IPAG
- Akila MOKHTARI, GIPSA-lab
- Sonia NOGUEIRA, GIPSA-lab
- Fanny SOLER, GIPSA-lab

### Support sur site

- Raphael BACHER, GIPSA-lab
- Lucas DRUMETZ, GIPSA-lab
- Guillaume TOCHON, GIPSA-lab
- Théo MASSON, GIPSA-lab
- Miguel A. VEGANZONES, GIPSA-lab

## Site

### SFPT-GH 2016

Les trois journées de la SFPT-GH 2016 se dérouleront dans l'**Amphithéâtre Berges**, bâtiment **GreEn-ER** de l'**ENSE3, Grenoble-INP** situé 21 Avenue des Martyrs, 38000, Grenoble.

GreEn-ER se situe près de la Gare SNFC de Grenoble et du centre-ville. Le site est facilement accessible par tram (ligne B (verte), direction "Grenoble Presqu'île". arrêt "CEA Cambridge").



Amphithéâtre Berges

Stands  
SFPT-GH 2016



**Bonsai Advanced Technologies** (Eric Becourt)

<http://www.bonsaiadvanced.com/>

---



**Exelis Visual Information Solutions, HARRIS CORPORATION** (Katia Kolesnik)

<http://harris.com/>

---



**LOT-QuantumDesign France** (Estelle Decressaint)

<http://lot-qd.com/>

## Sponsors et labélisations

### SFPT-GH 2016



**GIPSA-Lab - Laboratoire de recherche Grenoble,  
Images, Parole, Signal, Automatique**

<http://www.gipsa-lab.grenoble-inp.fr/>

---



**IPAG - Institut de Planétologie et d'Astrophysique de  
Grenoble**

<http://ipag.osug.fr>

---



**Grenoble INP ENSE3**

<http://ense3.grenoble-inp.fr/>

---



**Université Grenoble Alpes**

<http://www.univ-grenoble-alpes.fr/>

---



**CNRS - Centre national de la recherche scientifique**

<http://www.cnrs.fr/>



**Programme National de Télédétection Spatiale (INSU, CNRS)**

<http://www.insu.cnrs.fr/pnts>

Projet n. PNTS-2016-04

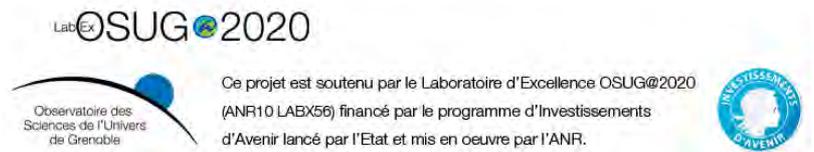
---

**OSUG**



**Observatoire des Sciences de l'Université de Grenoble**

<http://www.osug.fr/>



**Grenoble-Alpes Métropole**

<http://www.lametro.fr/>



**IEEE Geoscience and Remote Sensing Society – French Chapter**

<http://sites.ieee.org/france-grss>

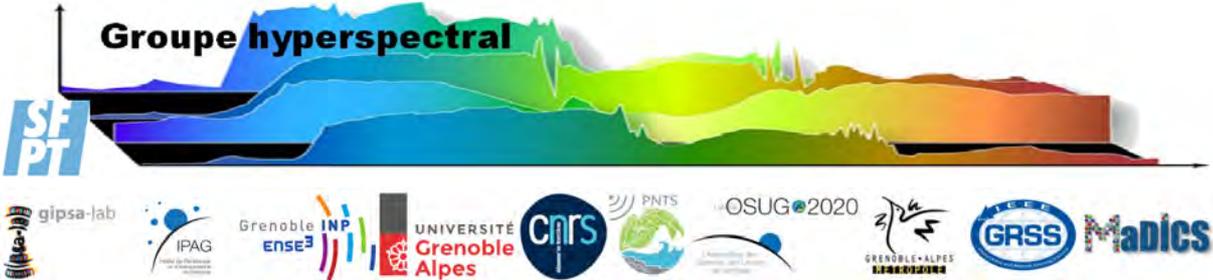


**GdR MaDICS (Action ImHyp)**

<http://www.madics.fr/>



Programme détaillé



## Mercredi, 11 Mai, 2016

8h30-9h30 Accueil des participants et enregistrement

### ATELIERS DE FORMATION AUX TECHNIQUES DE TELEDETECTION

9h30-11h00 **TUTORIAL A : Physique de la télédétection hyperspectrale et prétraitements (correction atmosphérique des images)**  
Xavier Briottet, ONERA/DOTA, Toulouse

11h00-11h30 Pause café

11h30-13h00 **TUTORIAL B : Classification de scènes**  
Devis Tuia, Département Géographie, Université de Zurich

13h00-14h00 Pause déjeuner

14h00-15h30 **TUTORIAL C1 : Problèmes inverses appliqués à l'analyse de données : démélange spectral**  
José M. Bioucas-Dias, Department of Electrical and Computer Engineering, IST, Université de Lisbonne

15h30-16h00 Pause café

16h00-17h30 **TUTORIAL C2 : Problèmes inverses appliqués à l'analyse de données : fusion de données**  
José M. Bioucas-Dias, Department of Electrical and Computer Engineering, IST, Université de Lisbonne

17h00-18h00 Accueil des participants et enregistrement

**Jeudi, 12 Mai, 2016**

**INTRODUCTION – INFORMATIONS**

- 8h30-8h40      **Présentation du site grenoblois et du colloque**  
Mauro Dalla Mura (Gipsa-Lab) et Sylvain Douté (IPAG)
- 8h40-8h50      **Présentation générale SFPT-GH**  
Rodolphe Marion (CEA/LDG)
- 8h50-9h10      **Présentation de l'UMS Safire**  
Aurélien Bourdon (Directeur de Safire)

**SESSION 1a : Méthodologie (classification / démixtion / fusion)**

Modérateur Mathieu Fauvel et Mauro Dalla Mura

- 9h10-9h30      **Débruitage d'images hyperspectrales avec un modèle de bruit hétéroscédastique**  
A. Zullo, F. Ferraty, M. Fauvel
- 9h30-9h50      **S.E.M. Advanced image analysis tools applied to cement and concrete microstructure : a review of « spectro-spatial » strategies and cases of application**  
S.Meulenyzer
- 9h50-10h10      **Super-Resolution: a pre-processing step for Hyperspectral Pansharpening**  
Laetitia Loncan, Jocelyn Chanussot, Xavier Briottet
- 10h10-10h30      **Prise en compte de la variabilité spectrale liée à la géométrie lors du démixtion d'images hyperspectrales**  
Lucas Drumetz, Wotao Yin, Jocelyn Chanussot, Christian Jutten

10h30-11h00      Pause café

**SESSION 1b : Méthodologie (classification / démixtion / fusion)**

Modérateur Mathieu Fauvel et Mauro Dalla Mura

- 11h00-11h20      **Nonnegative Tensor CP decomposition of hyperspectral data**  
M. A. Veganzones, J. Cohen, R. Cabral Farias, J. Chanussot and P. Comon
- 11h20-11h40      **Multibloc analysis of multimodal and multiresolution hyperspectral images Application to plant cell wall analysis**  
Marie-Françoise Devaux, Frédéric Jamme, Mohamed Hanafi, Fabienne Guillon

## **SESSION 2 : Milieux littoraux**

Modérateur Audrey Minghelli, Christophe Delacourt, Touria Bajjouk

- 11h40-12h00      **Analyse des fonds en zone littorale méditerranéenne française (Port-Cros) par imagerie hyperspectrale aérienne : (du projet HypMed au projet HypFoM)**  
Mireille Guillaum, Audrey Minghelli, Malik Chami, Bruno Lafrance, Yannick Deville, Véronique Serfaty
- 12h00-12h20      **Hyperspectral remote sensing of coral reefs by semi-analytical model inversion – comparison of inversion schemes**  
Tristan Petit, Touria Bajjouk, Pascal Mouquet, Sebastien Rochette, Benoit Vozel and Christophe Delacourt
- 12h20-12h40      **Intégration et mise en oeuvre opérationnelle d'un drone hyperspectral longue endurance**  
M. Lennon , N. Thomas , S. Smet , M. de Lagarde , J.P. Quod , J.B. Nicet , D. Corman , F. Gauthiez

12h40-14h00      Pause déjeuner

## **SESSION 3 : Milieux urbains/HYEP**

Modérateurs Christiane Weber et Xavier Briottet

- 14h00-14h20      **Hyperspectral Imagery for Environmental urban Planning: HYEP**  
C Weber, X Briottet, C. Mallet, S Gadal
- 14h20-14h40      **Comparaison de deux méthodes de correction atmosphérique à différentes résolutions pour des applications de classification d'images hyperspectrales**  
G. Roussel, C. Weber, X. Briottet et X. Ceamanos
- 14h40-15h00      **Generation of urban objects spectral database using laboratory hyperspectral imager in Kaunas city (Lithuania)**  
Walid Ourghemmi, Sébastien Gadal, Gintautas Mozgeris, Vytaute Juodkiene, Donatas Jonikavicius, Grzegorz Skupinski, Christiane Weber
- 15h00-15h20      **Identification of urban objects using spectral library combined with airborne hyperspectral imaging**  
Sébastien Gadal, Walid Ourghemmi
- 15h20-15h40      **Bilinear matrix factorization methods and application to unsupervised unmixing of urban hyperspectral images**  
Yannick Deville, Fatima Zohra Benhalouche, Moussa Sofiane Karoui, Abdelaziz Ouamri

15h40-16h10 Pause café

#### **SESSION 4 : Astrophysique / planétologie**

Modérateurs François Andrieu et Céline Meillier

16h10-16h30 **Source Halo Advanced Detection and Estimation : une méthode de détection du Circum-Galactic Medium**

Raphael Bacher, Florent Chatelain, Olivier Michel

16h30-16h50 **A geometrical blind separation method for hyperspectral astrophysical images with unconstrained sum and pure pixels**

Axel Boulais, Yannick Deville and Olivier Berné

16h50-17h10 **Déconvolution distribuée pour les grandes images hyperspectrales en interférométrie radio**

Céline Meillier, Pascal Bianchi, Walid Hachem

17h10-17h30 **Inversions bayésiennes massives avec tables de données**

François Andrieu and Frédéric Schmidt

#### **SESSION POSTERS + Cocktail dinatoire**

17h30-19h30

**Hypsimars a tool to simulate multi-angular hyperspectral images for Martian 3D scenes**

S. Douté, M. A. Veganzones, and M. Dalla Mura

**Détection et suivi de panaches de gaz dans des séquences vidéo hyperspectrales infrarouges par démixage spectral**

Delphine Pauwels, Guillaume Tochon, Mauro Dalla Mura, Jocelyn Chanussot

**Comparaison entre différentes approches basées sur le démixage spectral pour l'estimation des cartes de couverture neigeuse**

Théo Masson, Mauro Dalla Mura, Marie Dumont, Jocelyn Chanussot, Pascal Sirguey

**Multilinear spectral unmixing of hyperspectral multiangle images**

M. A. Veganzones, J. Cohen, R. Cabral Farias, R. Marrero, J. Chanussot and P. Comon

**Hyperspectral pansharpener using convex optimization and collaborative total variation regularization**

Paolo Addesso

**Hyperspectral textured background modelling for anomaly detection**

François Weber, Eric Moulines, Sidonie Lefebvre, Marc Bousquet, Nicolas ROUX.

**Cartographie des fonds marins à partir d'images hyperspectrales aériennes par correction de l'atténuation du signal du fond par la colonne d'eau**

A. Minghelli, M. Guillaume, Philippe Déliot, Rodolphe Marion, M. Peirache

**HYEP: des bases de données spectrales à l'usage de la communauté**

C Weber, S Zinko, T Lampert et P Gancarski

**Optimisation de la configuration d'un instrument superspectral aéroporté pour la classification en milieu urbain**

Arnaud Le Bris, Nesrine Chehata, Xavier Briottet, Nicolas Paparoditis

**Detection of the Flavescence dorée grapevine disease by hyperspectral imagery - Spectral signatures analysis and development of a specific vegetation index**

Sylvie Duthoit, Mathieu Fauvel, Anne Jacquin, Johanna Albetis and Eve Laroche-Pinel

**Vers la classification automatisée d'une grande diversité d'espèces d'arbres en milieu urbain européen orientée pixel à partir de données hyperspectrale**

Josselin Aval, Sophie Fabre, Xavier Briottet, Emmanuel Zenou, David Sheeren, Mathieu Fauvel

**Contours actifs sur graphe pour la segmentation d'images hyperspectrales**

Kaouther Tabia, Xavier Desquesnes, Yves Lucas, Sylvie Treuillet

**A new image of wheat cell walls revealed through mass spectrometry imaging**

Audrey Geairon, Dušan Veličković, Fabienne Guillon, Luc Saulnier, Hélène Rogniaux

**Segmentation d'images multispectrales par une méthode de k-means multi-échelle**

Corcel M, Barron C, Guillon F, Devaux M-F

**Segmentation hiérarchique d'images multimodales hyperspectral/LiDAR**

Guillaume Tochon, Mauro Dalla Mura, Miguel Angel Veganzones, Jocelyn Chanussot

**Factorisation en matrices non négatives pour le démixage hyperspectral non supervisé**

Charlotte Revel, Yannick Deville, Véronique Achard, Xavier Briottet

**Gay Camera Hyperspectrale SIGAL : See and Identify GAs Leaks**

Julien Rannou et Le Brun

**CONFERENCE grand public Exploration de la planète Pluton par la mission américaine « New Horizons »**

Bernard Schmitt (IPAG)

20h00-21h00

## Vendredi, 13 Mai, 2016

### SESSION 5 : Sols

Modérateurs Cécile Gomez et Véronique Carrère

- 8h30-8h50      **Impact of the spectral resolution of VNIR/SWIR imaging sensors on clay content prediction**  
Gomez C., Adeline K., Bacha S., Driessen B., Lagacherie P., Briottet X.
- 8h50-9h10      **Discrimination d'argiles à partir de mesures hyperspectrales de laboratoire**  
E. Ducasse, R. Oltra-Carrió, A.Hohmann, A. Bourguignon, X. Briottet, G. Grandjean
- 9h10-9h30      **Modélisation de la réflectance des sols nus en fonction de leur teneur en eau dans le domaine réflectif**  
Aurélien Bablet, Françoise Viallefont , Xavier Briottet , Sophie Fabre , Stéphane Jacquemoud
- 9h30-9h50      **Apport de l'imagerie hyperspectrale pour la caractérisation des minéraux industriels et miniers**  
Martin Brossard, Rodolphe Marion, Véronique Carrère, Maiwenn Lothodé
- 9h50-10h10      **Démélange linéaire pour la détection et la caractérisation d'hydrocarbure onshore**  
V. Achard, X. Ceamanos, D. Dubucq

10h10-10h50      Pause café

### SESSION 6 : Végétation

Modérateurs Jean Baptiste Féret et Nathalie Gorretta

- 10h40-11h00      **Estimation de la biodiversité des forêts tropicales par imagerie hyperspectrale : Avancées du projet HyperTropik**  
J.-B. Féret, N. Barbier, D. Berveiller, J.-P. Gastellu-Etchegorry, E. Grau, G. Hmimina, M.-J. Lefèvre-Fonollosa, G. le Maire, J. Oliveira, C. Proisy, K. Soudani, G. Vincent
- 11h00-11h20      **Estimation de la teneur en chlorophylle foliaire sur la betterave sucrière par imagerie hyperspectrale de proxi-détection : étude de l'impact de la résolution spatiale**  
Sylvain Jay, Nathalie Gorretta, Ryad Bendoula, Fabienne Maupas

11h20-11h40 **Imagerie hyperspectrale proche infrarouge (NIR-HSI) appliquée à la quantification de la teneur en eau de produits céréaliers**  
E. Lancelot, P. Courcoux, S. Chevallier, A. Le-Bail, B. Jaillais

11h40-12h00 **Apport de l'imagerie hyperspectrale du capteur Hypérion pour la détection des mutations environnementaux des oasis littorales de Gabès**  
BEN ARFA Jouda, BERGES Jean Claude, BELTRANDO Gérard, KATLANE Rim, ZARGOUNI Fouad

12h00-13h30 Pause déjeuner

### SESSION 7 : Atmosphère

Modérateurs Sébastien Payan et Rodolphe Marion

13h30-13h50 **Détection de gaz industriels par filtrage adapté CTMF en imagerie hyperspectrale**  
Aurélié Quéméner, Rodolphe Marion

13h50-14h10 **CarboSPOC-21 : suivi journalier de la concentration des gaz à effet de serre depuis l'espace par spectrométrie à transformée de Fourier ultra-compact**  
S. Gousset, E. Le Coarer, N. Guérineau, Y. Ferrec, L. Croize

14h10-14h30 **Détection et identification par filtrage adapté de panaches d'aérosols industriels en imagerie hyperspectrale**  
Y. Philippets, R. Marion, P.-Y. Foucher, X. Briottet

14h30-14h50 **Utilisation d'imageurs infrarouges hyperspectraux pour l'étude de panaches volcanique : la campagne IMAGETNA**  
S. Payan, N. Huret, V. Catoire, S. Langlois, G. Salerno, T. Roberts, D. Rodriguez, A. Pola Fossi, A. La Spina, T. Caltabiano, S. Chevrier, Y. Ferrec

14h50-15h20 Pause café

### TABLE RONDE : capteurs

Animation Etienne LeCoarer (IPAG) et Nicolas Guérineau (ONERA DOTA)

15h20-16h20 Information et discussion autour

- de l'enjeu de la miniaturisation des capteurs hyperspectraux
- du pixel intelligent : intelligence embarquée, processus de réduction de données à bord, etc.

16h20-16h30 Clôture du colloque et futurs rendez-vous  
(SFPT-GH 2017 Brest, Ecole hyperspectrale organisée par l'ANR HYEP, etc...)

## Information sur les ateliers de formation aux techniques de télédétection hyperspectrale



## ATELIER DE FORMATION AUX TECHNIQUES DE TELEDETECTION

**Tutorial A** (9h30-11h00) Tutorial « Physique de la télédétection hyperspectrale et prétraitements (correction atmosphérique des images) » par Xavier Briottet, directeur de recherches à l'ONERA/DOTA, Toulouse ([page web](#)).

Abstract : The purpose of this presentation is to provide the physical basis necessary to understand the physic of remote sensing for hyperspectral imagery. An overview of the different steps necessary to understand how a hyperspectral image is created will be delivered.

This introduction will tackle the following points:

- \* Optical and radiative parameter in the optical domain
- \* Example of some optical properties of the ground, and the atmosphere
- \* Radiative effects in the earth atmosphere system
- \* Main airborne and spaceborne hyperspectral cameras and calibration methods
- \* data preprocessing : radiometric correction and atmospheric correction.

Xavier Briottet received his PhD degree in Electronics from the "Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace" (Toulouse, France) in 1986 and his "Habilitation à Diriger les Recherches" in 1999 from Paul Sabatier University. In 1987, he became an assistant professor in signal and image processing at the "Ecole Supérieure d'Electricité". He is now Director of Research and advisor of the scientific politic at DOTA. Since 1988, he is working in remote sensing at ONERA in the optic department (Toulouse, France). His current research interests are on 3D radiative transfer in urban area, shadow detection, atmosphere, unmixing in the reflective and thermal domain, using high spatial hyperspectral imagery and lidar. His main research works are focused for the following applications: urban area monitoring, bare soil and industrial plume characterization. He is contributing in the definition of the following space mission: HYPXIM hyperspectral payload and the future thermal infrared multispectral mission.

**Tutorial B** (11h30-13h00) Tutorial « Classification de scènes » par le professeur Devis Tuia du département Géographie de l'Université de Zurich ([page web](#)).

Abstract : In this tutorial, I will present the remote sensing image processing chain, and take the attendants on a tour of different strategies for feature extraction and classification of hyperspectral images. I will present powerful methodologies for remote sensing data classification: extracting knowledge from data, including automatic data normalization, classifiers that encode prior knowledge and invariances and semisupervised learning that exploit the information of unlabeled data. Beyond theory, I will also present results of recent studies illustrating the covered topics. Finally, I will provide code to the attendees to try the different methodologies and provide a solid ground for their future experimentations.

Devis Tuia was born in Mendrisio, Switzerland, in 1980. He received a diploma in Geography at the University of Lausanne (UNIL) in 2004, the Master of Advanced Studies in Environmental Engineering at the Federal Institute of Technology of Lausanne (EPFL) in 2005 and a Ph.D. in Environmental Sciences at UNIL in 2009. He was then a visiting postdoc researcher at the University of València, Spain and the University of Colorado, Boulder, CO, USA. He then worked as postdoc at EPFL under a

Swiss National Foundation program. Since 2014, he is SNF Assistant Professor at the Department of Geography of the University of Zurich. His research interests include the development of algorithms for information extraction and data fusion of remote sensing images using machine learning algorithms. Dr. Tuia serves as a Chair of the IMAGE ANALYSIS AND DATA FUSION TECHNICAL COMMITTEE of the IEEE GRSS. He is an Associate Editor of the IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATION AND REMOTE SENSING. Visit <http://devis.tuia.googlepages.com/> for more information.

**Tutorial C** Tutorial « Optimisation et problèmes inverses appliqués à l'analyse des données hyperspectrales » par le Professeur José M. Bioucas-Dias du Department of Electrical and Computer Engineering, IST, Université de Lisbonne. Il est aussi chercheur sénior dans le groupe "Pattern and Image Analysis" du Telecommunications Institute, une institution de recherche privée à but non lucratif ([page web](#)).

**C1** (14h00-15h30) Problèmes inverses appliqués à l'analyse de données : démixage spectral

**C2** (16h00-17h30) Problèmes inverses appliqués à l'analyse de données : fusion de données

Abstract: In hyperspectral imaging, the sensors measure the electromagnetic energy scattered in their instantaneous field view in hundreds or thousands of spectral channels. The very high spectral resolution of hyperspectral images enables a precise identification of the sensed materials via spectroscopic analysis, facilitating countless applications; e.g., earth observation and remote sensing, food safety, pharmaceutical process monitoring and quality control, as well as biomedical, industrial, and forensic applications. The extraction of useful information from hyperspectral images calls for sophisticated inference methods. The sources of difficulties are, namely, the high dimensionality and size of hyperspectral data, spectral mixing (linear and nonlinear), low spatial resolution (there is a trade-off between spectral and spatial resolution), and other degradations, such as noise and atmospheric effects. The tackling of these difficulties corresponds to a suite of inverse problems that are currently on the research agenda, namely hyperspectral unmixing, denoising, super-resolution and fusion, compressive acquisition, segmentation, and classification.

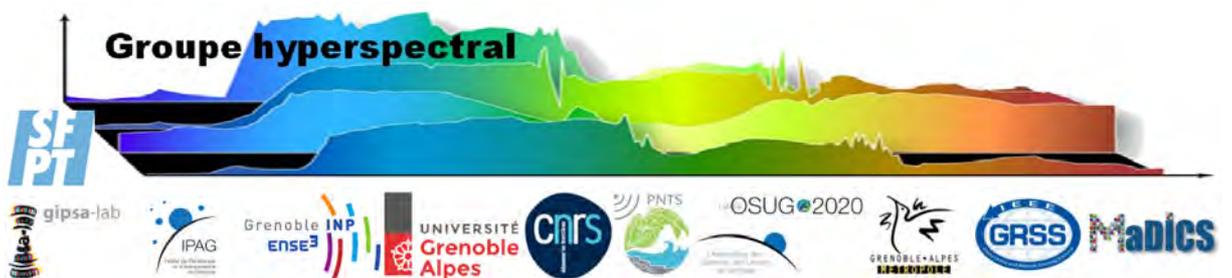
The tutorial is focused on three hyperspectral imaging inverse problems: denoising, unmixing, and fusion/super-resolution. Although these three problems are different in their details, they share a common objective: to restore original images from degraded versions. The degradation mechanisms include a) the presence of various types of noise, in the case of denoising, b) noise, blur, and downsampling, in the case of fusion and super-resolution, and c) spectral mixing (linear and nonlinear), in the case of unmixing. For each inverse problem, the underlying mathematical problem is formulated and the available solutions, ranging from the classical to the state-of-the-art, are summarized and compared.

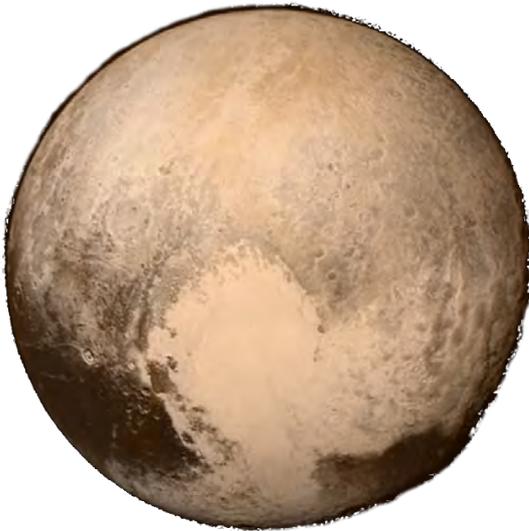
José Bioucas-Dias received the EE, MSc, PhD, and "Agregado" degrees from Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa Portugal, in 1985, 1991, 1995, and 2007, respectively, all in electrical and computer engineering. Since 1995, he has been with the Department of Electrical and Computer Engineering, IST, where he is an Associate Professor. He is also a Senior Researcher with the Pattern and Image Analysis group of the Instituto de Telecomunicações, which is a private non-profit research institution.

His research interests include inverse problems, signal and image processing, pattern recognition, optimization, and remote sensing. Jose Bioucas-Dias has introduced scientific contributions in inverse problems, signal and image processing, pattern recognition, optimization, and remote sensing. He is included in Thomson Reuters' Highly Cited Researchers 2015 list.

José Bioucas-Dias has been involved in several editorial activities. He was an Associate Editor for IEEE TCS, IEEE TIP, is an Associate Editor for IEEE TGRS and an Senior Associate Editor for IEEE TIP. He has been a member of program/technical committees of several international conferences.

## Information sur la conférence grand public





**Jeudi 12 mai 20h00-21h00 CONFERENCE** grand public consacrée à l'exploration de la planète Pluton par la mission américaine « New Horizons » et donnée par Bernard Schmitt (IPAG).

Abstract : The exploration of the Pluto system by New Horizons

Since the flyby of Pluto and its five moons on 14 July 2015 part of the 50Go of measurements recorded by its 5 instruments have been downloaded to Earth and calibrated. A number of interesting discoveries have been made in various fields on Pluto, Charon and the 4 small satellites. Pluto's surface was found to display a wide variety of landforms and terrain ages, as well as dramatic albedo, color, and compositional variegation. In particular some of its geologically young surface units are extraordinary active for a body with a mean temperature of 40K. I will present the major results obtained so far on the atmosphere of Pluto, and on the composition and geology of Pluto, Charon and the other smaller satellites, with their implications on the history of these bodies.

Directeur de recherche CNRS à l'Institut de Planétologie et Astrophysique de Grenoble, Physicien des matériaux de formation, Bernard Schmitt travaille sur la composition de la surface des objets glacés du système solaire (Mars, Pluton, satellites, comètes...) en utilisant principalement les spectromètres et spectro-imageurs des missions spatiales. Il participe actuellement aux missions Mars Express, Rosetta et New Horizons.

## Résumés du colloque



# Débruitage d'images hyperspectrales avec un modèle de bruit hétéroscédastique

Application à l'estimation de variables biophysiques par régression non-paramétrique fonctionnelle

A. Zullo<sup>1,2</sup>, F. Ferraty<sup>2</sup> & M. Fauvel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire DYNAFOR - UMR 1201 - INRA & INP Toulouse, France

<sup>2</sup> Institut de Mathématiques de Toulouse - UMR 5219 - Université de Toulouse, France

29 janvier 2016

L'imagerie hyperspectrale connaît un intérêt grandissant depuis une dizaine d'années dans divers domaines. Une image hyperspectrale est composée de pixels finement échantillonnés dans le domaine spectral (longueurs d'onde); l'étude de telles images conduit alors au traitement d'un important volume de données de grande dimension spectrale car chaque pixel est représenté par un vecteur comportant autant de variables que de bandes spectrales.

Les données obtenues sont bruitées de manière inégale dans le domaine spectral et les sources de bruit sont multiples :

- Les bandes d'absorption dans l'atmosphère qui atténuent plus ou moins fortement le signal,
- Le bruit numérique, dû au capteur, qui varie selon la plage de longueurs d'onde,
- Les corrections géométriques qui induisent des distorsions du signal.

Conventionnellement, le bruit est modélisé par un bruit blanc, et le signal spectral  $\mathbf{x}^*$  observé peut s'écrire comme

$$\mathbf{x}^* = \mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (1)$$

avec  $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^d$ ,  $d$  étant le nombre de bandes spectrales et  $\mathbf{n} \sim \mathcal{N}(\mathbf{0}, \sigma \mathbf{I})$ .

Dans ces travaux, nous considérons une modélisation fonctionnelle des spectres de réflectance. Chaque pixel est représenté par une courbe aléatoire fonction de la longueur d'onde  $\mathcal{X}^*(\lambda)$ . Ce type de modélisation présente certains avantages lors des traitements [1]. De plus, nous supposons que le bruit est hétéroscédastique, *i.e.*, dépendant de la longueur d'onde. La courbe observée

$$\mathcal{X}^*(\lambda) = \mathcal{X}(\lambda) + \eta(\lambda) \quad (2)$$

est donc bruitée plus ou moins fortement en fonction de la longueur d'onde.

Typiquement, le signal spectral est utilisé pour inférer des propriétés physico-chimiques des zones observées. Par exemple, la teneur en azote ou en chlorophylle des feuilles. Un modèle couramment utilisé dans la communauté consiste à apprendre une fonction  $r$  telle que

$$Y = r(\mathcal{X}^*) + e \quad (3)$$

où  $Y$  représente une valeur à prédire (continue ou discrète) et  $e$  un terme d'erreur.

Nous proposons dans ces travaux une méthode d'estimation en deux étapes :

1. Une étape de lissage permettant de réduire le bruit contenu dans les spectres,
2. Une étape de prédiction à partir des données débruitées,

les points 1. et 2. étant réalisés de façon imbriquée. La méthode de débruitage proposée est adaptative, basée sur un principe de proportionnalité : pour une longueur d'onde donnée, plus la variabilité inter-spectres est importante, plus le lissage des données sera important. L'hypothèse faite est que cette variabilité est causée pour une partie significative par le bruit dans les données. La méthode fonctionnelle utilisée est une méthode non-paramétrique [2], permettant d'adapter le modèle aux données.

Un des résultats démontrés est que cette méthode fournit asymptotiquement de meilleurs résultats lorsque le nombre de points d'échantillonnage spectral est grand devant le nombre de pixels d'apprentissage, une situation couramment rencontrée en imagerie hyperspectrale.

Nous présenterons des résultats de simulation numérique sur des données générées par le modèle PRO-SAIL [3] (régression) ainsi que des données réelles aéroportées (classification). Le couplage de cette méthode avec un lissage préalable des données améliore les résultats obtenus de manière significative.

## Références

- [1] A. Zullo, M. Fauvel, F. Ferraty, M. Goulard, and P. Vieu. Non-parametric functional methods for hyperspectral image classification. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pages 3422–3425, 2014.
- [2] F. Ferraty and P. Vieu. *Nonparametric Functional Data Analysis : Theory and Practice*. New York : Springer-Verlag, 2006.
- [3] S. Jacquemoud, W. Verhoef, F. Baret, C. Bacour, P. J. Zarco-Tejada, G. P. Asner, C. François, and S. L. Ustin. PROSPECT+SAIL models : A review of use for vegetation characterization. *Remote Sensing of Environment*, 113 :S56–S66, 2009.

S.E.M. ADVANCED IMAGE ANALYSIS TOOLS APPLIED TO CEMENT AND CONCRETE  
MICROSTRUCTURE: A REVIEW OF 'SPECTRO-SPATIAL' STRATEGIES AND CASES OF  
APPLICATION

S.Meulenyzer\*

Lafarge Research Center, 95 rue du Montmurier 38291 Saint-Quentin-  
Fallavier, France

\* e-mail: Samuel.Meulenyzer@LafargeHolcim.com

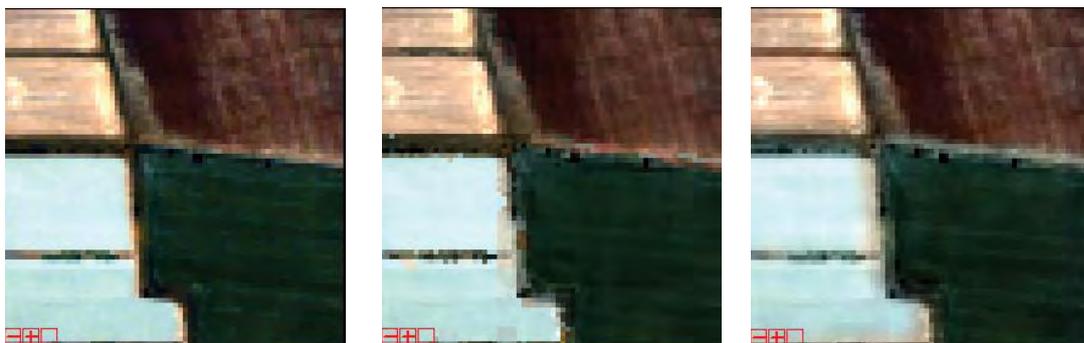
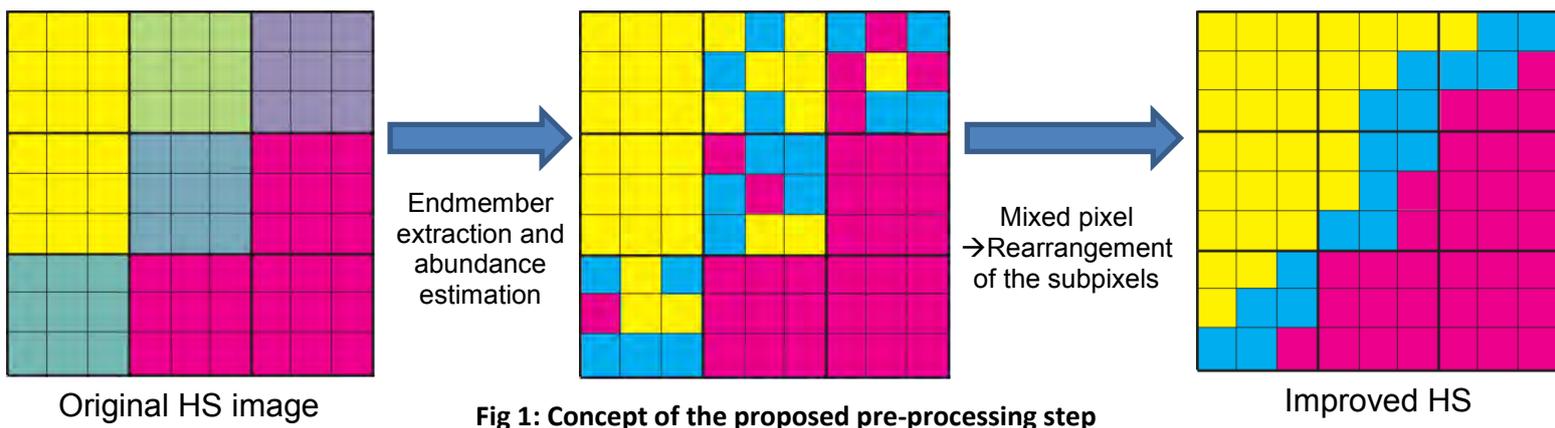
***ABSTRACT***

We describe a methodology to get phase classification from scanning electron microscopy (S.E.M.) using combination of backscattered image (BSE) and fast X-Ray maps of selected chemical elements. We apply this in the field of cement and concrete based materials. This development uses a set of tools which are well known in satellite image classification which combine in the same interface a classifier based on Support Vector Machine (SVM), an advanced filtering based on Markov Random Fields (MRF) and the construction of binary partition tree allowing the user to modify the final classification. We then illustrate 3 different cases of application. The first one is related to amorphous and mineral phases quantification in selected cementitious materials (more and more used in new binders). The second example is related to the hydration degree measurement in new binders containing ordinary portland cement (OPC) and these supplementary cementitious materials (SCMs). Last we measure the evolution of phases in function of depth for mortars that have been degraded in sulphate solution.

# Super-Resolution: a pre-processing step for Hyperspectral Pansharpener

Laetitia Loncan, Jocelyn Chanussot, Xavier Briottet, Sophie Fabre

Pansharpener first aims at fusing a panchromatic image with a multispectral image to generate an image with the high spatial resolution of the former and the spectral resolution of the latter. In the last decade many pansharpener algorithms have been presented in the literature using multispectral data. With the increasing availability of hyperspectral systems these methods are now extending to hyperspectral images. But the problem of the mixed pixel is generally ignored by the existing methods since their goal is to preserve the spectral information and add spatial information. In this work we present an approach to deal with mixed pixels as a pre-processing step before doing the fusion. This should improve the result by adding missing spectral information available in the reference image because of the mixed pixel. In addition the result of this approach will be compared with methods from the state of the art, at a global and local scale.



**Fig 2: Result, left -> reference, center -> presented method, right -> GSA. Table below: Quality criteria associated to the results.**

method	CC	SAM	RMSE	ERGAS
<b>Proposed method</b>	<b>0.95</b>	<b>2.65</b>	<b>3.53</b>	<b>3.21</b>
MTF GLP HPM	0.91	3.71	4.53	4.57
GSA	0.93	3.51	4.12	4.07
CNMF	0.95	3.29	<b>3.42</b>	3.48
Bayesian Sparse	0.89	3.88	4.85	5.41

# Prise en compte de la variabilité spectrale liée à la géométrie lors du démixage d'images hyperspectrales

Lucas Drumetz<sup>1</sup>, Wotao Yin<sup>2</sup>, Jocelyn Chanussot<sup>1</sup>, Christian Jutten<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GIPSA-lab, Département Image Signal, Grenoble, France ; <sup>2</sup> UCLA, Department of Mathematics, Los Angeles, USA

Le démixage spectral est un des sujets de recherche les plus importants et les plus étudiés en imagerie hyperspectrale. Du fait de la faible résolution spatiale de ces images, de nombreux pixels sont mélangés, c'est-à-dire que la signature spectrale acquise est la résultante de l'interaction des différents matériaux présents dans le champ de vision du capteur au moment de l'acquisition. Le démixage vise, pour une image, à extraire les signatures des différents matériaux en présence (appelés "endmembers") et à quantifier leurs proportions (appelées "abondances") dans chaque pixel de l'image, de façon à atteindre une résolution plus fine que l'échelle du pixel. De nombreux algorithmes ont été développés pour cette application au cours des quinze dernières années. Une hypothèse implicite est souvent faite pour faire du démixage : chaque matériau est le plus souvent représenté par une unique signature spectrale. En pratique, il existe souvent une variabilité intra-classe non négligeable, qui peut avoir de nombreuses causes. Par exemple, l'éclairement peut varier le long de la scène observée, par exemple à cause d'une topographie non plate ou bien de conditions d'illumination changeantes. La variabilité intrinsèque des matériaux (due à la variation d'un paramètre caché, comme par exemple la concentration en chlorophylle dans la végétation verte) peut aussi considérablement influencer sur la signature du matériau en question, même s'il est pur dans un pixel. Ce sujet, longtemps négligé, est devenu depuis quelques années de plus en plus étudié par la communauté.

Ici, nous utilisons un modèle de mélange linéaire étendu que nous avons récemment proposé pour prendre en compte la variabilité spectrale due à la géométrie de la scène. Ce modèle se base sur une approximation du modèle physique de Hapke et revient à mettre à l'échelle chaque endmember de référence par un facteur d'échelle dépendant du matériau, et ce pour chaque pixel, absorbant ainsi la majeure partie des effets dus à la géométrie. Les paramètres de ce modèle sont estimés en minimisant le critère suivant :

$$\mathcal{J}(\mathbf{A}, \mathbf{S}, \Psi) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N (\|\mathbf{x}_k - \mathbf{S}_k \mathbf{a}_k\|_2^2 + \lambda_S \|\mathbf{S}_k - \mathbf{S}_0 \psi_k\|_F^2) + \lambda_A TV_{spatial}(\mathbf{A}) + \lambda_S TV_{spectral}(\mathbf{S}) + \mathcal{I}_{simplex}(\mathbf{A}) + \mathcal{I}_{\mathbb{R}_+^{P \times N}}(\mathbf{S}). \quad (1)$$

où  $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{L \times N}$  est la matrice des données ( $L$  est le nombre de bandes spectrales considérées,  $N$  est le nombre de pixels),  $\mathbf{S}_k \in \mathbb{R}^{L \times P}$  est la matrice des endmembers ( $P$  est le nombre d'endmembers considérés) dans le pixel  $k$  considéré,  $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{P \times N}$  est la matrice des abondances.  $\psi_k$  une matrice diagonale, contenant des facteurs d'échelle sur la diagonale, qui pondèrent chacune des sources de façon identique pour toutes les longueurs d'ondes, et  $\mathbf{S}_0$  est une matrice d'endmembers de référence (extraite dans l'image).  $TV_{spatial}(\mathbf{A})$  est une variation totale isotrope dans le domaine spatial. Cette régularisation est utilisée car les abondances sont en général continues par morceaux dans l'image.  $TV_{spectral}(\mathbf{S})$  est une variation totale dans le domaine spectral. Elle agit de façon identique pour tous les pixels et tous les matériaux et permet d'obtenir des sources lisses par morceaux dans le domaine spectral.  $\mathcal{I}$  désigne la fonction indicatrice de l'ensemble désigné en indice.

A noter que l'on peut récupérer des facteurs d'échelle dépendant de la longueur d'onde en divisant terme à terme les sources locales  $\mathbf{S}_k$  par la référence  $\mathbf{S}_0$ . En effet, les sources ne sont pas contraintes à rester sur les droites délimitées par les références et l'origine mais sont libres de s'en écarter légèrement, suivant la valeur de  $\lambda_S$ . Le démixage est effectué en alternant les mises à jour des paramètres. Pour les mises à jour "difficiles" impliquant plusieurs termes non différentiables (abondances et endmembers), nous utilisons un algorithme primal-dual plus efficace que le désormais traditionnel algorithme ADMM. La mise à jour des facteurs d'échelle possède une expression analytique.

La Figure 1 montre des exemples de résultats sur un jeu de données acquis au dessus du campus de Houston, ainsi que les abondances estimées par le modèle de mélange linéaire, et certains facteurs d'échelles extraits. Tout d'abord, on constate que les abondances des toits rouges autour du stade sont bien mieux extraites par le modèle proposé. En effet, on voit que ces toits sont considérés comme purs bien qu'ils aient plusieurs orientations différents par rapport à la lumière incidente et au capteur. Les abondances des autres matériaux sont relativement proches de celles du modèle linéaire, mais semblent plus cohérentes que celles d'autres algorithmes de la littérature (non montrées ici par manque de place).

Sur le graphique à gauche de la Fig. 1 on voit que pour deux pixels différents situés sur deux faces différentes du même toit rouge, la forme des facteurs d'échelle extraits est la même, il y a simplement une mise à l'échelle entre les deux. Cela signifie que les deux pixels locaux sont spectralement proches, et que la mise à l'échelle reflète différence de géométrie. Le même phénomène se produit pour deux pixels situés dans deux tribunes différentes (graphique du milieu), bien que la forme du spectre soit légèrement différente. Pour la végétation (figure de droite), il est intéressant de voir qu'il y a un effet de mise à l'échelle, mais combiné à un changement dans les formes des spectres : il s'agit en fait de deux pixels correspondant à des feuilles d'arbres pour l'un, et à de l'herbe pour l'autre. Comme nous ne considérons ici qu'un seul matériau "végétation", nous sommes capables d'expliquer en partie sa variabilité intra-classe.

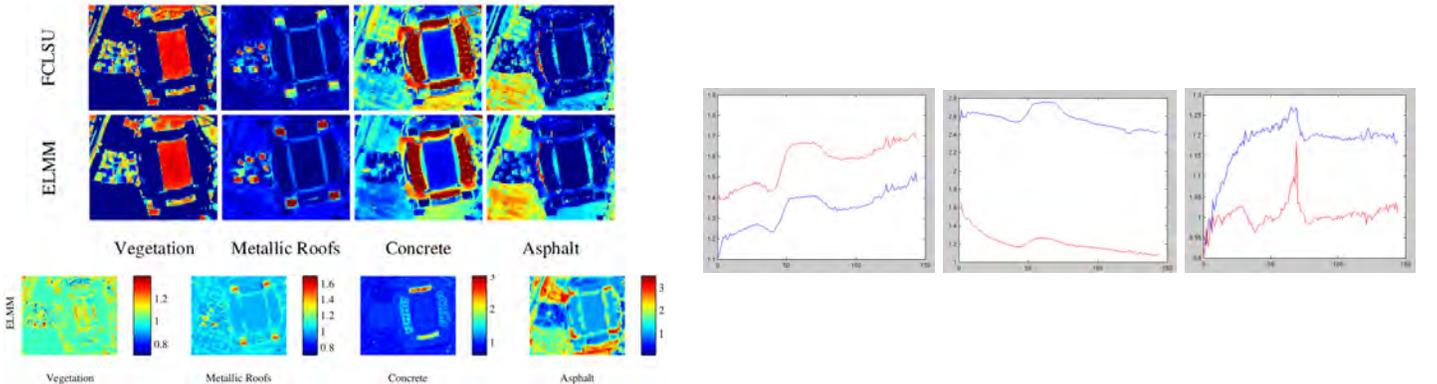


FIGURE 1 – A gauche : Abondances estimées par le modèle de mélange linéaire et le modèle proposé (en haut) . En bas : facteurs d'échelles (paramètres du modèle) estimés par l'approche proposée. A droite : Facteurs d'échelle (en fonction de la bande spectrale considérée) dans certains pixels pour (de gauche à droite) deux pixels de toits rouges, deux pixels des tribunes, deux pixels de végétation.

# NONNEGATIVE TENSOR CP DECOMPOSITION OF HYPERSPECTRAL DATA

*M. A. Veganzones<sup>a</sup>, J. Cohen<sup>a</sup>, R. Cabral Farias<sup>a</sup>, J. Chanussot<sup>a,b</sup> and P. Comon<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>CNRS, GIPSA-Lab, Grenoble University, Grenoble, France

<sup>b</sup>Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Iceland, Iceland

## ABSTRACT

Spectral unmixing (SU) is one of the most important and studied topics in hyperspectral image analysis. By means of spectral unmixing it is possible to decompose a hyperspectral image in its spectral components, the so-called endmembers, and their respective fractional spatial distributions, so-called abundance maps. The Canonical Polyadic (CP) tensor decomposition has proved to be a powerful tool to decompose a tensor data onto a few rank-one terms in a multilinear fashion. We have been studied the connection between the nonnegative CP decomposition of hyperspectral data and the spectral unmixing problem. Here, we summarize our research findings, when the CP decomposition is applied either to hyperspectral images, time series and multiangle acquisitions.

***Index Terms***— Spectral unmixing, hyperspectral data, multiway analysis, Canonical Polyadic, nonnegative tensor decomposition.

# Multibloc analysis of multimodal and multiresolution hyperspectral images

## Application to plant cell wall analysis

Marie-Françoise Devaux<sup>1</sup>, Frédéric jamme<sup>2</sup>, Mohamed hanafi<sup>3</sup>, Fabienne Guillon<sup>1</sup>

E-mail: [marie-francoise.devaux@nantes.inra.fr](mailto:marie-francoise.devaux@nantes.inra.fr)

1. INRA F-44300 Nantes. UR1268 Biopolymères Interactions Assemblages, Equipe Parois Végétales et Polysaccharides Pariétaux
2. Synchrotron SOLEIL, BP 48 F- 91192 Gif-sur-Yvette. Ligne DISCO.
3. ONIRIS. F-44322 Nantes. Unité de Sensométrie et de Chimiométrie.

Biochemical cartography of plant cell wall polymers can be achieved using hyperspectral images acquired by microspectroscopy or multispectral images acquired using full field microscopes. Depending on the spectroscopic domain, the pixel size can vary from a few hundred of nanometres to a few hundred of microns. The joint acquisition of multi or hyperspectral images is more and more common thanks to the development of multidisciplinary instrumental platforms and of synchrotron facilities. The objective of joint acquisition and analysis of multi and hyperspectral images is to describe the complexity of the polymers found in the sample. In the case of biological samples like plants cell wall, polymers like cellulose, hemicellulose, lignin are found which structure and relative amount vary according to cell type, plant development, genetic and agronomy.

Chemometric techniques [as](#) Principal component Analysis or Multivariate Curve Resolution can be applied to analyse multi or hyperspectral images by considering the image as a set of spectra acquired for different spatial locations. In this context, coupling spectral images can be envisioned by coupling the set of spectra using multibloc chemometric techniques. For this purpose, the spectra of one image must be registered to the spectra of the second image. One constraint is to take into account the difference of spatial resolution generally observed between the imaging techniques. For example the pixel size of [recorded](#) Infrared hyperspectral images [are](#)  $5 \times 5 \mu\text{m}^2$  while spectra recorded [UV fluorescence images have](#) pixels of  $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ . We have proposed to build paired spectral data tables that preserve the full spatial resolution of each technique (Figure 1) and an extension of the multiple co-inertia analysis that take into account this data table structure<sup>1</sup>.

The interest of the approach will be shown through the analysis of maize stem cell wall composition using Raman and synchrotron infrared and fluorescence hyperspectral images.

1. Allouche F, Hanafi M, Jamme F, Robert P, Barron C, Guillon F and Devaux MF. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 117 : 200-212. 2012.

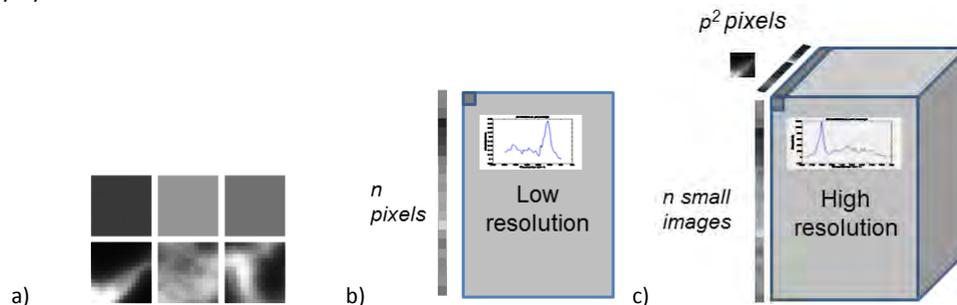


Figure 1 – coupling hyperspectral multiresolution images. a) pixels with low and high resolution. b) low resolution image unfolded as a two-way spectral data table. c) paired high resolution spectral data table.

# Analyse des fonds en zone littorale méditerranéenne française (Port-Cros) par imagerie hyperspectrale aérienne : (du projet HypMed au) projet HypFoM\*

Mireille Guillaume‡, Audrey Minghelli\*\*, Malik Chami†, Bruno Lafrance††,  
Yannick Deville\*†, Véronique Serfaty\*\*\*

‡Ecole Centrale Marseille, Institut Fresnel UMR 7122, CNRS, AMU, Marseille,  
\*\* Seatech, LSIS UMR 7296, Toulon, †LOV, Université Pierre et Marie Curie,  
Villefranche, ††CS, Toulouse, \*†IRAP, Université de Toulouse, Toulouse, \*\*\* MRIS,  
DGA

## Résumé

L'estimation de la composition des fonds en zone littorale est un enjeu important pour le suivi des espèces benthiques, pour l'aquaculture et la défense. Le projet HypFoM (ANR-15-ASTR-0019), prévu sur une durée de 30 mois, a pour but le développement de méthodes de séparation de sources pour retrouver et analyser les signaux réfléchis par le fond marin après la traversée de la colonne d'eau. Il fait suite au projet HypMed (TOSCA), financé par le CNES en 2015, ainsi qu'à une campagne aéroportée menée par l'ONERA en 2013 autour de l'île de Porquerolles, qui nous ont permis d'initier différentes approches : inversion semi supervisée, estimation sur une base spectrale issue d'une campagne de données, et estimation/démélange, afin d'obtenir différentes cartographies du fond. Nous montrons que, si ces approches peuvent permettre de reconstituer visuellement les fonds par faible bathymétrie, elles ne permettent pas une analyse fine de leur composition. Nous voulons à présent développer des méthodes d'analyse des fonds basées sur une modélisation plus précise des transferts radiatifs à l'intérieur de la colonne d'eau, en particulier les phénomènes de réflexions multiples sur les hydrosols et leur interaction avec les fonds, qui ne peuvent pas être décrits par des mélanges linéaires. Plus précisément, nous chercherons une formulation polynômiale de ces interactions, pour la résoudre par une factorisation en matrices non négatives (NMF), méthode que nous avons précédemment adaptée et formalisée dans le cadre d'autres applications pour des mélanges linéaires-quadratiques. Dans cette présentation nous reviendrons rapidement sur les premiers résultats issus de HypMed, et nous développerons le projet scientifique de HypFoM.

---

\*Merci à la DGA pour le financement du projet HypFoM (ANR-15-ASTR-0019) et à l'ANR pour sa gestion. Merci également à l'ONERA pour la campagne de données aéroportée de 2013 autour de Porquerolles, au CNES pour le financement du projet TOSCA HypMed, et au CEA pour la correction atmosphérique des images.

# Hyperspectral remote sensing of coral reefs by semi-analytical model inversion – comparison of inversion schemes

---

*Tristan Petit<sup>a</sup>, Touria Bajjouk<sup>a</sup>, Pascal Mouquet<sup>b</sup>, Sebastien Rochette<sup>a</sup>, Benoit Vozel<sup>c</sup> and Christophe Delacourt<sup>b</sup>*

<sup>a</sup> Ifremer, DYNECO, Brest, France

<sup>b</sup> Université de Bretagne Occidentale, UMR CNRS 6538, Brest, France

<sup>c</sup> Université de Rennes 1, IETR UMR CNRS 6164, Lannion, France

## Summary

Coral reefs occupy a very small part of the ocean but the tremendous biodiversity that they offer makes them a very important ecosystem. Unfortunately, because of multiple factors such as global warming, sea acidification or erosion of seabed, more than 60 percent of the world's reefs are considered under immediate threat. It is thus essential to develop tools that enable an adequate monitoring of coral reef communities. Optical remote sensing, in particular the high spectral and spatial resolutions offered by airborne hyperspectral imaging, has strong potential for becoming a powerful large-scale monitoring tool of coral reef communities. In the late 90s, methods based on radiative transfer model inversion have shown promising results to extract information about seabed, depth and water column from the hyperspectral observation. However, low signal-to-noise ratio (SNR) combined to environmental variability makes the design of an optimal processing algorithm very difficult. Here we selected a state of the art forward semi analytical model and compared different inversion schemes, each one having its own theoretical strengths and weaknesses regarding the different confounding factors. More specifically, six inversion schemes were implemented, corresponding to the combinations between (i) three cost functions: Least Square (LS), Spectral Angle Mapper (SAM) and Least Square on spectral Derivative (LSD) and (ii) two physical constraints imposed on the seabed retrieval: Abundance Sum-to-one Constraint (ASC) and its Relaxed version RASC. We tested the performances of the six algorithms on hyperspectral images acquired over La Reunion reefs. Results were evaluated in terms of bottom depth and seabed abundances.

# **Intégration et mise en oeuvre opérationnelle d'un drone hyperspectral longue endurance**

## ***Présentation de la campagne pilote 2015 de cartographie des récifs coralliens à Mayotte***

**M. Lennon<sup>1</sup>, N. Thomas<sup>1</sup>, S. Smet<sup>1</sup>, M. de Lagarde<sup>2</sup>, J.P. Quod<sup>3</sup>, J.B. Nicet<sup>4</sup>,  
D. Corman<sup>5</sup>, F. Gauthiez<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>SAS ACTIMAR – 36 Quai de la Douane – 29200 BREST

<sup>2</sup>DELAIR-TECH SAS – 31100 TOULOUSE

<sup>3</sup>PARETO – 97490 SAINTE CLOTILDE – ILE DE LA REUNION

<sup>4</sup>GIE MAREX – 97436 SAINT-LEU – ILE DE LA REUNION

<sup>5</sup>AGENCE DES AIRES MARINES PROTEGEES – 29200 BREST

[lennon@actimar.fr](mailto:lennon@actimar.fr)

Soutenu par l'Agence des Aires Marines Protégées via une convention de partenariat, Actimar développe une méthodologie de cartographie des habitats de la zone de petits fonds à partir d'images hyperspectrales. Dans sa première phase, le projet dénommé REFCAR, a d'ores et déjà permis le développement et l'implémentation opérationnelle de méthodes avancées d'inversion de modèle de transfert radiatif dans la colonne d'eau, qui ont été intégrées dans l'outil SWIM<sup>®</sup> (Shallow Water mappIng using optical reMote sensors), permettant en particulier d'estimer la réflectance du fond.

Dans la seconde phase du projet REFCAR, l'intégration et la mise en oeuvre opérationnelle d'un drone hyperspectral longue endurance en scénario S4 a été réalisée, ce qui constitue à notre connaissance une première pour des applications civiles de cartographie environnementale.

Le drone hyperspectral, d'une autonomie actuelle de vol d'environ 2h, permet d'acquérir des images de plusieurs km<sup>2</sup>, à partir de la côte et à plusieurs km au large. Les images acquises se situent dans la gamme 400-1000nm, incluent 272 bandes spectrales de résolution spectrale 5nm, pour une résolution au sol de 15cm.

L'intégration système (drone, capteur, systèmes de navigation, synchronisation) sera présentée, ainsi que la campagne pilote réalisée en octobre 2015 à Mayotte. Les caractéristiques des missions d'acquisition et des données acquises seront détaillées, incluant les performances géométriques et radiométriques des images acquises avec le système.

La méthode de cartographie des récifs coralliens également développée dans la seconde phase de ce projet REFCAR à partir des sorties de SWIM<sup>®</sup>, et la librairie spectrale sous-marine associée qui a été constituée, seront présentées succinctement. Nous montrerons alors les perspectives ouvertes par l'utilisation de drone hyperspectral pour la cartographie des récifs coralliens, pour la cartographie des habitats benthiques de petits fonds en général, et plus largement pour la cartographie environnementale en zone immergée ou terrestre.

Nous mettrons en évidence l'ouverture de l'hyperspectral à des applications opérationnelles, que va rendre possible l'utilisation de ce type d'outil de télédétection, couplé à des méthodes matures de traitement de données hyperspectrales permettant d'extraire de l'information à forte valeur ajoutée sur différentes thématiques.

# Hyperspectral Imagery for Environmental urban Planning: HYPEP

Projet ANR 14-CE22-0016-01

<http://hyep.cnrs.fr/>

C Weber, X Briottet, C. Mallet, S Gadal

Le projet HYPEP financé par l'ANR (défi 6 système urbain et mobilité) a pour objectif de démontrer l'intérêt de capteurs hyperspectraux de seconde génération comme le capteur hyperspectral français (HYPEX mission HYPXIM) pour l'étude des systèmes urbains. Cette mission propose des images (GSD 8m) avec un panchromatique (GSD 1.8m). Ces produits hyperspectraux apportent à la multiplicité des satellites d'observation multispectraux des capacités spectrales et radiométriques remarquables notamment en milieu urbain.

Le déroulement de l'ANR a permis de comparer les résultats de deux méthodes de correction atmosphérique à différentes résolutions (cf G Roussel et al.). Elles sont définies selon des hypothèses variables et fournissent des résultats intéressants dans le cadre de classifications.

L'ANR a aussi permis d'approfondir la réflexion sur les bases de données spectrales utilisables en traitement d'image pour valider les informations spectrales obtenues, valider les classes d'occupation ou d'utilisation du sol ou encore fournir des éléments de connaissance pour des algorithmes d'apprentissage. Des développements morpho-spectraux sont en cours pour identifier et extraire les caractéristiques physiques et géométriques des composants urbains (cf Gadal et al.)

Enfin un état de l'art a été développé dans le cadre de plusieurs travaux de thèse sur les approches de de démixage, de fusion ou d'apprentissage par les diverses équipes impliquées.

L'ensemble de ces travaux devrait permettre de préciser les spécifications du capteur HYPEX mais aussi fournir une base de méthodes susceptibles de faciliter son utilisation.

Dans une même logique d'optimisation d'usage, des travaux rassemblant les acteurs locaux (Toulouse) et les membres de l'ANR ont pour objectif de fixer les attentes des services tant en termes de produits finaux qu'en termes d'appréhension de ces derniers.

# Comparaison de deux méthodes de correction atmosphérique à différentes résolutions pour des applications de classification d'images hyperspectrales

Projet ANR 14-CE22-0016-01

G. Roussel, C. Weber, X. Briottet et X. Ceamanos

L'imagerie hyperspectrale constitue une technologie prometteuse pour un vaste panel d'applications liées à l'analyse du milieu urbain, lequel se caractérise notamment par une grande variété de matériaux différents. L'étude de ces derniers nécessite toutefois de s'affranchir des effets de l'atmosphère sur le signal afin de travailler sur une mesure plus représentative du matériau au sol. Ce travail se focalise sur l'estimation des performances de 2 méthodes de correction atmosphérique pour la classification en fonction de la résolution spatiale de l'image.

La première méthode de correction atmosphérique<sup>1</sup>, COCHISE, considère un sol plat et hétérogène tandis que la seconde est une méthode empirique<sup>2</sup> approximant grossièrement certains termes radiatifs tout en tenant compte des zones d'ombre.

Les images acquises par les caméras hyperspectrales HYSPEX de l'ONERA lors de la campagne UMBRA<sup>3</sup>, sont simulées en haut de l'atmosphère puis agglomérées afin de reproduire des images acquises par des capteurs hyperspectraux de résolution spatiale variable : 2m, 4m, 8m et 16m. Ces images, exprimées en unité de luminance, sont ensuite corrigées de l'atmosphère puis classifiées par l'intermédiaire d'un algorithme traitant séparément les pixels à l'ombre et les pixels ensoleillés. Les résultats obtenus aux différentes résolutions et via les deux méthodes de correction atmosphérique sont enfin comparés les uns aux autres.

---

<sup>1</sup> C. Miesch, L. Poutier, V. Achard, X. Briottet, X. Lenot, and Y. Boucher. *Direct and inverse radiative transfer solutions for visible and near-infrared hyperspectral imagery*. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 43(7):1552–1562, July 2005.

<sup>2</sup> M. Chen, K.L.C. Seow, X. Briottet, and Sze Kim Pang. *Efficient empirical reflectance retrieval in urban environments*. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, 6(3):1596–1601, June 2013.

<sup>3</sup> Karine R.M. Adeline, Arnaud Le Bris, Fabien Coubard, Xavier Briottet, Nicolas Paparoditis, Françoise Viallefond, Nicolas Rivièrè, Jean-Pierre Papeard, Philippe Deliot, Joël Duffaut, Sylvain Airault, Nicolas David, Grégoire Maillet, Laurent Poutier, Pierre-Yves Foucher, Véronique Achard, Jean-Philippe Souchon, Christian Thom. *Description de la campagne aéroportée UMBRA : étude de l'impact anthropique sur les écosystèmes urbains et naturels avec des images THR multispectrales et hyperspectrales*, *Revue française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 202 :79-92, June 2013.

# Generation of urban objects spectral database using laboratory hyperspectral imager in Kaunas city (Lithuania)

Walid Ourghemmi <sup>a</sup>, Sébastien Gadal <sup>a</sup>, Gintautas Mozgeris <sup>b</sup>, Vytaute Juodkiene <sup>b</sup>, Donatas Jonikavicius <sup>b</sup>, Sergiy Zinko <sup>c</sup>, Grzegorz Skupinski <sup>c</sup>, Christiane Weber <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Aix-Marseille Université, CNRS ESPACE UMR 7300

[walid.ouerg@gmail.com](mailto:walid.ouerg@gmail.com), [sebastien.gadal@univ-amu.fr](mailto:sebastien.gadal@univ-amu.fr)

<sup>b</sup> Aleksandras Stulginski University, Institute of Forest Management and Wood Science

[gintautas.mozgeris@asu.lt](mailto:gintautas.mozgeris@asu.lt), [vytaute.juodliene@asu.lt](mailto:vytaute.juodliene@asu.lt), [donatas.jonikavicius@asu.lt](mailto:donatas.jonikavicius@asu.lt)

<sup>c</sup> CNRS LIVE UMR 7362

[sergiyzinko@gmail.com](mailto:sergiyzinko@gmail.com), [grzegorz.skupinski@live-cnrs.unistra.fr](mailto:grzegorz.skupinski@live-cnrs.unistra.fr), [christiane.weber@live-cnrs.unistra.fr](mailto:christiane.weber@live-cnrs.unistra.fr)

## Abstract

Urban territories are composed by a large panel of geographic objects characterising the socio-economics uses, the urban structures, urban and architectural spaces, dynamics, evolutions and transformations of the cities. Mineral urban objects as the built-ups, blocks, houses, industrial zones, commercial centres, streets, roads, etc., or vegetal as gardens, parks, etc., are results of modes of lifestyles, societal conceptualisation or uses of the geographic space. Complexity, heterogeneity, and multiplicity of the geographic objects are the footprints of the models of territorialisation and urban management. The gradient of spectral and geometric mosaics detected by the hyperspectral sensors are measuring urban structures' and geographic objects organising the territories. Hyperspectral airborne imagers are proposing some promising monitoring systems for the characterisation of the cities.

Spectral formalisation and systematisation of the urban objects detected are the necessary first step to develop tools for urban management. Cataloguing and generation of a spectral database over the city of Kaunas (Lithuania) is the first phase. The spectral database will be used to characterise precisely the urban objects, according to their spectral reflectance. Each urban object is defined by a number of typical spectra.

The spectral Library generated, the Kaunas Urban Spectral Library (KUSL), was created in the framework of the ANR HYPE (HYperspectral imagery for Environnemental urban Planning) following two parts: an objects collection of Kaunas's city, and Laboratory hyperspectral measurements made at Aleksandras Stulginski University. The KUSL spectral library contains the spectral signatures of urban objects collected over the city of Kaunas in July 2015, the samples collection and spectral measurements were done between the 21 of July and the 27 of July 2015. The average temperature during the campaign was equal to 17.5° Celsius, the average moisture content was equal to 67%. The materials sampling campaign concerned three districts of Kaunas: Kaunas center, Raudonvaris and

Ringaudai districts. The database includes a variety of common urban materials that can be found in urban context; roofing, roads, vegetation and bare soils.

The spectral measurements were done in a black room using the hyperspectral Themis-Vision VNIR400H imaging camera. The sensor was developed by the NASA Themis Vision Systems. The camera is able to measure the electromagnetic radiation from 400 nm to 1000 nm using 1024 narrow bands; the spectral resolution is equal to 0.6 nm. The CCD sensor has a pixel size of 6.45  $\mu\text{m}$  and a framing rate of 20 MHz, with a dynamic range of 12 bits. This configuration gives a matrix grid of 1392 x 1000 pixels in terms of image resolution. The lens field of vision is 30 degrees.

The "KUSL" includes non-shadowed and shadowed spectra. The spectral measurements were done in laboratory, under artificial light. Depending on the samples disposal and form, some shadowed zone could be cleared, in that case, the shadowed spectral signatures were extracted in addition to the non-shadowed ones; five signatures were extracted for each object. For each object, five spectral measurements were acquired. In addition to the ASCII file containing the spectral measurements we have access to a second ASCII file containing statistics about the spectral measurements: Maximum, Minimum, Standard deviation, etc. It is completed by sample description files about the objects and the measurements conditions. The "KUSL" is planned to be an open spectral library, which could be used by the scientific community. 32 urban objects have been spectrally characterised on a total of 57 objects including the shadowed.

**Keywords':** Urban spectral library, hyperspectral imager, urban complexity, geographic objects.

# Identification of urban objects using spectral library combined with airborne hyperspectral imaging

Sébastien Gadai, Walid Ourghemmi

Aix-Marseille Université, CNRS ESPACE UMR 7300

[sebastien.gadal@univ-amu.fr](mailto:sebastien.gadal@univ-amu.fr) [walid.ouerg@gmail.com](mailto:walid.ouerg@gmail.com)

## Abstract

The development of the hyperspectral imagery, gives an opportunity to characterise more precisely terrestrial surfaces, landscapes and the geographic objects because of the high spectral resolution of the sensors. The hyperspectral imagery is increasingly used in many fields of applications: geology, agriculture of precision, gas detection, etc., or urban planning and management as in this research. The characterisation of the urban objects is constrained by a specific spatial and geographic context.

The urban environment is characterised by a high spatial, objects and spectral heterogeneity between the object's urban surfaces; and the uses of "classical" classification techniques is often long and inefficient. To resolve the problem of the classification of the urban objects, a method of classification based on the use of urban object's spectral library has been developed. The uses of this approach could be useful for the detection of some specific objects, by spectral classification. The goal is to discern efficiently urban objects in a high heterogeneous geographic context.

The airborne hyperspectral image used for the application in Kaunas city centre (Lithuania) dated of July 2015. The acquisition was made with the Finnish VISNIR hyperspectral imager RIKOLA LTD. The airborne imager was fixed below a single-seat aircraft, and was configured to produce 16 bands, with a spectral range of 500-900nm, and a spatial resolution of 1 meter. The mean aircraft altitude was equal to 1000 meter during the flight mission. Kaunas city centre is characterised by a heterogeneity of urban structures, built-ups, roofing's, roads and vegetation species. They are results of mixing of post-soviet urbanisation, soviet urbanism and architecture, 14-18e century's old centre district, 19e Russian century buildings and a large interwar Art Nouveau urban space.

The urban object's identification method based on the uses of external spectral library concerns the vegetation species, and manmade materials recognitions. The city main vegetation species are: deciduous trees, coniferous trees and green grass. Regarding the manmade materials, the city is composed essentially of tile, metal, asbestos roofing, asphalt roads, pavements, and stony roads.. The spectral library was generated on Kaunas during the summer 2015 and is called the "KUSL" spectral library.

The vegetation species are hardly recognizable using spatial classification methods (i.e. almost the same colour and texture, no form recognition is possible between trees). Indeed, a spectral classification could be more useful to detect the species, thanks to their spectral signatures. The detection of the vegetation is made by the implementation of KUSL vegetation spectra into the Spectral Angle Mapper classifier (SAM). For each species, five training spectral signatures from the KUSL library are extracted and implemented in the SAM classifier. The region of interest is composed of variety of vegetation species; green grass, coniferous and deciduous trees. Our classification method

allows the identification of green grass in Traffic circles, parks, and individual houses. Around the green grass surfaces, some deciduous trees are also detected (Pines and Fir), finally three different coniferous trees (example: Chestnut, Linden, Aspen) spread along the city; in the parks, individual houses, and along the streets, are detected.

The extraction of manmade materials from our 16 bands Kaunas hyperspectral image is based on the same method (SAM classification using the KUSL spectral library). In addition, some material reference spectra have been directly extracted from the hyperspectral images, and used in the classification process because the KUSL library is limited in terms of roofing materials. Only five roofing objects essentially of tile and metal roofing exist at this moment. The database is under building. The tile roofing are correctly detected using the KUSL library, some metal painted roofing are detectable, as the red painted metal roofs. The asphalt is also recognised, but highly correlated with bitumen coated and asbestos roofing. The pavements are detectable but correlated with tile roofing. The intersection mask between tile class and road (stony and pavement) class resolves the problem of confusion. Other painted metal roofing are identified with the use of the reference spectra extracted from the image. The validation of the classification results were done using recent pictures of urban objects taken over Kaunas, other validation strategies are under-development especially for the vegetation species.

Even with a limited spectral bands number, the spectral classification results using the airborne 16 bands image coupled with KUSL spectral library are significant, with an efficient discrimination of urban vegetation species, and some man made materials, as tile, metal roofing and asphalt. Nevertheless, an increase in the spectral bands could enhance considerably the spectral classification results and the recognition of urban objects. A new campaign of acquisition with 50 spectral bands is planned in summer 2016 with the enrichment of the KUSL urban spectral signatures database.

**Keywords:** hyperspectral airborne imagers, spectral database, spectral classification, urban objects, vegetation, manmade materials.

## Bilinear matrix factorization methods and application to unsupervised unmixing of urban hyperspectral images<sup>1</sup>

Yannick Deville<sup>a</sup>, Fatima Zohra Benhalouche<sup>a,b</sup>, Moussa Sofiane Karoui<sup>a,b,c</sup>, Abdelaziz Ouamri<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP), Université de Toulouse, UPS-OMP, CNRS, Toulouse, France

<sup>b</sup> Laboratoire Signaux et Images, Université des Sciences et de la Technologie, Oran, Algeria

<sup>c</sup> Centre des Techniques Spatiales, Arzew, Algeria

{Yannick.Deville, Fatima.Benhalouche, Sofiane.Karoui}@irap.omp.eu, ouamri@yahoo.com

Blind source separation (BSS) is a generic signal processing problem, which consists in estimating a set of unknown source signals from a set of observed signals which are mixtures of these source signals, when the mixing function applied to the latter signals is unknown (only the class of functions to which it belongs is possibly known). In the framework of remote sensing, this problem especially concerns unsupervised unmixing of hyperspectral images. The observed and source signals are then e.g. respectively the reflectance spectra of the observations and of the pure materials that they involve. Then, in the simplest configurations, the mixing function is linear (and memoryless) and its coefficients are the so-called abundance fractions. The sources and mixing coefficients are thus nonnegative.

Recent works showed that urban scenes yield more complex mixing functions than above: in addition to linear terms, they involve quadratic terms, i.e. terms proportional to products of two source reflectance spectra. These terms result from three-dimensional structures in urban scenes, which allow sunlight to be successively reflected by two surfaces (typically building walls and ground), before it eventually reaches the hyperspectral image sensor. In the usual case when the materials involved in these double reflections are different, the mixing model thus encountered is bilinear. Some unsupervised hyperspectral unmixing methods have been recently developed for this bilinear model or for the complete linear-quadratic model. This especially includes extensions of Nonnegative Matrix Factorization (NMF) methods. Standard NMF forms a large class of BSS methods intended for linear memoryless mixtures with nonnegative sources and mixing coefficients.

The investigations reported in this paper submitted to SFPT-GH 2016 proceed beyond the above framework. As a first step, they deal with a general class of BSS methods for bilinear mixtures, using a structure based on matrix factorization, which models the direct, i.e. mixing, function, thus not requiring the analytical form of the inverse model. This approach also initially does not set restrictions on e.g. statistical independence, nonnegativity or sparsity, but on linear independence of sources and some source products. The separation principle used for adapting the parameters of the above structure consists in fitting the observations with the above direct model. To this end, we develop an approach based on a highly reduced number of master adaptive variables, unlike in previously reported bilinear or linear-quadratic NMF-based methods. This highly reduces the dimension of the searched space, thus potentially reducing local minima of the cost function, which are a major limitation of NMF-based methods. Moreover, we prove (for two sources at this stage) that this separation principle ensures separability, i.e. unique decomposition. Associated criteria and algorithms are also described. We also highlight potential conditioning issues of some practical bilinear matrix factorization (BMF) methods thus obtained. As a second step, we focus on versions of the above approach targetted at remote sensing applications. We show that the above-mentioned issues can then be reduced by taking advantage of the nonnegativity of the considered sources and mixing coefficients. The attractive performance of all above methods is eventually illustrated with synthetic bilinear mixtures of real reflectance spectra of pure materials.

---

<sup>1</sup>This work was partly funded by the French ANR project on “HYperspectral imagery for Environmental urban Planning” (HYEP, no. ANR 14-CE22-0016-01).

# Source Halo Advanced Detection and Estimation : une méthode de détection du Circum-Galactic Medium

Raphael Bacher<sup>\*†</sup>, Florent Chatelain<sup>†</sup>, Olivier Michel<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Université Grenoble-Alpes, Gipsa-Lab, Grenoble, France

<sup>\*</sup> CRAL, Observatoire de Lyon, Lyon, France

Selon les théories cosmologiques actuelles, un certain nombre de galaxies sont entourées d'un important halo de gaz d'hydrogène (le Circum Galactic Medium ou CGM). Ces halos émettent un spectre de raies d'émission, notamment la raie Lyman  $\alpha$  à 121 nm. Mais du fait de l'éloignement de ces structures par rapport à nous, leur spectre est décalée vers le rouge (redshift) de sorte qu'il est très difficile de détecter cette raie en filtrant une bande spectrale a priori. L'instrument MUSE [1], a été développé notamment pour faire face à ce défi.

En fonctionnement depuis 2014 au Very Large Telescope (VLT), Chili, et développé par un consortium européen initié par le Centre Recherche Astrophysiques de Lyon (CRAL) il s'agit d'un spectrographe 3D produisant des cubes hyperspectraux de 1 arcmin<sup>2</sup> et de 3600 longueurs d'onde dans le visible.

Une méthode de détection des halos d'hydrogène dans les données MUSE est ici proposée.

En considérant les positions des galaxies connues, on construit un dictionnaire de spectres de références à partir des pixels de la galaxie. On explore alors l'environnement spatial de la galaxie à l'aide d'une statistique de test dérivée du Spectral Angular Distance (SAD). Afin de détecter le halo, un test d'hypothèse est effectué, avec apprentissage de la loi  $H_0$  du bruit sur les données et avec un contrôle de type tests multiples par False Discovery Rate (FDR).

De plus une chaîne de prétraitements complexe a due être mise en oeuvre, notamment une méthode d'estimation robuste et adaptative afin de soustraire la ligne de fond des spectres pour ne conserver que les raies [2].

Cette méthode est en cours de validation par les astronomes du CRAL sur données réelles.

## Mots-clés :

Detection, Tests multiples, Estimation robuste, Astronomie

## Références

- [1] R Bacon, M Accardo, L Adjali, H Anwand, S Bauer, I Biswas, J Blaizot, D Boudon, S Brau-Nogue, J Brinchmann, et al., "The MUSE second-generation VLT instrument," in *SPIE Astronomical Telescopes+ Instrumentation*. International Society for Optics and Photonics, 2010, pp. 773508–773508.
- [2] Bacher R., Chatelain F., and Michel O., "An adaptive robust regression method : application to galaxy spectrum baseline estimation," *ICASSP*, 2016.

# A geometrical blind separation method for hyperspectral astrophysical images with unconstrained sum and pure pixels

SFPT-GH 2016

May 11-13, Grenoble, France

Axel Boulais, Yannick Deville and Olivier Berné

Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP)  
Toulouse University, UPS-OMP, CNRS  
Toulouse, France

Email : {axel.boulais, yannick.deville, olivier.berne}@irap.omp.eu

## Abstract

In astrophysics, hyperspectral images have become a common data type. For such data, each pixel is associated with an emission spectrum resulting from the mixture (which is assumed linear instantaneous) of the various components along the line of sight of the instrument. The study of the observed regions therefore involves the decomposition of the hyperspectral cube into a set of elementary spectra and associated abundance maps. Hyperspectral unmixing corresponds to a typical Blind Source Separation (BSS) problem, where the observed spectra, the elementary spectra and their associated abundance maps are respectively called, according to the BSS terminology, observations, mixing coefficients and sources.

Our work deals with a geometrical method for solving the hyperspectral unmixing problem in astrophysics. The method is based on a weak sparsity condition: for each source, there should exist at least one observed vector where only this source is non-zero. The method does not require but allows the sum-to-one constraint per pixel for the abundance maps. Considering each observed vector as an element of a vector space, the scatter plot of these vectors yields a simplicial cone. The identification of the edges of this simplicial cone provides an estimate of the scaled mixing coefficients. The observations being non-negative, our approach to find these edges is to successively identify the observed vectors which are furthest apart in the angular sense. The sources are finally reconstructed from the observed vectors and mixing coefficients with a non-negative least square algorithm. The proposed method, called MASS (Maximum Angle Source Separation), is effective for possibly correlated but linearly independent sources.

To evaluate the performance of our method, we conduct two types of experiments, one with synthetic data and the other one with real data. The different synthetic cubes are generated so as to simulate realistic spatial distributions of sources. Several sparsity factors are tested in order to evaluate the robustness of MASS to the presence of more or less pure pixels. Noise at several levels (between 10 and 30 dB to be consistent with astronomical observations) is also added to the data. The real data are from the Spitzer space observatory. The observed region is NGC7023-NW, a well studied reflection nebula.

The above tests on synthetic data show the efficiency of MASS despite a decrease of performance for a high noise level. The experiment on real data provides very similar results to those given by Non-negative Matrix Factorisation, allowing us to cross-validate the results of both methods, without ground truth. Furthermore, MASS is more attractive because it does not need to be initialized and yields a unique solution. The obtained results are encouraging and motivate us to continue this work by making the MASS method more robust to noise.

# Déconvolution distribuée pour les grandes images hyperspectrales en interférométrie radio

Céline Meillier\*, Pascal Bianchi\*, Walid Hachem\*

\*LTCI, CNRS, Télécom Paristech, Université Paris-Saclay, 75013 Paris

Avec le développement des nouveaux interféromètres radio tels que LOFAR (LOw Frequency Array) ou SKA (Square Kilometer Array), les données hyperspectrales produites par ces instruments sont toujours plus massives. Ils présentent un grand champ d'observation (plusieurs millions de pixels) sur une large gamme de fréquences du domaine radio (plusieurs centaines de bandes fréquentielles). Ces observations massives sont corrompues par du bruit et par la réponse impulsionnelle de l'instrument. Le développement d'algorithmes de déconvolution adaptés aux données de grande dimension fait l'objet de travaux récents autour des données LOFAR et SKA : [2] pour les images 2D ou [1] pour les images hyperspectrales.

La déconvolution des images hyperspectrales en interférométrie radio peut se formuler comme un problème d'optimisation dans lequel on introduit des contraintes de parcimonie sur les images (à fréquence fixée) dans le domaine des ondelettes et sur les spectres (à position spatiale fixée) dans la base de cosinus discret. La résolution du problème de déconvolution décrit dans [1] à l'aide des algorithmes d'optimisation classiques entraîne des problèmes de stockage des données et de coût de calcul.

Dans ces travaux, nous nous sommes intéressés à deux algorithmes d'optimisation : l'ADMM (alternating direction method of multipliers) et l'algorithme du gradient projeté dans l'espace dual. Pour le problème de déconvolution considéré, les opérations mises en oeuvre dans ces deux méthodes peuvent être parallélisées image par image ou spectre par spectre selon les termes. Cela nous a amené à proposer une implémentation de ces algorithmes sur un cluster de calcul avec une architecture distribuée originale. Les noeuds de calcul du cluster sont divisés en deux groupes : le premier regroupe les noeuds sur lesquels les opérations parallélisables image par image sont réalisées et le second regroupe les noeuds sur lesquels les opérations parallélisables spectre par spectre sont réalisées. Grâce à cette architecture, les données ne sont jamais intégralement chargées en mémoire par aucun des noeuds de calcul et les échanges entre les noeuds ont lieu de manière restreinte entre les noeuds des deux groupes.

Nous présenterons l'architecture distribuée ainsi que les performances des deux algorithmes ADMM et gradient projeté sur un jeu de données synthétiques.

## Références

- [1] A. Ferrari, J. Deguignet, C. Ferrari, D. Mary, A. Schutz, and O. Smirnov. Multi-frequency image reconstruction for radio interferometry. A regularized inverse problem approach. In *SKA Pathfinder Radio Continuum Surveys (SPARCS)*, 2015.
- [2] A. Onose, R. E. Carrillo, A. Repetti, J. D. McEwen, J.-P. Thiran, J.-C. Pesquet, and Y. Wiaux. Scalable splitting algorithms for big-data interferometric imaging in the SKA era. *arXiv preprint arXiv:1601.04026*, 2016.

# Inversions bayésiennes massives avec tables de données

François Andrieu<sup>1</sup>, Frédéric Schmidt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GEOPS, Univ. Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay, Rue du Belvédère, Bât. 509, 91405 Orsay, France

## Introduction

Un cube de données hyperspectrales peut contenir plus de  $10^5$  spectres, chacun échantillonnant plusieurs dizaines à centaines de longueurs d'ondes, comme c'est par exemple le cas pour les instruments CRISM et OMEGA, en orbite autour de Mars. Il est donc nécessaire d'adopter des stratégies d'inversion adaptées au traitement de cette quantité importante d'information. La méthode développée [1] s'appuie sur le formalisme mathématique bayésien et l'utilisation des tables de données, avec pour objectif de combiner la rapidité des techniques de recherche des plus proches voisins et l'exhaustivité propres aux techniques bayésiennes, notamment quant à la détermination des incertitudes.

## Méthode

On considère la mesure comme une information *a priori*  $\rho_D(d)$  sur la donnée, dans l'espace des observables  $D$ . On suppose que  $\rho_D(d)$  est une densité de probabilité gaussienne à  $N$  dimensions  $\mathcal{G}(d_{mes}, \overline{C})$ , de valeur moyenne  $d_{mes}$  et de matrice de covariance  $\overline{C}$ . L'état d'information *a priori* sur les paramètres  $m$  du modèle  $F$ , dans l'espace des paramètres  $M$  est indépendant de la donnée, et correspond à l'état d'information nulle  $\mu_D(d)$ . On considère donc une densité de probabilité (ou PDF)  $\rho_M(m)$  uniforme pour chacun des paramètres dans leur domaine de définition  $M$ . La PDF *a posteriori* dans l'espace des paramètres du modèle  $\sigma_M(m)$ , est alors définie d'après l'équation 1 [2, 3] :

$$\sigma_M(m) = L(m) k \quad (1)$$

avec

$$L(m) = \exp\left(-\frac{1}{2} \times (F(m) - d_{mes})^T \overline{C}^{-1} (F(m) - d_{mes})\right) \quad (2)$$

La constante  $k$  est ensuite ajustée pour normaliser cette PDF, qui constitue donc le résultat de l'inversion.

Une table de données synthétiques (LUT) est créée en parcourant l'espace des paramètres  $M$  de manière suffisamment fine pour ne pas altérer sa variabilité, chaque pas de ce maillage  $m_i$  représentant un jeu de paramètre du modèle. La LUT est donc constituée des  $F(m_i)$ . La vraisemblance pour chacun des éléments  $m_i$  de la LUT est estimée à l'aide de l'équation 2 et la solution de l'inversion est donc un échantillonnage de la PDF *a posteriori* définie précédemment.

## Validations numériques

Nous avons numériquement validé cette méthode d'inversion, en utilisant un modèle de transfert radiatif existant [4]. Pour cela, nous avons construit une base de données, ainsi qu'une collection de spectres synthétiques de paramètres connus et destinés à être inversés. Un bruit gaussien a ensuite été ajouté à ces spectres avant de tenter de les inverser. La figure 1 montre quatre exemples de PDF *a posteriori* pour quatre valeurs de paramètres (ici une épaisseur) à retrouver, avec un bruit important d'écart type correspondant à 5% de la valeur maximale du spectre. Nous avons pu montrer que les

incertitudes relatives sur les résultats augmentaient de manière cohérente avec le niveau de bruit. Les spectres générés pour cette étude contenaient entre 60 et 200 longueurs d'onde selon le test effectué.

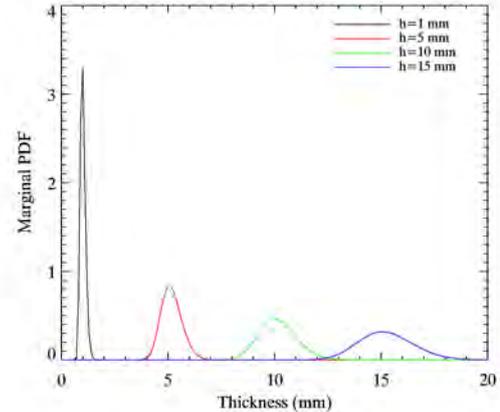


Figure 1 : Exemples de PDF *a posteriori*, en présence d'un bruit important. Les épaisseurs indiquées dans la légende correspondent aux valeurs simulées, et que l'on doit donc retrouver.

## Conclusion

La méthode d'inversion présentée permet d'obtenir extrêmement rapidement (temps d'inversion inférieur au centième de seconde par spectre pour cette étude) des résultats précis, avec des incertitudes réalistes sur les valeurs de paramètres estimées. Elle a été validée numériquement, et une étude précédente [1] avait permis de la valider expérimentalement. C'est donc une méthode d'inversion adaptée au traitement de données d'imagerie hyperspectrale. En particulier, cette démarche est adaptée à l'inversion de modèles directs complexes tels que des modèles de transfert radiatif, et peut donc être utilisée pour l'étude des surfaces par télédétection hyperspectrale, et sera prochainement appliquée massivement aux données de l'instrument OMEGA [5], avec pour objectif de suivre l'évolution des calottes saisonnières de glace de CO<sub>2</sub> sur Mars.

## Références

- [1] F. Andrieu, F. Schmidt, B. Schmitt, S. Douté, and O. Brisaud, "Radiative transfer model for contaminated slabs : experimental validations," *The Cryosphere Discussions*, vol. 9, no. 5, pp. 5137–5169, 2015.
- [2] A. Tarantola and B. Valette, "Inverse problems - quest for information," 1982.
- [3] K. Mosegaard and A. Tarantola, "Monte carlo sampling of solutions to inverse problems," *J. Geophys. Res.*, vol. 100, no. B7, pp. 12431–12447, 1995.
- [4] F. Andrieu, S. Douté, F. Schmidt, and B. Schmitt, "Radiative transfer model for contaminated rough slabs," *Appl. Opt.*, vol. 54, pp. 9228–9241, Nov 2015.
- [5] J.-P. e. a. Bibring, "OMEGA : Observatoire pour la Minéralogie, l'Eau, les Glaces et l'Activité," in *Mars Express : the Scientific Payload* (A. Wilson and A. Chicarro, eds.), vol. 1240 of *ESA Special Publication*, pp. 37–49, Aug. 2004.

**Hypsimars a tool to simulate multi-angular hyperspectral images for Martian 3D scenes.** S. Douté<sup>1</sup>, M. A. Veganzones<sup>2</sup>, and M. Dalla Mura<sup>2, 1</sup> Institut de Planétologie et d’Astrophysique de Grenoble (IPAG), Grenoble University, France (sylvain.doute@univ-grenoble-alpes.fr)<sup>2</sup>GIPSA-Lab, Grenoble University, France.

**Introduction:** We present a simulator of hyperspectral multi-angular images for 3D Martian scenes whose products are used to:

- Develop and test methods for correction of atmospheric and photometric effects on images
- Develop and test methods for linear and nonlinear spectral unmixing applied to hyperspectral images
- Understand 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 scales.

**Methods:** The simulator we propose generates a synthetic hyperspectral image for a given scene, for a given atmospheric condition, for a given « sensor », and for given geometrical conditions of observation. Firstly the scene is defined by maps of pure component abundances that are generated by a genetic algorithm reproducing some planetary transport and mixing processes for achieving a high degree of realism with fractal characteristics. The bidirectional reflectance of eight natural well-controlled samples of planetary interest was measured in the visible and infrared for a range of phase angles [10-130°] with a spectro-photo-goniometer in the laboratory. The experimental data are then fitted with the Hapke model to extract the corresponding spectrophotometric properties (single scattering albedo, phase function parameters and macroscopic roughness) [1]. In the simulation the components can coexist at two main sub-pixel scales: macroscopic (linear spatial mixing) and microscopic (non linear granular mixture). In the second case specific rules – derived from MonteCarlo numerical experiments [2] - are applied to the set of individual photometric properties for deriving those of the mixture. Note that spectrophotometric properties of varied Martian terrains, extracted from the processing of CRISM@MRO multi-angular sequences by our tool MARS-ReCO [3], can be also used at the macroscopic level. Secondly the scene is defined by a Digital Elevation Model from which maps of geometrical and illumination conditions are derived based on the sun elevation and northern azimuth and on real instrumental auxiliary data. The atmospheric condition is defined by an aerosol radiative model and an integrated aerosol optical thickness (AOT). The sensor is defined by the grid of sampled wavelengths and its spatial resolution. The calculation of the hyperspectral image is based on

(i) the Hapke model fed by the macroscopic spectrophotometric properties for computing the reflectance of the surface and (ii) a 3D surface-atmosphere radiative transfer scheme inspired by [4] for addressing environmental effects and the multiple scattering between the surface and the atmosphere. Given the intensity of necessary calculations to produce a typical hyperspectral image (600 by 400 pixels with 100 spectral channels), each wavelength is calculated separately on typically 50 cores of a cluster of workstations. The image is expressed in reflectance factor unit.

**Results:** series of synthetic images are produced to validate the direct simulation code and to perform a sensitivity analysis of the model regarding its different parameters.

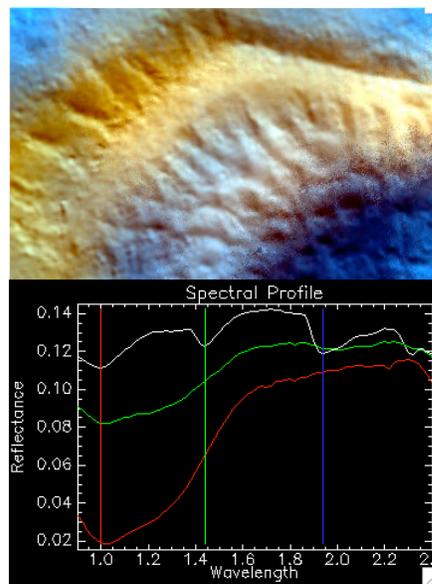


Figure 1 (top) composition in false colors corresponding to a synthetic hyperspectral image generated by Hypsimars. (bottom) a selection of 3 extracted spectra with the RGB channels used for the composition.

**References:** [1] Schmidt F. et al. (2015) *Icarus*, 260, 73-93. [2] Pilorget C. et al. (2015) *Icarus*, 250, 188-203. [3] Douté S. (2015) *proceedings IGARSS 2015*, doi 10.1109/IGARSS.2015.7325682. [4] Miesch C. et al. (2000) *Applied Optics*, vol 39, no 36, 6830-6846.

**Acknowledgments:** This work has been supported by a contract with PNTS, ANR (AAP Blanc 2012 Inter II - SIMI 5) and by a grant from Labex OSUG@2020 (Investissements d’avenir ANR10 LABX56).

# Détetion et suivi de panaches de gaz dans des séquences vidéo hyperspectrales infrarouges par démélange spectral

Delphine Pauwels<sup>1</sup>, Guillaume Tochon<sup>1</sup>, Mauro Dalla Mura<sup>1</sup>, Jocelyn Chanussot<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GIPSA-lab, Grenoble-INP, France.

## Résumé

La détection et le suivi de panaches gazeux revêtent d'une importance particulière pour plusieurs applications, telles que la surveillance de nuages de gaz polluants émis par des sources industrielles dans le domaine environnemental ou la détection d'armes chimiques dans le domaine de la défense et de la sécurité. Cependant, la plupart des gaz n'apparaissent pas directement visibles à l'oeil nu, mais répondent seulement dans une portion restreint du domaine infrarouge. Les capteurs hyperspectraux, aujourd'hui capable de produire des séquences d'images quasiment en temps réel, apparaissent comme les outils les plus adéquats pour répondre à ces problématiques. Les méthodes de l'état de l'art concernant la détection et le suivi de panaches de gaz dans des séquences hyperspectrales (voir par exemple [1] et [2]) ne fournissent qu'une information binaire sur la position du nuage. Nous introduisons ici une méthode de détection et de suivi basée sur des considérations de démélange spectral, fournissant une information sur la concentration du nuage en plus de sa localisation.

La méthode que nous proposons est décomposée en deux étapes, conduites de manière séquentielle sur chaque nouvelle frame de la séquence. Premièrement, une estimation de la position du nuage dans la frame courante est obtenue en combinant la position du nuage dans la frame précédente à une carte de changement entre ces deux frames successives. Cette dernière découle d'un test d'hypothèses appliqué sur la différence des cartes d'erreurs de reconstruction des deux frames consécutives, où les erreurs de reconstruction sont calculées vis-à-vis de pôles de mélange et d'abondances fractionnelles de référence, extraits sur une frame ne présentant que l'arrière-plan fixe de la scène. Dans une deuxième étape, un pôle de mélange est induit dans la région correspondant à la position estimée du nuage. Les abondances fractionnelles de ce pôle de mélange, ajouté à ceux de référence, sont ensuite classifiées par un vote majoritaire. La carte d'abondance correspondant au pôle de mélange du nuage fournit ainsi au final l'information sur la position et la concentration du nuage de gaz.

Les résultats de la méthode précédemment décrite sont présentés sur la figure 1 pour quelques frames d'une séquence présentant la diffusion d'un nuage d'acide acrylique. L'utilisation d'une vérité terrain (non présentée ici par manque de place) pour toutes les frames de la séquence confirme la consistance visuelle de ces résultats.

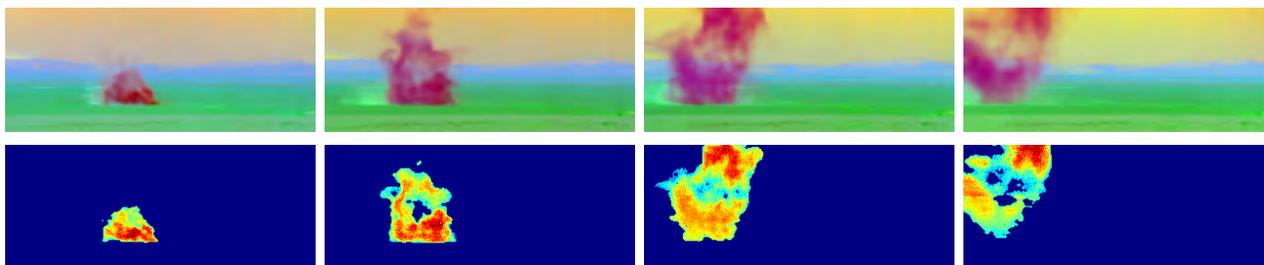


FIGURE 1 – Ligne du haut (de gauche à droite) : différentes frames de la séquence hyperspectrale. Ligne du bas : détection du gaz et concentration correspondante.

[1] Manolakis, D. G., Golowich, S. E., & DiPietro, R. S. *Long-wave infrared hyperspectral remote sensing of chemical clouds : A focus on signal processing approaches*. Signal Processing Magazine, IEEE, 31(4), 120-141. 2014.

[2] Hu, H., Sunu, J., & Bertozzi, A. L. *Multi-class graph Mumford-Shah model for plume detection using the MBO scheme*. In Energy Minimization Methods in Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 209-222). Springer International Publishing. 2015.

# Comparaison entre différentes approches basées sur le démélange spectrale pour l'estimation des cartes de couverture neigeuse

Théo Masson <sup>(1)</sup>, Mauro Dalla Mura <sup>(1)</sup>, Marie Dumont <sup>(2)</sup>, Jocelyn Chanussot <sup>(1,3)</sup>, Pascal Sirguey <sup>(4)</sup>

<sup>1</sup> GIPSA-lab, Grenoble-INP, Saint Martin d' Hères, France

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

<sup>3</sup> Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Iceland, Reykjavik, Iceland

<sup>4</sup> National School of Surveying, University of Otago,

GIPSA-lab, LTHE and MeteoFrance are part of Labex OSUG@2020 (ANR10 LABX56)

Ce travail est partiellement financé par le LabexOSUF@2020 (Investissements d'avenir – ANR10 LABX56), le Programme National de Télé-détection Spatiale (PNST), subvention n. PNTS-2016-03 et par le programme ARC 3 de la région Rhône-Alpes.

En utilisant les données en sortie du programme Modimlab [1] permettant une fusion des données de la plateforme satellitaire MODIS (produit final de 7 bandes avec une résolution de 250m), nous avons pu tester différentes solutions de compositions de signatures spectrales issues de l'algorithme VCA pour un démélange spectral de type FCLS. Ces différentes solutions produisant des résultats intéressants, mais difficilement comparables entre eux, un outil de comparaison a été construit, basé sur l'utilisation d'images SPOT hautes résolutions, comportant un produit neige binaire par pixel de 20m ou 10m de côté (SPOT4 et SPOT5 respectivement).

La comparaison construite s'appuie sur les différents types de données qui nous intéressent :

- l'erreur absolue entre les différents scénarios,
- l'écart absolu par classe d'enneigement du pixel considéré et la matrice de contingence associée,
- l'évaluation de la position de la ligne de neige (correspondant à la limite de 50% des pixels enneigés) associée à la distance de Hausdorff pour l'évaluation de la meilleure solution pour différents types d'utilisation du produit final.

Cet outil de comparaison, appliqué à nos différents scénarios, mais également aux différents produits neige du programme Modimlab, a permis de montrer l'intérêt du démélange spectral par rapport à la méthode conventionnelle du NDSI (rapport de différentes longueurs d'ondes) pour la génération du produit neige. Cet outil a également permis la correction de certaines limites inattendues dans Modimlab, tel que la sous-estimation de la couverture neigeuse dans les zones faiblement couvertes (0-15% de couverture neigeuse par pixel).

Les produits de démélange spectral étant, pour ce travail préliminaire, uniquement issus d'une part d'une méthode d'estimations des réponses spectrales des matériaux, et d'autre part d'une méthode de démélange spectral, de nombreuses expérimentations complémentaires sont en cours de réalisation pour une présentation des résultats en mai. Des comparaisons avec les différents produits neige issus d'autres équipes de recherche (Painter & al notamment) sont également envisagées pour un retour plus généraliste sur les performances de la méthode.

[1] Data used in this research were processed using MODImLAB, © Pascal Sirguey.

# MULTILINEAR SPECTRAL UNMIXING OF HYPERSPECTRAL MULTIANGLE IMAGES

*M. A. Veganzones<sup>a</sup>, J. Cohen<sup>a</sup>, R. Cabral Farias<sup>a</sup>, R. Marrero<sup>a,b</sup>, J. Chanussof<sup>a,c</sup> and P. Comon<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>GIPSA-Lab, St Martin d’Heres cedex, France

<sup>b</sup>Institut de Planetologie et d’Astrophysique de Grenoble (IPAG), St Martin d’Heres cedex, France

<sup>c</sup>Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Iceland, Iceland

## ABSTRACT

Spectral unmixing is one of the most important and studied topics in hyperspectral image analysis. By means of spectral unmixing it is possible to decompose a hyperspectral image in its spectral components, the so-called endmembers, and their respective fractional spatial distributions, so-called abundance maps. New hyperspectral missions will allow to acquire hyperspectral images in new ways, for instance, in temporal series or in multi-angular acquisitions. Working with these incoming huge databases of multi-way hyperspectral images will raise new challenges to the hyperspectral community. Here, we propose the use of compression-based non-negative tensor canonical polyadic (CP) decompositions to analyze this kind of datasets. Furthermore, we show that the non-negative CP decomposition could be understood as a multi-linear spectral unmixing technique. We evaluate the proposed approach by means of Mars synthetic datasets built upon multi-angular in-lab hyperspectral acquisitions.

***Index Terms***— Multilinear spectral unmixing, hyperspectral multiangle images, multiway analysis, Canonical Polyadic, nonnegative tensor decomposition.

---

This work has received funding from the European Research Council under the European Communitys Seventh Framework Programme FP7/2007-2013 Grant Agreement no. 320594, “DECODA”.

Authors would like to thank Prof. Pierre Beck and Prof. Sylvain Douté from IPAG for providing the Mars synthetic data.

# HYPERSPPECTRAL PANSHARPENING USING CONVEX OPTIMIZATION AND COLLABORATIVE TOTAL VARIATION REGULARIZATION

**Paolo Addesso, Mauro Dalla Mura, Laurent Condat, Rocco Restaino,  
Gemine Vivone, Jocelyn Chanussot**

## Hyperspectral Pansharpening: motivations

Optical remote sensing system, due to physical limitations, cannot have both high spatial resolution and high spectral diversity and a tradeoff exists between these two desired features.

The situation is even more critical for Hyperspectral (HS) images, in which there are hundreds of bands in the Visible Near-Infrared (VNIR) and Shortwave Infrared (SWIR) frequency range, but with a poor spatial resolution (typically above 10 m): the idea to fuse these image with Multispectral (MS) or Panchromatic (PAN) images, that have spatial resolution of few meter or less, is very attractive for several applications, such as fine classification, change detection and scene classification.

## Convex Optimization and Collaborative Norms

Variational techniques based on Convex Optimization, have been profitably used in recent years both for enhance the resolution of MS and HS images [2, 3]. In particular in [3] the so-called “HySure” method has been introduced, in which the dimensionality of HS image is reduced to have an efficient implementation and a regularization based on a particular form of Vectorial Total Variation (VTV) is performed, due to the ill-posed nature of the problem. The presented regularization, proposed in [4], is only one of the possibilities to deal with three-dimensional images. Indeed in [5] the concept of Collaborative Norms and of Collaborative Total Variarition (CTV) has been properly defined.

The norms operate on a three-dimensional matrix  $A = \{A_{i,j,k}\} \in R^{N \times M \times C}$ , where  $N$  is the number of the pixels,  $M$  is the number of directional derivatives and  $C$  is the number of the bands, and they have two main formulations:

- 1) That one based on the  $l^{p,q,r}$  norm:

$$\|A\|_{p,q,r} = \left( \sum_{i=1}^N \left( \sum_{j=1}^M \left( \sum_{k=1}^C |A_{i,j,k}|^p \right)^{q/p} \right)^{r/q} \right)^{1/r}$$

- 2) That one based on the so called Schatten –  $p$  norm (say it  $S^p$ ) applied to two dimension (usually derivative and spectra) and then the  $l^q$  norm for the third dimension, according to:

$$(S^p, l^q)(A) = \left( \sum_{i=1}^N \left\| \begin{pmatrix} A_{i,1,1} & \dots & A_{i,1,C} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{i,M,1} & \dots & A_{i,M,C} \end{pmatrix} \right\|_{S^p}^q \right)^{1/q}$$

The range of possibilities is wide, and the effectiveness of the most popular choices, such as the  $l^{2,2,1}$  norm (i.e. the VTV proposed in [4]) and the  $(S^1, l^1)$  norm (the well-known *nuclear norm*) is analyzed for the HS pansharpener problem.

### Results and Conclusions

We have analyzed the results obtained by the different versions of CTV on different datasets, by using the famous Wald protocol. Each of them shows the ability to reduce one or more of the quality indexes of the fused image (such as the spectral distortion or the richness in detail rendering). Therefore an extensive analysis on several datasets (both for MS and HS pansharpener) is needed to better characterize these norms and the situations in which is convenient to use each of them.

### References.

- [1] [L. Loncan](#), S. Fabre et al., "Hyperspectral Pansharpener: A Review", IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine (Vol. 3, Issue 3), pp. 27 – 46, September 2015.
- [2] X. He, L. Condat et al., "A New Pansharpener Method Based on Spatial and Spectral Sparsity Priors", IEEE Transactions on Image Processing (Vol. 23, No. 9), pp. 4160 – 4174, September 2014.
- [3] M. Simões, J. Bioucas-Dias et al., "A Convex Formulation for Hyperspectral Image Superresolution via Subspace-Based Regularization", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (Vol. 53, No. 6), pp. 3373 – 3388, June 2015.
- [4] X. Bresson and T. Chan, "Fast dual minimization of the vectorial total variation norm and applications to color image processing," Inverse Probl. Imag., vol. 2, no. 4, pp. 455–484, Nov. 2008.
- [5] J. Duran, M. Moeller et al. "[Collaborative Total Variation: A General Framework for Vectorial TV Models](#)", arXiv preprint arXiv:1508.01308, August 2015.

## Hyperspectral textured background modelling for anomaly detection

Authors : François Weber\* (Sagem – Groupe SAFRAN), Eric Moulines\*\* (CMAP), Sidonie Lefebvre\*\*\* (ONERA),  
Marc Bousquet\* (Sagem – Groupe SAFRAN), Nicolas ROUX\* (Sagem – Groupe SAFRAN)

\* SAFRAN-Sagem, 100 Avenue de Paris, 91300 Massy

\*\* CMAP UMR 7641 École Polytechnique CNRS, Route de Saclay, 91128 Palaiseau Cedex

\*\*\* ONERA - The French Aerospace Lab - 91761 Palaiseau

Keywords: hyperspectral, anomaly detection, texture modelling

### Abstract

We consider hyperspectral images that include many textured areas: bushes, foliage, mixes, etc... These highly textured backgrounds make one considers the spatial information in a background modelling in addition to the spectral information. Moreover we consider highly variable scenarios: changing weather, physical changes due to different seasons and illumination changes. Thus, *a priori* modellings are not suitable. For those reasons, we decided to model these natural backgrounds through GMRF models that adapt to hyperspectral imaging problems, do not need any *a priori* of the scenario and takes into account both spatial and spectral information.

Our GMRF model differs from the ones found in the literature [1,2] in the sense that we do not consider the texture constant across the spectrum; this model is called non-stationary GMRF. We use the conditional pseudo-likelihood estimator to estimate the GMRF statistical parameters.

In addition, we built an anomaly detector that uses the non-stationary GMRF background model and tested it on SAFRAN Sagem multispectral data. Our results are compared to the RX-AD [3]. An example of anomaly detection test realized on an image acquired in highly degraded weather conditions is shown in figure 1. The detection map obtained with our GMRF-RX AD appears less noisy than the RX ones and allows to distinguish the man-made object in the middle of the scene more accurately.

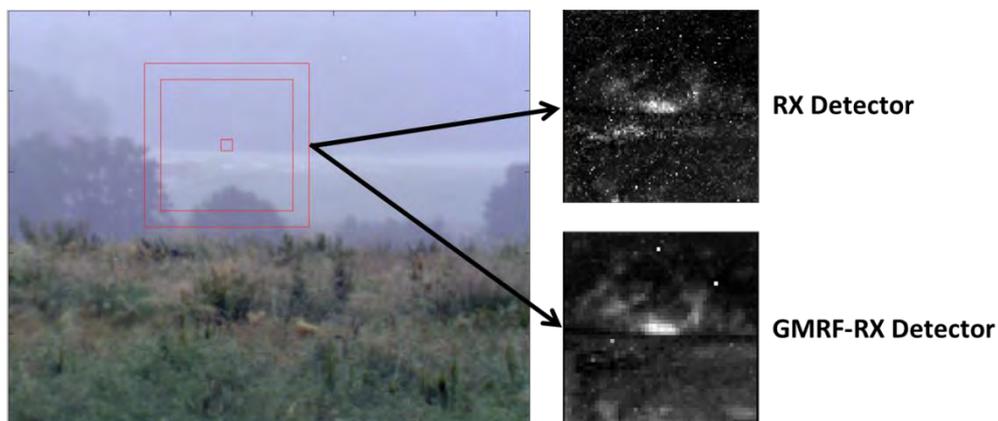


Figure 1: Hyperspectral Image and anomaly detection results for RX and GMRF-RX. Remark: highly degraded weather condition (Source : SAFRAN Sagem)

### References

- [1] G. Rellier and X. Descombes and F. Falzon and J. Zerubia (2002). Analyse de texture hyperspectrale par modélisation markovienne.
- [2] S. Schweizer and J. Moura. Hyperspectral imagery : Clutter adaptation in anomaly detection. Information Theory, IEEE Transactions on, 46(5) :1855\_1871, 2000.
- [3] I. Reed and X. Yu. Adaptive multiple-band cfar detection of an optical pattern with unknown spectral distribution. Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on, 38(10) :1760\_1770, 1990.

## **Cartographie des fonds marins à partir d'images hyperspectrales aériennes par correction de l'atténuation du signal du fond par la colonne d'eau**

A. Minghelli<sup>1</sup>, M. Guillaume<sup>2</sup>, Philippe Déliot<sup>3</sup>, Rodolphe Marion<sup>4</sup>, M. Peirache<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Université de Toulon, Seatech, LSIS UMR 7296, 83041 Toulon, France

<sup>2</sup> Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel UMR 7249, 13013 Marseille, France

<sup>3</sup> ONERA, 2 Avenue Edouard Belin, 31000 Toulouse

<sup>4</sup> CEA, <sup>4</sup> CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon Cedex, France

<sup>5</sup> Parc national de Port-Cros, Allée du Castel Sainte Claire, BP 70220, 83406 Hyères Cedex, France

Résumé : La cartographie des fonds marins est une des applications possibles de l'imagerie hyperspectrale. Mais la difficulté dans ce domaine est l'influence de la colonne d'eau qui atténue la réflectance des fonds et empêche de réaliser des classifications automatiques. Pour résoudre ce problème, une des approches consiste à « gommer » l'influence de l'atténuation de la colonne d'eau en estimant le coefficient d'atténuation de l'eau et la bathymétrie, puis à appliquer une classification automatique à partir d'une librairie spectrale. En 2013, des images HYSPEX ont été acquises sur l'île de Porquerolles et en 2015, nous avons acquis des spectres de différents types de fonds avec l'aide du Parc Régional de Port Cros. Dans notre exposé nous présenterons donc différentes méthodes mises en œuvre pour estimer le coefficient d'atténuation de l'eau, la bathymétrie, gommer l'atténuation de l'eau et classifier les différents types de fonds. Nous évaluerons aussi l'apport d'une connaissance *a priori* sur la bathymétrie. Ce travail permettra de comparer les cartes des fonds obtenues avec celles réalisées en 2000 sur la même zone à partir d'images aériennes CASI.

Merci à l'ONERA pour la campagne de données aéroportée de 2013 autour de Porquerolles, au CNES pour le financement du projet TOSCA HypMed, et au CEA pour la correction atmosphérique des images.

# HYEP: des bases de données spectrales à l'usage de la communauté

Projet ANR 14-CE22-0016-01/ TOSCA 2015 2016

<http://hyep.cnrs.fr/>

C Weber, S Zinko, T Lampert et P Gancarski

L'ANR HYEP a dans le cadre de son développement tenté de rassembler les informations concernant les diverses bases de données spectrales portant sur les systèmes urbains. A partir d'un état de l'art de la bibliographie, de visite de sites web et de l'étude des métadonnées associées aux diverses bases de données, une proposition d'harmonisation cohérente avec les catégories d'occupation du sol basée sur Corine Land Cover (2006-2012) a été mise au point. Ce faisant les données rassemblées sont très hétérogènes : contenu sémantique, temporalité, capteur, lieux de prise de mesures, type de mesures etc.

La réflexion a donc porté sur l'optimisation de l'usage de l'ensemble de ces informations d'une part en analysant la variabilité interne et externe des informations collectées et d'autre part en proposant un schéma conceptuel de BD permettant une meilleure structuration des informations recueillies et une facilitation des requêtes. Après avoir sollicité la permission aux auteurs des BD spectrales existantes une possibilité de cueillette des informations a été développée permettant ainsi de récupérer les informations existantes.

Sont en cours : l'analyse des variabilités au sein d'un même thème pour étudier les discriminations spécifiques liées aux différences de capteurs, de localisation ou de temporalité, ainsi que l'étude des variabilités spectrales selon les classes d'éléments urbains.

Un ensemble de quelques 6000 spectres pourra être interrogé et utilisé dans des applications d'apprentissage ou de classification au travers des travaux et de la plateforme d'interrogation développée dans le cadre des projets ANR et TOSCA.

## **Optimisation de la configuration d'un instrument superspectral aéroporté pour la classification en milieu urbain**

Arnaud Le Bris (IGN/SR, MATIS)  
Nesrine Chehata (EA 4592, G&E, ENSEGID-IB, Université de Bordeaux)  
Xavier Briottet (ONERA)  
Nicolas Paparoditis (IGN/SR, MATIS)

La description de l'occupation du sol permet de produire un certain nombre d'indicateurs environnementaux pour la gestion des écosystèmes et des territoires, en réponse à différents besoins sociétaux, réglementaires et scientifiques. Aussi, différentes bases de données décrivant l'occupation du sol existent à différents niveaux (mondial, européen, national, régional ou local) ou sont en cours de constitution, à l'instar de l'Occupation du Sol à Grande Echelle de l'IGN. Il est toutefois apparu que, dans les zones urbaines, la connaissance de l'occupation du sol nécessaire pour certaines applications de modélisation de la ville (simulateurs de micro-météorologie, d'hydrologie, ou de suivi de pollutions), voire de suivi réglementaire (imperméabilisation des sols) doit être plus fine (tant au niveau sémantique qu'au niveau spatial) que ce que contiendra cette base de données. Ainsi, la modélisation fine du milieu urbain nécessite pour certaines applications une connaissance géospatiale des matériaux en présence.

La télédétection apparaît comme la seule solution permettant de produire de telles cartes de matériaux. Néanmoins, du fait de la forte hétérogénéité des matériaux en présence, de leur importante variabilité, mais aussi des fortes ressemblances entre classes distinctes, les capteurs optiques multispectraux "classiques" (limités aux 4 canaux rouge - vert - bleu - proche infrarouge) ne sont pas suffisants pour les discriminer correctement. Un capteur plus riche spectralement, pourrait apporter une solution à cette limite. Ce travail s'est donc positionné dans l'optique de la conception d'un tel capteur superspectral aéroporté dédié à la classification des matériaux urbains. Des travaux d'optimisation spectrale ont donc été menés afin d'identifier de bonnes configurations spectrales (c'est-à-dire le nombre de bandes, leur position dans le spectre ainsi que leur largeur). Pour ce faire, des méthodes de sélection automatique d'attributs ont été mises en œuvre sur un jeu de données (correspondant à 9 matériaux urbains communs) généré à partir d'une collection de spectres de matériaux urbains réunie à partir de différentes bibliothèques spectrales (ASTER, MEMOIRES, ...).

Les résultats de cette optimisation spectrale, parmi lesquels la confirmation de l'apport de bandes issues du domaine de l'infrarouge onde courte (1400 - 2500 nm), seront présentés, ainsi que des exemples de résultats de classification sur les jeux de données du projet ANR HYEP.



**Title: Detection of the Flavescence dorée grapevine disease by hyperspectral imagery - Spectral signatures analysis and development of a specific vegetation index**

Sylvie Duthoit<sup>1</sup>, Mathieu Fauvel<sup>2</sup>, Anne Jacquin<sup>1</sup>, Johanna Albetis<sup>1</sup> and Eve Laroche-Pinel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Ecole d'Ingénieurs de Purpan, UMR 1201 DYNAFOR, France;

<sup>2</sup> Université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, UMR 1201 DYNAFOR, France.

The work addressed in that abstract concerns the early detection of diseases areas over vineyards - and more particularly the grapevine yellow disease *Flavescence dorée*- with hyperspectral imagery. *Flavescence dorée* is a serious phytoplasma-borne disease transmitted from one grapevine to another in the field by the leafhopper *Scaphoideus titanus*. The disease is widespread in many European countries which results in reduced vitality of vines, harvest losses, and reduced wine quality due to high acid and low sugar contents of fruit from infected plants. The main visible symptoms appear in the summer: The canes droop because of a lack of lignification in the new shoots, with the leaves curling downwards and becoming yellowish in white cultivars or reddish in red ones. The intensity of the coloration is variable and may affect the entire grapevine, only one shoot or a small number of shoots. Over a vineyard, only one grapevine can be affected but the disease sometimes affect more than 70% of the vineyard. For all these reasons, using remotely-sensed data to detect the *Flavescence dorée* symptoms remains challenging. Therefore, spatial resolution of data used must be adapted to detect one plant over the entire field, to detect different intensity of the disease over a plant, and spectral resolution must cover the spectral bands useful to discriminate healthy leaves from leaves affected by the disease.

The study site is centered over the Gaillac vineyard (around 100km North-East of Toulouse). 10 fields showing the *Flavescence dorée* symptoms were selected (4 in white cultivars and 6 in red cultivars). Ground truth data consisting in leaves spectral signatures acquired with a field spectroradiometer 300-2500 nm, disease severity and leaves chlorophyll content were acquired in September 2015 simultaneously to imagery (hyperspectral from aerial camera and in the visible and near infrared domain from UAV and satellite sensors). These data will help to reach the following three main objectives:

- 1) To analyze the existence of specific spectral signatures for healthy and sick leaves according to the grape (white or red) from the leaves reflectance collection and to select the spectral bands that better discriminate the vine disease;
- 2) To propose a spectral index derived from hyperspectral data that could be used to detect the symptoms of the *Flavescence dorée*. This index can correspond to a combination or a ratio of spectral bands;
- 3) To evaluate the reliability of this new spectral index to detect the symptoms of the *Flavescence dorée* in the context of our study, compared to other indexes already used to detect plant diseases.

First classifications results will be presented: classifications will be performed with the entire dataset but also taking into account the specificity of the spectral signature for each grapevine cultivar (red cultivars/white cultivars or each cultivar independently).

# Vers la classification automatisée d'une grande diversité d'espèces d'arbres en milieu urbain européen orientée pixel à partir de données hyperspectrales

Josselin Aval, Sophie Fabre, Xavier Briottet, Emmanuel Zenou, David Sheeren, Mathieu Fauvel

24 février 2016

**Mots clés : télédétection, hyperspectral, urbain, végétation, spéciation**

**Résumé** Aujourd'hui, la cartographie des arbres / arbustes, de leurs espèces et de leurs états de santé en milieu urbain constitue un enjeu important dans le cadre des domaines publics (État, collectivités locales, etc.), institutionnels (IGN, ONF, CNPF, etc.) ou privés (grands domaines). En effet, la végétation urbaine a un rôle écologique dans les problématiques environnementales actuelles (îlot de fraîcheur, purification de l'air, biodiversité, etc.) [1]. L'accès à ces informations se fait en général manuellement par photointerprétation associée à des relevés de terrain. Cela est long, fastidieux, couteux en termes de moyens humains, mais aussi difficilement généralisable et actualisable sur de larges échelles. Pour la problématique de spéciation, la télédétection semble prometteuse pour fournir de telles informations sur de grandes surfaces [2]. Un enjeu scientifique notable est la classification automatisée d'une grande diversité d'espèces d'arbres en milieu urbain européen.

Notre cas d'étude est la ville de Toulouse. Nous disposons d'un jeu de données aéroportées hyperspectrales, panchromatiques et LiDAR obtenu en collaboration avec l'ONERA, l'IGN et Toulouse Métropole en 2014 et 2015 :

- Hyperspectral : 408 bandes spectrales de 0.4  $\mu\text{m}$  à 2.5  $\mu\text{m}$ , 1.6 m de résolution spatiale, renseigne sur la signature spectrale des éléments de végétation.
- Panchromatique : 14 cm de résolution spatiale, fournit une information spatiale et plus précisément renseigne sur la texture des couronnes d'arbres.
- LiDAR (Light Detection And Ranging) : MNS (Modèle Numérique de Surface) de résolution spatiale de 12.5 cm et 20 cm de résolution en hauteur, renseigne sur la hauteur des arbres et leurs formes.



FIGURE 1 – Données hyperspectrales, panchromatiques et LiDAR (place Wilson à Toulouse)

En parallèle, une base de références qui contient la délimitation des couronnes ainsi que les espèces est construite manuellement à partir de relevés de terrain sur la ville de Toulouse au niveau de la zone où le jeu de données a été acquis.

Cet article concerne l'évaluation de méthodes de classification orientée pixel des espèces d'arbres, avec ou sans réduction de dimension. En particulier :

- i Des méthodes de classification (ML (Maximum Likelihood), SVM (Support Vector Machine), méthodes basées sur le SAM (Spectral Angle Mapper), etc.) [3] et de réduction (PCA (Principal Component Analysis), MNF (Minimum Noise Fraction), etc.) [4] couramment utilisées dans la littérature seront décrites et appliquées au jeu de données afin de comparer leurs performances.
- ii De plus, le potentiel des données hyperspectrales sera mis en avant par comparaison entre les résultats obtenus et la carte de références.

## Références

- [1] Michael Alonzo, Bodo Bookhagen, and Dar A Roberts. Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion. *Remote Sensing of Environment*, 148 :70–83, 2014.
- [2] Matthew L Clark, Dar A Roberts, and David B Clark. Hyperspectral discrimination of tropical rain forest tree species at leaf to crown scales. *Remote sensing of environment*, 96(3) :375–398, 2005.
- [3] Jean-Baptiste Féret and Gregory P Asner. Tree species discrimination in tropical forests using airborne imaging spectroscopy. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 51(1) :73–84, 2013.
- [4] Fabian E Fassnacht, Carsten Neumann, Michael Forster, Henning Buddenbaum, Aniruddha Ghosh, Anne Clasen, Pawan Kumar Joshi, and Barbara Koch. Comparison of feature reduction algorithms for classifying tree species with hyperspectral data on three central european test sites. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, 7(6) :2547–2561, 2014.

---

# Contours actifs sur graphe pour la segmentation d'images hyperspectrales

Kaouther Tabia<sup>1</sup>, Xavier Desquesnes<sup>1</sup>, Yves Lucas<sup>1</sup>, Sylvie Treuillet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire PRISME, Université d'Orléans 12 rue de Blois, 45 067 Orléans, France

kaouther.tabia@univ-orleans.fr

Les capteurs hyperspectraux sont capables de détecter des centaines de bandes spectrales très fines dans la portion visible et infra-rouge du spectre des ondes électromagnétiques. Ceci rend les images hyperspectrales plus informatives comparées aux images RGB. Cependant, la grande dimensionnalité des images hyperspectrales complique leur traitement et rend difficile l'application des algorithmes classiques de traitement et d'analyse d'images notamment en ce qui concerne les approches de segmentation.

Les méthodes basées graphes [1], qui considèrent une image comme un graphe pondéré, permettent de s'affranchir de cette limitation et ainsi d'appliquer des traitements usuels aux images hyperspectrales grâce à l'utilisation simultanée d'informations spatiales et spectrales. En effet, sous forme de graphe, chaque pixel est représenté par un ou plusieurs nœuds du graphe qui peuvent être connectés à leurs voisins, tant sur le plan spatial que spectral. L'utilisation combinée des informations spatiales et spectrales a déjà été utilisée dans [2], sans l'utilisation de graphe, et a démontré son efficacité. Nous pouvons également citer l'utilisation des graph cuts pour la segmentation d'images hyperspectrales [3].

Cette dernière décennie a vu le développement des méthodes variationnelles sur graphe, permettant d'adapter ou transposer aux graphes des méthodes issues du traitement des images. Nous pouvons citer l'adaptation du p-Laplacien ou encore d'opérateurs de morpho-maths pour la régularisations [4].

Dans ce cadre, nous proposons une nouvelle méthode de segmentation d'images hyperspectrales inspirée du modèle de contour actif proposé par Chan et Vese [5], et basée sur le formalisme discret des EdPs sur graphe [6].

Cette méthode reprend l'adaptation de l'approche par ensembles de niveaux pour la propagation d'un front sur graphe et l'étend à la propagation simultanée de plusieurs fronts.

Concrètement, chaque contour est représenté comme une combinaison de fonctions d'ensembles de niveaux  $\phi_n$ , dont le niveau 0 correspond à la position d'un front et dont l'évolution est contrôlée par l'EdP (1) :

$$\phi_n^{t+1} = \phi_n^t + \|\nabla \phi_n^t\| \times F \quad (1)$$

$\nabla$  est un opérateur de gradient pondéré sur graphe et  $F$  est une fonction contrôlant l'évolution des fronts (vitesse et direction).

Des résultats applicatifs sur des images réelles hyperspectrales seront présentés :



Fig. 1: Différentes bandes d'une image hyperspectrale.

- 
- d'une part issus de données médicales, capturées par un prototype développé au laboratoire [7] pour la visualisation de tissus vitaux en chirurgie [8].
  - d'autre part issus de bases d'images hyperspectrales, faisant référence en télé-détection.

## RÉFÉRENCES

- [1] S. Jouili and S. Tabbone, "Applications des graphes en traitement d'images," in *International Conference on Relations, Orders and Graphs : Interaction with Computer Science-ROGICS'08*, pp. 434–442, 2008.
- [2] M. Fauvel, J. A. Benediktsson, J. Chanussot, and J. R. Sveinsson, "Spectral and spatial classification of hyperspectral data using svms and morphological profiles," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 46, no. 11, pp. 3804–3814, 2008.
- [3] D. B. Gillis and J. H. Bowles, "Hyperspectral image segmentation using spatial-spectral graphs," in *SPIE Defense, Security, and Sensing*, pp. 83901Q–83901Q, International Society for Optics and Photonics, 2012.
- [4] A. Elmoataz, O. Lezoray, and S. Bougleux, "Nonlocal discrete regularization on weighted graphs : a framework for image and manifold processing," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 17, no. 7, pp. 1047–1060, 2008.
- [5] L. A. Vese and T. F. Chan, "A multiphase level set framework for image segmentation using the mumford and shah model," *International journal of computer vision*, vol. 50, no. 3, pp. 271–293, 2002.
- [6] X. Desquesnes, A. Elmoataz, and O. Lezoray, "Pdes level sets on weighted graphs," in *Image Processing (ICIP), 2011 18th IEEE International Conference on*, pp. 3377–3380, IEEE, 2011.
- [7] D. Nouri, Y. Lucas, and S. Treuillet, "Calibration and test of a hyperspectral imaging prototype for intra-operative surgical assistance," in *SPIE Medical Imaging*, pp. 86760P–86760P, International Society for Optics and Photonics, 2013.
- [8] D. Nouri, Y. Lucas, and S. Treuillet, "Infrared hyperspectral imaging for enhanced tissue visualization and discrimination during surgical operation," in *Image Processing (ICIP), 2014 IEEE International Conference on*, pp. 5137–5141, IEEE, 2014.

## A NEW IMAGE OF WHEAT CELL WALLS REVEALED THROUGH MASS SPECTROMETRY IMAGING

Audrey Geairon, Dušan Veličković, Fabienne Guillon, Luc Saulnier, Hélène Rogniaux

INRA, Unité BIA, rue de la Géraudière, 44316 Nantes, France

Although cell walls account only for 2-4% of dry weight in the wheat endosperm, they influence significantly the functional properties of the grain as well as its development. Main components of wheat cell walls are arabinoxylans (AX) and  $\beta$ -glucans (BG). There is therefore a deep interest to develop methods able to monitor the time and space variations of these two polysaccharides within the grain endosperm. To address this issue, imaging of wheat endosperm cell walls by mass spectrometry (MS) was developed in this work. Time-course distribution of AX and BG during wheat grain development showed a clear distribution of both polysaccharides in the peripheral tissues of the endosperm at young stages, while they are distributed evenly in the endosperm at mature stages. This reproduces simply and directly some known information, but obtained at the cost of tedious experiments. More interestingly, MS imaging revealed new structural characteristics of these polysaccharides, in particular subtle chemical changes undergone during development. A strong acetylation of AX was detected specifically in the young stages, which may significantly impact the mechanical properties of the walls. Also, a different localization of the AX according to the degree of arabinosyl substitution onto the xylosyl backbone was found. The substitution of AX by ferulic acids was also observed to exhibit a specific spatial and temporal distribution. In conclusion, this work has demonstrated the utility of imaging by MS to investigate complex structures such as plant cell walls. The method appeared as complementary to other imaging techniques by microscopy or micro-vibrational spectroscopy. It provides unique information about the fine structure of the polysaccharides composing the cell walls and their specific distribution, thereby opening the way to new structural insights of these complex systems.

# Segmentation d'images multispectrales par une méthode de k-means multi-échelle

Corcel M<sup>1</sup>, Barron C<sup>2</sup>, Guillon F<sup>1</sup>, Devaux M-F<sup>1</sup>

E-mail: [mathias.corcel@nantes.inra.fr](mailto:mathias.corcel@nantes.inra.fr), [marie-francoise.devaux@nantes.inra.fr](mailto:marie-francoise.devaux@nantes.inra.fr)

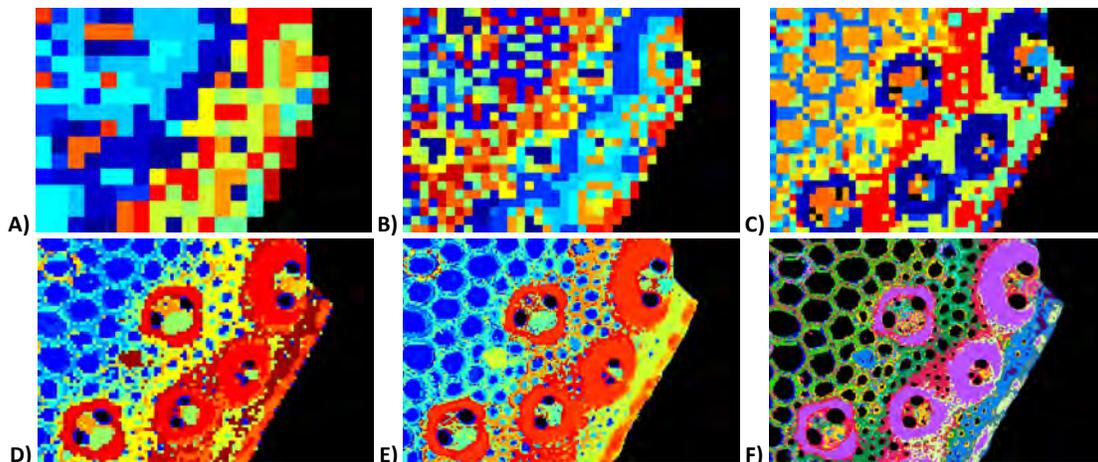
1 UR 1268 BIA, INRA, Rue de la Géraudière, 44 316 Nantes, France

2 UMR 1208 IATE, INRA, 2 Place Pierre Viala, 34 000 Montpellier, France

Les équipements récents d'imageries multispectrales en épifluorescence permettent d'acquérir des images de manière simple, rapide et efficace. Les images multispectrales peuvent être combinées pour former des mosaïques plus larges pouvant inclure plusieurs millions de pixels. Les méthodes usuelles d'analyse d'image ne permettent pas d'analyser la totalité du large volume de données d'un ensemble d'images mosaïques multispectrales, dans le but, par exemple, de comparer des échantillons en prenant compte de la variabilité statistique. Dans le but de segmenter les images, nous proposons de combiner des méthodes de classification et une représentation multi-échelle des images obtenue en utilisant des pyramides d'images. Des pyramides moyennes et l'algorithme de classification k-means ont été implémentés de la manière suivante :

- 1) Calcul de l'image à la plus basse résolution au niveau  $r$
- 2) Classification k-means sur cette image
- 3) Sélection de  $n$  pixels représentatifs de chaque cluster
- 4) Expansion des pixels correspondants dans le niveau  $r-1$  de la pyramide
- 5) Répétition des étapes 2 à 4 jusqu'à la résolution d'origine

Le potentiel de la méthode est montré sur une image mosaïque multispectrale de coupe transversale de tige de maïs montrant les différences d'autofluorescence des tissus observés avec 4 conditions différentes d'excitation.



Extraits de l'image segmentée à chaque niveau de résolution de l'algorithme de classification.

Niveaux de pyramide : A: 1/32; B: 1/16; C: 1/8; D: 1/4; E: 1/2; F: résolution d'origine.

Champ de vue : 1.1 x 0.8 mm<sup>2</sup> - 430 x 280 pixels à la résolution d'origine

# Segmentation hiérarchique d'images multimodales hyperspectral/LiDAR

Guillaume Tochon<sup>1</sup>, Mauro Dalla Mura<sup>1</sup>, Miguel Angel Veganzones<sup>1</sup>, Jocelyn Chanussot<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GIPSA-lab, Grenoble-INP, France.

## Résumé

Les hiérarchies de partitions sont des outils puissants communément utilisés pour l'analyse et la segmentation d'images, puisqu'ils s'accrochent de la nature multi-échelle intrinsèque de ces images. En revanche, le traitement d'images multimodales (plusieurs images de la même scène, acquises avec différents capteurs) par les méthodes hiérarchiques reste délicat puisque la fusion de multiples représentations hiérarchiques est encore un problème ouvert. Les tresses de partitions ont récemment été introduites comme une généralisation des hiérarchies de partitions et une possible solution à ce problème de fusion, mais n'ont jamais été implémentées dans un cas pratique.

Nos contributions sont les suivantes : premièrement, nous montrons que ces structures de tresses de partitions apparaissent effectivement comme des représentations hiérarchiques pour les images multimodales. En effet, elles permettent de mettre en exergue à la fois l'information redondante aux différentes modalités de l'image multimodale, mais également l'information apparaissant comme complémentaire entre ces modalités. La création d'une tresse de partition à partir de multiples hiérarchies indépendantes étant fortement contrainte par la définition même de la structure de tresse, nous proposons une procédure itérative permettant de réaliser cette construction en se basant sur deux hiérarchies indépendantes. La tresse de partition finalement créée, nous proposons d'utiliser une méthode de minimisation énergétique (de type Mumford-Shah) pour en extraire une partition optimale vis-à-vis des modalités de l'image multimodale.

Nous appliquons la méthodologie proposée sur un jeu de données multimodal hyperspectral/LiDAR, acquis en milieu urbain. Les résultats, présentés par la figure 1, démontrent l'intérêt de la méthode : par rapport aux approches marginales (ne tenant compte que des spécificités d'une seule modalité), la segmentation issue de la tresse a tiré profit de la redondance et de la complémentarité entre les modalités hyperspectrales et LiDAR, en particulier dans les régions où les approches marginales ne permettent pas une délimitation précise des différentes régions sémantiques (par exemple lorsque deux régions adjacentes ont la même hauteur mais des propriétés spectrales différentes, ou inversement, les mêmes constituants mais des hauteurs différentes).

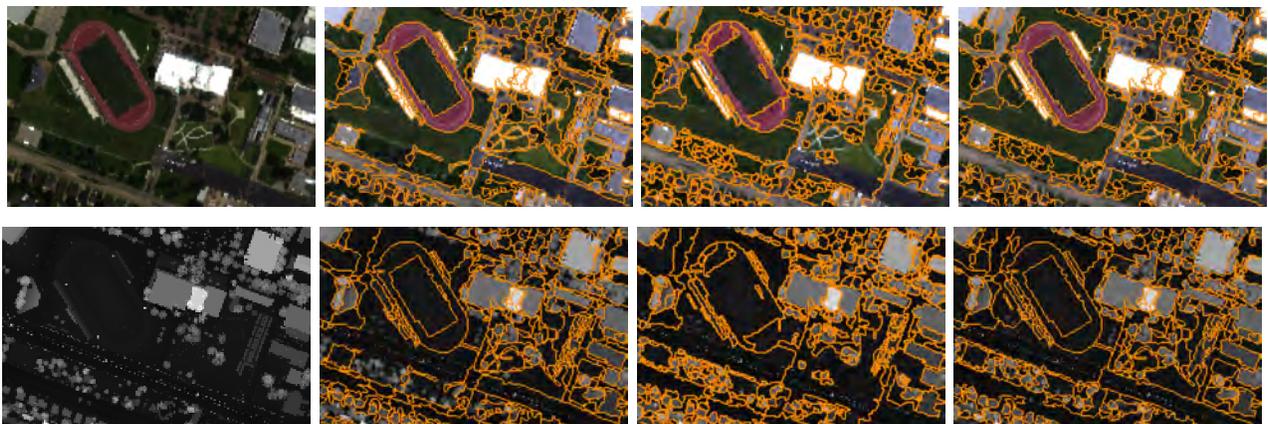


FIGURE 1 – ligne du haut (de gauche à droite) : composition RVB de l'image hyperspectrale, segmentation marginale optimale hyperspectrale, segmentation marginale optimale LiDAR, segmentation optimale de la tresse. Ligne du bas : Idem sur le LiDAR.

## Factorisation en matrices non-négatives pour le démélange hyperspectral non supervisé

Charlotte Revel 1,2 , Yannick Deville 1 , Véronique Achard 2 , Xavier Briottet 2 1  
Université de Toulouse, IRAP, 2 ONERA Toulouse

Dans le domaine de l'imagerie hyperspectrale, les méthodes de démélange sont souvent utilisées pour analyser la composition des pixels. De telles méthodes supposent habituellement qu'une unique signature spectrale, appelée pôle de mélange ou endmember, peut être associée à un matériau pur dans la scène. Une telle hypothèse n'est plus valide pour les matériaux qui présentent de la "variabilité intra-classe". Cette variabilité peut être due: aux conditions d'illumination, à l'usure des matériaux, aux variations de composition chimique. Nous proposons une nouvelle méthode basée sur l'hypothèse de mélange linéaire et qui prend en compte la variabilité intra-classe. Pour cela, il a fallu développer un nouveau modèle de mélange. Dans ce modèle nous introduisons non seulement un facteur d'échelle entre les spectres représentant un matériau, comme le font certains modèles récemment développés, mais aussi d'autres types de variations. A présent, un matériau pur n'est plus caractérisé par un unique spectre sur toute l'image, mais par un jeu de spectres (1 spectre par pixel). Une méthode a été développée pour effectuer le démélange en utilisant ce nouveau modèle. Elle se base sur le principe des méthodes de factorisation en matrices non-négatives (NMF). Cette nouvelle méthode, appelée IP-NMF (Inertia-constrained Pixel by pixel NMF), a été testée sur des données semi-synthétiques afin d'étudier l'impact des différents paramètres. Ces données semi-synthétiques sont construites à partir de spectres extraits d'une image hyperspectrale. Ils décrivent donc de manière pertinente le type de variabilités que l'on peut observer dans des images "réelles". On démontre par ces tests l'intérêt de la prise en compte de la variabilité intra-classe et de notre méthode de démélange.

## Camera Hyperspectrale SIGAL : See and Identify GAs Leaks

Julien Rannou et Le Brun Gay

Paramount Advanced Technologies SAS, Aix en Provence

Paramount Advanced Technologies SAS Imagine, conçoit, prototype et fabrique des équipements et des solutions photoniques dédiées à la surveillance et à la métrologie notamment le système SIGAL de détection de fuites de gaz à distance. Quel que soit le type d'application : Sécurité, Surveillance de l'environnement, protection contre les accidents chimiques industriels, prévention, ces applications demandent des capteurs avec des fonctionnalités et des performances accrues. Les imageurs infrarouge hyperspectraux développés et commercialisés par Paramount Advanced Technologies mettent en oeuvre une technologie innovante pour fournir des solutions sans précédents dans la détection de gaz à distance. Depuis 2001, ATE et maintenant Paramount Advanced Technologies développent et commercialisent des capteurs hyperspectraux utilisant l'imagerie infrarouge passive pour détecter des nuages de gaz en mesurant l'énergie collectée depuis la scène dans le domaine spectral infrarouge. Depuis le début du développement, de nombreuses contraintes ont été prises en compte : Le système a comme cible le marché civil, un nombre important de gaz différents peut être détecté, des technologies fiables et bas coût (infrarouge non refroidi en bande LWIR) ont été utilisées, la possibilité d'intégrer le système dans un petit porteur (drone, avion léger ou hélicoptère) a été envisagée dès les premiers équipements. La détection à distance, l'identification, la quantification, la localisation et la visualisation de produits chimiques à l'état gazeux, sont des besoins essentiels dans de nombreux secteurs de l'industrie. L'imagerie hyperspectrale offre des capacités incomparables pour répondre aux besoins de ces différents marchés.

## Impact of the spectral resolution of VNIR/SWIR imaging sensors on clay content prediction

Gomez<sup>1</sup> C., Adeline<sup>1</sup> K., Bacha<sup>2</sup> S., Driessen<sup>1</sup> B., Lagacherie<sup>3</sup> P., Briottet<sup>4</sup> X.

<sup>1</sup> IRD, UMR LISAH (INRA-IRD-SupAgro), F-34060 Montpellier, France

<sup>2</sup> CNCT, Tunis, Tunisia

<sup>3</sup> INRA, UMR LISAH (INRA-IRD-SupAgro), F-34060 Montpellier, France

<sup>4</sup> ONERA, The French Aerospace Lab, 31055 Toulouse, France

### Abstract:

Visible and near-infrared (VNIR, 400-1000 nm) and short-wave infrared (SWIR, 1000-2500 nm) hyperspectral satellite imaging is one of the most promising tools for soil property mapping because i) it is derived from a laboratory technique that has proven to be a good alternative to costly physical and chemical laboratory soil analysis for estimating a large range of soil properties (e.g., clay, organic matter, iron...) and ii) it can benefit from the increasing number of methodologies developed for VNIR-SWIR hyperspectral airborne imaging. Despite the great potential of VNIR/SWIR hyperspectral airborne data for soil property mapping, the transposition to satellite data must be evaluated. The objective of this study was to test the sensitivity of soil property prediction results to degradation in image spectral resolutions. This may offer a first analysis of the potential of future hyperspectral satellite sensors (HYPXIM or ENMAP) and multispectral sensors (SENTINEL-2 or LANDSAT-8) for Soil applications.

This study used VNIR/SWIR AISA-DUAL hyperspectral airborne data acquired in the Mediterranean region over a large area (300 km<sup>2</sup>) with an initial spectral resolution around 5 nm and a spatial resolution of 5 m. Ten simulations of spectral configurations were constructed, which can be divided in the following two groups: 1) 6 artificial sensors with regular spectral ranges from 5 nm to 200 nm (i.e., the FWHM remains constant throughout the VNIR and SWIR) and 2) 4 existing multispectral sensors with irregular spectral ranges: ASTER, SENTINEL-2, LANDSAT-7 and LANDSAT-8. The predicted soil property maps were obtained using the partial least squares regression method, and the studied soil property was the clay content.

Our results showed that (i) simulated artificial sensors with regular spectral resolutions from 5 to 100 nm provide similar and good clay content prediction performances; (ii) simulated artificial sensor with regular spectral resolution of 200 nm provides clay content poor prediction performance; (iii) simulated ASTER and Sentinel 2 sensors provided correct performances.

*This research was granted by the TOSCA-CNES project « MiHySpecSol - Mission HYPXIM : Impact de la résolution Spectrale pour la cartographie des propriétés pérennes des Sols en milieu Méditerranéen » (2014-2015).*

## Discrimination d'argiles à partir de mesures hyperspectrales de laboratoire

E. Ducasse<sup>1,2</sup>, R. Oltra-Carrió<sup>2</sup>, A. Hohmann<sup>3</sup>, A. Bourguignon<sup>3</sup>, X. Briottet<sup>2</sup>, G. Grandjean<sup>3</sup>

<sup>1</sup> - Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées, 41 Allées Jules Guesde - CS 61321 - 31013 Toulouse Cedex 6, France

<sup>2</sup> - ONERA – DOTA/POS, 2 Avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse Cedex 4, France

<sup>3</sup> - BRGM – DRP/RIG, 3 avenue Claude Guillemin, 45060 Orléans Cedex 2, France

**Mots clés : imagerie hyperspectrale, retrait-gonflement des argiles, argiles minéralogiques**

Le retrait-gonflement des sols argileux engendre un tassement différentiel qui entraîne de nombreux sinistres sur le bâti. Ce phénomène se produit sur certains sols argileux en période de sécheresse. Les minéraux argileux, ou phyllosilicates, se forment dans les sols par l'altération de la roche-mère. Tous les phyllosilicates ne participent pas de la même façon au retrait-gonflement des sols. La smectite est l'une des argiles la plus sensible à ce phénomène, par rapport aux autres types d'argiles, comme l'illite ou la kaolinite [1].

Plusieurs études [2], [3] ont mis en évidence l'intérêt d'utiliser la spectroscopie dans le domaine réflectif (0,4 - 2,5  $\mu\text{m}$ ) pour discriminer les argiles à partir de mesures effectuées en laboratoire sur des échantillons secs. L'utilisation de la spectro-imagerie dans le système Terre-Atmosphère se heurte à plusieurs difficultés : présence de l'atmosphère, présence d'humidité dans les sols [1], de matière organique carbonée [1], de végétation verte...

Le travail présenté porte sur l'identification des argiles, quand celles-ci sont incluses dans différents mélanges minéralogiques. Pour cela, des images hyperspectrales ont été acquises en laboratoire sur différents mélanges de minéraux argileux purs, avec des caméras HYSPEX, à une résolution spatiale de 0,375 mm dans le VNIR et de 0,75 mm dans le SWIR. Cinquante-cinq échantillons ont ainsi été préparés à partir de différentes concentrations de minéraux argileux purs d'illite, kaolinite et montmorillonite (smectite), mais aussi avec du sable de Fontainebleau (silice > 90%). Les échantillons ont été placés dans des bacs de 20 cm de côté afin de couvrir le champ de vue de nos caméras hyperspectrales HYSPEX.

Les résultats présentés se focalisent sur l'étude de la variabilité spatiale des spectres sur chaque échantillon, ainsi que l'étude des performances moyennes des méthodes de démixage standards pour discriminer les argiles et leur abondance à la résolution d'origine des images et à des résolutions dégradées (jusqu'à 15 cm).

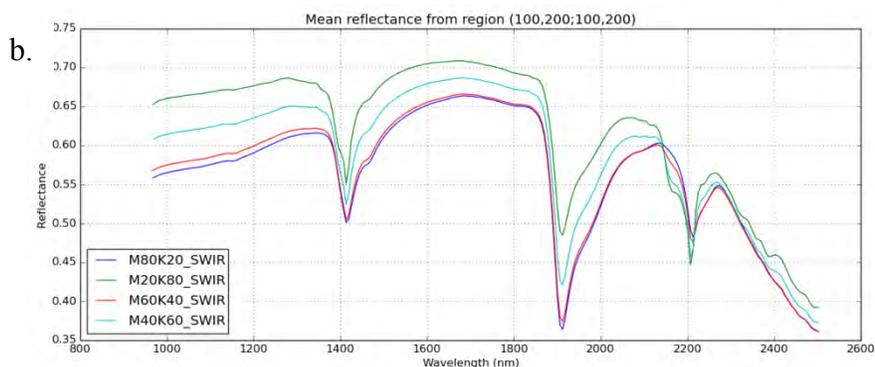
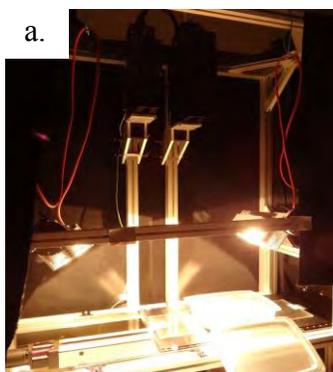


Fig.1 : a. Banc de mesure avec caméras hyperspectrales b. Spectres de réflectance de mélanges de Montmorillonite (Smectite) et Kaolinite. Données Hypspx Novembre 2015, ONERA

## **Bibliographie**

- [2] P. C. Kariuki, T. Woldai, F. V. D. Meer, « Effectiveness of spectroscopy in identification of swelling indicator clay minerals », *Int. J. Remote Sens.*, vol. 25, n° 2, p. 455-469, 2004.
- [1] C. Truche, « Caractérisation et quantification des minéraux argileux dans les sols expansifs par spectroscopie infrarouge aux échelles du laboratoire et du terrain. », Thèse de l'Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2010.
- [3] G. Dufréhou, G. Grandjean, A. Bourguignon, « Geometrical analysis of laboratory soil spectra in the short-wave infrared domain: Clay composition and estimation of the swelling potential », *Geoderma*, vol. 243-244, p. 92-107, 2015.

## **Modélisation de la réflectance des sols nus en fonction de leur teneur en eau dans le domaine réflectif**

*Aurélien Bablet<sup>1,2</sup>, Françoise Viallefont<sup>2</sup>, Xavier Briottet<sup>2</sup>, Sophie Fabre<sup>2</sup>, Stéphane Jacquemoud<sup>1</sup>*

La teneur en eau des sols est un paramètre important dans plusieurs domaines comme la météorologie, l'agriculture ou l'hydrologie de surface. En météorologie, elle contrôle l'évaporation et la transpiration de la végétation et par conséquent elle joue un rôle important dans le bilan énergétique à la surface de la Terre. En agriculture, l'eau naturelle du sol a un impact direct sur la productivité des récoltes et sa connaissance permet d'optimiser l'utilisation des ressources hydriques. En hydrologie, elle est liée au risque d'inondation.

De très nombreuses mesures expérimentales ont montré que la réflectance d'un sol nu diminuait lorsque sa teneur en eau augmentait sur tout le spectre solaire entre 0,4 et 2,5  $\mu\text{m}$ . Angström fût le premier, en 1925, à modéliser ce phénomène. Depuis, plusieurs modèles empiriques ont été développés mais ils dépendent pour la plupart d'entre eux du type de sol étudié. Il existe en revanche très peu de modèles physiques permettant de modéliser la réflectance d'un sol en fonction de sa teneur en eau et, par inversion, d'en déterminer sa valeur. Nous avons étudié, utilisé et critiqué le modèle de Bach (Bach et al., 1994; Bach, 1995) qui est basé sur des lois semi-empiriques et le modèle de Sadeghi et al. (2015) qui est basé sur la théorie de Kubelka-Munk. Grâce aux données acquises dans le cadre de la thèse d'Audrey Lesaignoux (Lesaignoux et al., 2013) nous montrons que le second modèle permet de retrouver, avec une bonne précision, la teneur en eau d'un sol.

---

<sup>1</sup> IPGP – laboratoire de Planétologie et Sciences Spatiales, 75013 Paris

<sup>2</sup> ONERA – Département d'Optique Théorique et Appliquée, 31000 Toulouse

# Apport de l'imagerie hyperspectrale pour la caractérisation des minéraux industriels et miniers

Martin Brossard<sup>1,2</sup>, Rodolphe Marion<sup>1</sup>, Véronique Carrère<sup>3</sup>, Maïwenn Lothodé<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ecole Normale Supérieure de Cachan, 61 Avenue du président Wilson, 94230 Cachan, France

<sup>2</sup> CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon Cedex, France

<sup>3</sup> Laboratoire de Planétologie et Géodynamique de Nantes, UMR CNRS 6112, Faculté des Sciences et des Techniques, 2 rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes Cedex 03, France

Les roches et minéraux industriels et les métaux provenant de l'exploitation des carrières et des mines sont utilisés en quantités importantes par le secteur industriel. L'extraction des minerais, ainsi que leur transformation et leur utilisation au sein d'usines, sont à l'origine d'importantes quantités de déchets et de rejets, en particulier des rejets liquides et solides. Ceux-ci ont un impact direct sur l'environnement et la santé. La caractérisation de ces rejets constitue donc un enjeu majeur en termes de suivi de la qualité des sols et des eaux. Dans le cadre de la surveillance environnementale, il est alors nécessaire d'étudier les sols autour des sites d'intérêt (carrières, mines, usines) à la recherche de minéraux marqueurs des éléments utilisés dans le procédé industriel ou résultant de celui-ci (carbonates, sulfates, oxydes et hydroxydes de fer, nitrates, phosphates, etc.).

La télédétection hyperspectrale (spectro-imagerie) fait partie des outils disponibles pouvant contribuer à l'identification, la localisation et la cartographie à distance des minéraux marqueurs des contaminants. Plusieurs méthodes exploitant l'imagerie hyperspectrale existent dans la littérature.

Nous développons actuellement une méthode basée sur l'approche MGM [1] (Modèle Gaussien Modifié) pour identifier les minéraux marqueurs. Elle permet, à partir de la déconvolution des spectres en une somme de gaussiennes et d'un continuum, de localiser la position des absorptions spécifiques, d'estimer leur profondeur et leur forme, et de calculer un continuum (droite en nombre d'ondes) dont les caractéristiques (pente et ordonnée à l'origine) peuvent être dans certains cas reliées à la granulométrie ou à l'humidité. Une forme gaussienne pour les absorptions est utilisée dans le VNIR (Visible and Near-InfraRed, gamme spectrale [0,4-1,0 $\mu$ m]). Dans le SWIR (Short-Wave InfraRed, gamme spectrale [1,0-2,5 $\mu$ m]), le modèle EGO [2] [3] (Exponential Gaussian Optimization) permet de prendre en compte l'asymétrie et la saturation des absorptions. Les paramètres du modèle sont ensuite estimés par un algorithme de Levenberg-Marquardt initialisé par les dérivées spectrales et optimisé pour réduire les effets d'overfitting. Enfin, une procédure reproduisant l'interprétation visuelle que ferait un minéralogiste, permet de comparer les caractéristiques d'absorption du pixel à celles de minéraux contenus dans une base de données pour réaliser l'identification.

La méthode développée [4] a tout d'abord été validée sur une librairie spectrale simulée de soixante spectres représentant quatorze minéraux industriels. Elle a ensuite été appliquée à plusieurs images hyperspectrales. Les sites analysés à l'aide du capteur AVIRIS montrent que la méthode permet l'identification des groupes minéralogiques et que les résolutions spatiale et spectrale et le SNR semblent suffisants pour permettre de distinguer des minéraux dont la signature spectrale est proche. Pour les images obtenues par d'autres capteurs (moins bonne résolution spectrale pour HyMap, moins bonne résolution spatiale et moins bon SNR pour Hyperion), la méthode fournit des résultats encourageants même si une distinction plus robuste et plus précise des minéraux semble encore difficile à obtenir. Ces éléments seront présentés et discutés lors du colloque ainsi que les améliorations envisagées pour la méthode (gestion des mélanges spectraux, quantification, etc.).

## Références :

- [1] Sunshine, J. M., Pieters, C. M. and Pratt, S. F. 1990. "Deconvolution of mineral absorption bands – an improved approach." *Journal of Geophysical Research* 95:6955–6966. doi:10.1029/JB095iB05p06955.
- [2] Pompilio, .L, Pedrazzi, G., Sgavetti, M., Cloutis, E. A., Craig, M. A. and Roush, T. L. 2009. "Exponential gaussian approach for spectral modeling: the EGO algorithm I: band saturation." *Icarus* 201:781–794. doi:10.1016/j.icarus.2009.01.022.
- [3] Pompilio, .L, Pedrazzi, G., Cloutis, E. A., Craig, M. A. and Roush, T. L. 2010. "Exponential gaussian approach for spectral modeling: the EGO algorithm II: band asymmetry." *Icarus* 208:811–823. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2010.03.020.
- [4] Brossard, M., Marion, R. and Carrère, V. "Deconvolution of SWIR reflectance spectra for automatic mineral identification in hyperspectral imaging." Submitted to *Remote Sensing Letters* 2016.

Démélange linéaire pour la détection et la caractérisation d'hydrocarbure onshore.

V. Achard, X. Ceamanos (ONERA), D. Dubucq (TOTAL)

L'imagerie hyperspectrale peut aider à caractériser les hydrocarbures en mélange avec le sol. Ces mélanges sol/hydrocarbure ont un comportement fortement non-linéaire et pour les caractériser, des méthodes de type PLSR semblent prometteuses (travaux de thèse de Vincent Lever). Pour pouvoir appliquer ces méthodes, il est nécessaire auparavant d'extraire sur l'image les spectres de ces mélanges intimes. On considère dans ce travail une image semi-synthétique comportant des mélanges surfaciques de sable non pollué, plus ou moins humide, et de sable pollué aux hydrocarbures, ainsi que des zones de végétation. Plusieurs méthodes d'extraction de pôles de mélange sont testées. Un nombre élevé de pôles de mélange est recherché, notamment pour pouvoir décrire la variabilité des spectres de la végétation présente sur l'image. Les pôles de mélange ainsi extraits sont triés à l'aide d'indice hydrocarbure. Les abondances sont ensuite calculées en chaque pixel pour évaluer l'étendue et le niveau de pollution.

**Titre: Estimation de la biodiversité des forêts tropicales par imagerie hyperspectrale : Avancées du projet HyperTropik.**

J.-B. Féret<sup>1</sup>, N. Barbier<sup>2</sup>, D. Berveiller<sup>3</sup>, J.-P. Gastellu-Etchegorry<sup>4</sup>, E. Grau<sup>1</sup>, G. Hmimina<sup>3</sup>, M.-J. Lefèvre-Fonollosa<sup>5</sup>, G. le Maire<sup>6</sup>, J. Oliveira<sup>7</sup>, C. Proisy<sup>2</sup>, K. Soudani<sup>3</sup>, G. Vincent<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Irstea, UMR TETIS

<sup>2</sup>IRD UMR AMAP

<sup>3</sup>Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution (ESE), Université Paris-Sud

<sup>4</sup>Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère (CESBIO)

<sup>5</sup>Centre National d'Etudes Spatiales

<sup>6</sup>Cirad, UMR Écologie fonctionnelle et biogéochimie des sols et agrosystèmes

<sup>7</sup>Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Le contrôle et la limitation de l'érosion de la biodiversité sont des enjeux environnementaux actuels majeurs touchant particulièrement les écosystèmes tropicaux. Au-delà de la perte de la biodiversité, il y a une transformation importante du fonctionnement des écosystèmes qu'il convient aussi de suivre. De nombreux facteurs tels que les changements climatiques, l'introduction d'espèces invasives, l'agriculture et l'exploitation des ressources naturelles (orpaillage, prospections et exploitations minières) contribuent à ces phénomènes. Le suivi de ces changements et la conservation de ces écosystèmes fragiles nécessitent la mise au point de méthodes adaptées à leurs dimensions, et à leur difficulté d'accès, pour permettre un suivi régulier dans le temps.

Les avancées récentes réalisées dans le domaine de l'imagerie hyperspectrale à haute résolution spatiale ont démontré les nombreuses possibilités offertes par cette technologie, de l'identification d'espèces d'arbres à l'estimation de la biodiversité locale et à la cartographie des successions de communautés d'espèces au sein du paysage. Les missions satellitaires hyperspectrales à venir permettent d'envisager le transfert de ces méthodes du domaine aéroporté au domaine spatial. Il est cependant nécessaire de résoudre un certain nombre de verrous méthodologiques et techniques préalables à ce transfert.

La possibilité d'appliquer ces méthodes à des données issues d'observations spatiales est actuellement étudiée afin de préparer la mise au point opérationnelle d'outils de surveillance des forêts tropicales, notamment le cadre de la préparation du volet végétation projet HYPXIM du CNES. Le projet HyperTropik (TOSCA/CNES) a démarré en 2015 à cet effet. Ce projet se construit autour de deux axes principaux :

- La modélisation à l'aide du modèle de transfert radiatif 3D DART, qui permet la simulation réaliste d'images de capteurs (hyperspectral, Lidar) satellites et aéroportés pour toute configuration instrumentale (résolutions spatiale et temporelle, directions solaire et d'observation, etc.) et expérimentale (architecture de la canopée, topographie, atmosphère,...).
- La collecte de données terrain réalisée sur quatre sites composant un gradient de diversité structurale et spécifique. Ces sites sont localisés en Guyane Française, au Brésil et au Cameroun. Ces données terrain correspondent à des mesures spectroradiométriques des propriétés optiques de la végétation (feuilles, tronc, litière).

Les données terrain d'HyperTropik sont complétées par les données acquises par LIDAR terrestre dans le cadre du projet StemLEAF afin d'aboutir à la mise au point de maquettes 3D numériques des sites forestiers étudiés. Ces maquettes servent en tant que données d'entrée au modèle DART pour simuler des images hyperspectrales reproduisant la réalité le plus fidèlement possible au regard des connaissances et possibilités expérimentales actuelles. Une mission aéroportée est aussi en cours de programmation pour permettre une validation directe des simulations réalisées. Nous proposons donc de faire état de l'avancement des différentes actions engagées dans ce projet.

# Estimation de la teneur en chlorophylle foliaire sur la betterave sucrière par imagerie hyperspectrale de proxi-détection : étude de l'impact de la résolution spatiale

Sylvain Jay\*, Nathalie Gorretta\*, Ryad Bendoula\*, Fabienne Maupas\*\*

\*IRSTEA, Montpellier, France, \*\*ITB, Paris, France.

L'estimation de la teneur en chlorophylle foliaire (notée  $C_{ab}$ ) dans les cultures telles que la betterave sucrière revêt une grande importance pour l'agriculture de précision (détection de stress par exemple) ou la sélection de variétés (phénotypage), ce pigment étant en effet directement relié à l'activité photosynthétique de la plante. Cependant, l'estimation de ce paramètre via des données multi- ou hyperspectrales issues de capteurs embarqués sur avion ou satellite (données généralement caractérisées par une résolution spatiale supérieure à 50 cm voire 1 m) est rendue délicate par les phénomènes de compensation se produisant notamment entre le LAI (Leaf Area Index) et  $C_{ab}$ . En effet, le signal mesuré dépend non seulement de la quantité de chlorophylle présente dans les feuilles mais également de la quantité de feuilles elle-même. Alternativement, la résolution spatiale offerte par l'imagerie hyperspectrale de proxi-détection permet d'obtenir des données caractérisées par une résolution millimétrique, permettant ainsi une discrimination précise des pixels de végétation et de sol. La seule utilisation des pixels de végétation lors de l'estimation permet potentiellement de limiter l'influence du sol sur la mesure spectrale et donc les interactions entre LAI et  $C_{ab}$ .

L'objectif de ces travaux est donc d'étudier l'impact de la résolution spatiale sur les performances d'estimation de  $C_{ab}$  en vue d'une future implémentation sur des données acquises par drone, notamment afin de déterminer le juste compromis entre précision de l'estimation et rapidité de l'expérimentation.

Le jeu de données utilisé a été collecté en 2015 à deux stades de développement de la plante. Pour chaque stade, trois fertilisations azotées et trois variétés ont été considérées, permettant ainsi l'accès à une gamme de LAI variant de 0.5 à 3. Au total, 72 images hyperspectrales de rangs de betterave (2 à 3 plants par image) ont été acquises à un mètre du sol pour des longueurs d'onde variant entre 400 nm et 1000 nm (résolutions spatiale et spectrale de 1 mm et 4.5 nm resp.). Après l'acquisition, 6 mesures de teneur en chlorophylle par plant ont été effectuées à l'aide d'une pince à chlorophylle (Dualox, Force-A, Orsay, France),  $C_{ab}$  variant ainsi de 30  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  à 56  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

La résolution spatiale des images hyperspectrales a été progressivement dégradée à l'aide d'un simple moyennage avec pondération unitaire sur des fenêtres carrées, et variait ainsi de 1 mm à 30 cm.

Pour chacune de ces résolutions spatiales, différents indices de chlorophylle sélectionnés et calculés à partir des images furent comparés en termes (1) de leur aptitude à discriminer sol et végétation, et (2) de leur corrélation avec  $C_{ab}$  dans plusieurs configurations. En particulier, les corrélations obtenues à partir des images entières (i.e., sol + végétation) furent comparées à celles obtenues à partir de l'ensemble des pixels de végétation. Finalement, les performances d'estimation furent estimées par validation croisée leave-one-out.

Parmi tous les indices testés, il est montré que le MCARI[705,750] (Wu et al, 2008) offre les meilleures performances de discrimination, celles-ci restant relativement peu affectées par les fortes variations d'éclairement observées à cette échelle (e.g., les ombres) et les effets de surface responsables de l'anisotropie des feuilles de betterave. Par ailleurs, il apparaît clairement que les corrélations obtenues avec  $C_{ab}$  augmentent lorsque l'on passe de spectres moyens calculés sur l'image entière ( $R^2 = 0.65$  avec le mNDVI (Gitelson and Merzlyak (1994)) à des spectres moyens calculés sur les pixels de végétation uniquement ( $R^2 = 0.75$  avec ce même indice pour la meilleure résolution spatiale). De plus, il est montré que les corrélations sont généralement stables jusqu'à une résolution spatiale de 7.5 cm, au-delà de laquelle il devient délicat de discriminer efficacement sol et végétation. Enfin, les meilleures performances d'estimation furent obtenues avec le mNDVI et une résolution spatiale de 3 cm ( $R^2_{CV} = 0.73$  ;  $RMSE_{CV} = 3.01 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ).

# Imagerie hyperspectrale proche infrarouge (NIR-HSI) appliquée à la quantification de la teneur en eau de produits céréaliers

Eloïse Lancelot<sup>1</sup> - Philippe Courcoux<sup>2</sup> - Sylvie Chevallier<sup>3</sup> - Alain Le-Bail<sup>3</sup> - Benoît Jaillais<sup>2</sup>

<sup>1</sup> URBIA, 44316 Nantes, France.

<sup>2</sup> USC INRA/ONIRIS, 44322 Nantes, France.

<sup>3</sup> GEPEA-UMR 6144 CNRS, ONIRIS, 44322 Nantes, France.

L'eau joue un rôle important dans la qualité des biscuits et peut être à l'origine de défauts physiques de types fêle (fissures dans les produits) ou casse (fracture complète). Ces défauts sont liés au phénomène de transition vitreuse, influencé par la teneur en eau et la température. Les méthodes usuelles de la caractérisation de la pâte pendant la cuisson et le stockage sont destructrices, onéreuses et difficiles à mettre en œuvre. Etant donnée l'évolution rapide de la transition vitreuse, il est nécessaire de développer des méthodes d'analyse rapides et sensibles.

L'imagerie hyperspectrale proche infrarouge (NIR-HSI) est de plus en plus utilisée pour caractériser l'eau dans les produits alimentaires. En effet, cette technique permet une analyse non destructive de l'échantillon ainsi qu'un suivi en temps réel de la qualité des produits. A chaque pixel de l'image hyperspectrale correspond un spectre proche infrarouge qui donne une information spectrale et spatiale sur cet échantillon.

Le but de ce travail est d'évaluer la potentialité de l'imagerie hyperspectrale proche infrarouge pour quantifier la teneur en eau de biscuits. Dix biscuits commerciaux de 2 marques différentes sont conditionnés dans des dessiccateurs avec des sels correspondants à différentes activités de l'eau (Aw). Les images hyperspectrales sont acquises pour chaque échantillon et traitées par des méthodes chimiométriques afin de réduire la dimensionnalité des données, et de prédire la teneur en eau pour chaque pixel, et ainsi reconstruire des images de prédiction.

Afin d'extraire l'information spectrale utile des hypercubes, 1 000 pixels sont sélectionnés aléatoirement dans chaque image et concaténés dans une grande matrice  $S$ . Un lissage et une normalisation vectorielle (Standard normal variate SNV) sont appliqués à cette matrice. Une Analyse en composantes principales (ACP) de cette matrice conduit à l'obtention de scores qui sont regroupés dans une ellipse de confiance (95%) en fonction de leur appartenance à un biscuit conditionné avec une Aw fixée.

Les variables prédictives sont sélectionnées avant la construction du modèle de prédiction, qui est ensuite appliqué à l'ensemble des pixels pour lesquels une valeur prédite de la teneur en eau est estimée. Une image de prédiction en fausses couleurs, basée sur les valeurs prédites des pixels, est créée (Figure 1). La moyenne des valeurs pour une image est calculée et considérée comme la teneur en eau globale du produit.

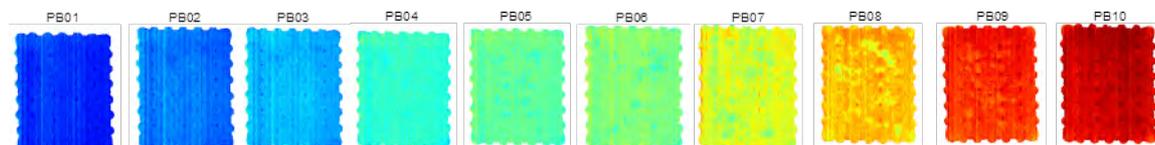


Figure 1 : Images en fausses couleurs obtenues après application du modèle de prédiction sur les images hyperspectrales des biscuits « Petit Brun ».

Les résultats obtenus par l'ACP montrent une bonne séparation des biscuits en fonction de leur teneur en eau. Les valeurs moyennes prédites par l'algorithme de régression linéaire multiple sont proches des valeurs observées par pesée.

NIR-HSI est une méthode d'analyse non destructrice bien adaptée à l'évaluation de la teneur en eau dans des produits céréaliers. Le coefficient de détermination  $R^2$  de la régression est proche de 0.97 et les images de prédiction peuvent être utilisées pour la détection de défauts. L'implémentation en-ligne de ce type de mesure devrait permettre d'étudier le mécanisme de formation de fêles et de casse des biscuits.

# ***Apport de l'imagerie hyperspectrale du capteur Hyperion pour la détection des mutations environnementaux des oasis littorales de Gabès***

BEN ARFA Jouda<sup>(1,2)</sup>, BERGES Jean Claude<sup>2</sup>, BELTRANDO Gérard<sup>2</sup>, KATLANE Rim<sup>1</sup>,  
ZARGOUNI Fouad<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Université de Tunis El Manar, Unité de recherche de Géomatique, Géologie Structurale et Appliquée, FST,  
Campus Universitaire El-Manar, 2092 El Manar Tunis ; [jouda.benarfa@gmail.com](mailto:jouda.benarfa@gmail.com),  
[Katlanerim@yahoo.fr](mailto:Katlanerim@yahoo.fr), [fouadzargouni@yahoo.fr](mailto:fouadzargouni@yahoo.fr).

<sup>2</sup> Université Diderot, Sorbonne Paris-Cité, UMR 8586 du CNRS (PRODIG), 75205 Paris Cedex 13 France ;  
[beltrando@univ-paris-diderot.fr](mailto:beltrando@univ-paris-diderot.fr), [Jean-Claude.Berges@univ-paris1.fr](mailto:Jean-Claude.Berges@univ-paris1.fr)

## ***Résumé***

Depuis des siècles les agro-écosystèmes oasiens se sont adaptés aux fluctuations climatiques des régions arides. Mais ces dernières décennies, sous l'effet de fortes pressions humaines, elles subissent une transmutation. C'est le cas des oasis littorales de Gabès, au SE de la Tunisie qui se transforment en villes oasis. Ces oasis sont donc, plus que dans le passé, caractérisées par une occupation du sol et des fonctions de type urbain et ces évolutions économiques ont affecté les ressources en eau. La croissance très forte de la demande en eau (domestique, industrielle, nouvelles pratiques culturelles) impose des prélèvements de plus en plus profonds dans la nappe de Jeffara. Ces prélèvements pompent l'eau de la nappe fossile dont le rabattement du niveau piézométrique est de 1 mètre par an et ce depuis plus de 20 ans. Au-delà de la croissance avérée de la salinité de l'eau, la pollution de l'air est aussi un facteur limitant des rendements agricoles. L'installation de l'industrie chimique et pétrochimique à Ghannouch (cimenterie, groupe chimique, complexe industriel de traitement de phosphates...) créatrice de milliers d'emplois et de ressources financières régionales, a généré des besoins croissants en eau douce et de nombreux problèmes liés aux rejets atmosphériques très polluants pour les hommes et les végétaux. Les modernisations socio-économiques ont contribué à l'évolution des pratiques culturelles et à l'apparition de nouveaux périmètres irrigués. Cette restructuration des espaces végétalisés est-elle un des facteurs majeur de l'abandon de la palmeraie ancestrale dans certaines oasis.

L'étude de ces mutations environnementales est abordée ici à partir du traitement des données satellitaires. Dans la limite de l'information multi spectrale, suite à une analyse spatio-temporelle de l'indice de végétation NDVI dérivé des scènes multi sources et multi temporelles [Landsat MSS (1972), TM5 (1987), et TM (2011)], qui a montré la dynamique spatiale des aires végétalisées et leurs évolution en terme de superficies. Nous proposons dans ce travail une cartographie de l'état du couvert végétal à partir des indices radiométriques dérivés de l'imagerie hyperspectrale. Pour cela, les données EO1 / Hyperion de sept dates différentes entre 2009 et 2010 ont été extraites du site de la NASA. A partir de cet ensemble de données, une comparaison des différents indices hyperspectraux qui en dérivent a été réalisée. Dans le but d'analyser la végétation au sein des oasis un masque de végétation a été appliqué aux canaux bruts, puis une liste de 27 indices a été calculée et parmi ceux ci les quatre indices expliquant la plus grande part de la variance du nuage ont été retenus. Le NDVI est prépondérant pour quantifier cette variance. Les autres indices les plus significatifs qui

sont faiblement corrélés avec NDVI, sont l'indice de réflectance de l'anthocyanine (ARI2), l'indice du stress hydrique (DWSI) et l'indice de réflectance photochimique (PRI). L'ARI2 et le PRI, sont des indices sensibles à l'évolution des pigments des plantes respectivement l'anthocyanine et le caroténoïde qui fournissent des indications sur le stade phénologique ou la santé des végétaux. Dans notre scène les valeurs élevées se retrouvent dans les nouveaux périmètres irrigués où le maraichage l'emporte sur l'arboriculture. Le DWSI permet de discriminer des systèmes de cultures caractérisés par différents modes d'irrigation. Les résultats indiquent qu'avec une résolution spectrale fine il est possible de cartographier l'état du couvert végétal dans les systèmes oasiens de Gabès. Alors que l'imagerie Landsat TM nous renseigne principalement sur l'évolution des surfaces en végétalisées. L'imagerie hyperspectrale et les indices qui en dérivent permettent une analyse des mutations des agro-écosystèmes en repérant les zones les plus sensibles.

# Détection de gaz industriels par filtrage adapté CTMF en imagerie hyperspectrale

Aurélie Quémener, Rodolphe Marion  
CEA,DAM,DIF, F-91297 Arpajon Cedex, France

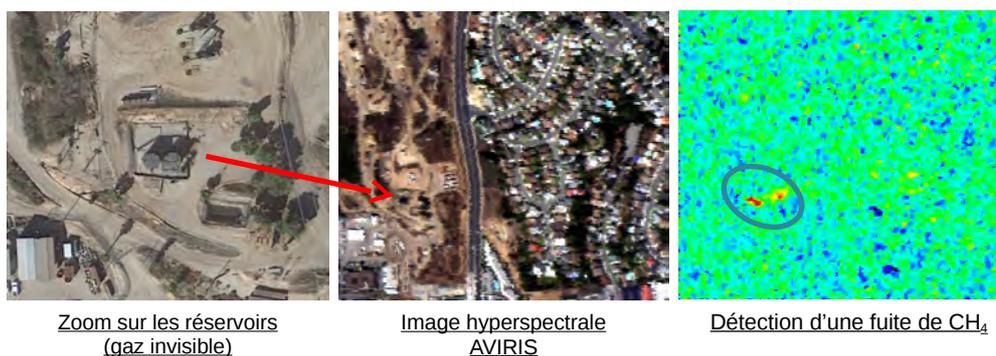
Depuis plusieurs décennies, l'étude des émissions gazeuses industrielles et la compréhension de leur impact radiatif est un enjeu scientifique majeur [1,2,3]. L'augmentation de la pollution atmosphérique, en raison de ses conséquences environnementales et sur la santé, est devenue aujourd'hui un problème mondial [4]. Celle-ci provient de sources d'émissions anthropiques et de dégagements naturels. Les sources anthropiques correspondent principalement à des sites industriels localisés spatialement.

La télédétection, et en particulier l'imagerie hyperspectrale aéroportée ou satellitaire, est un moyen adapté pour la détection de gaz industriels nécessitant une haute résolution à la fois spatiale et spectrale. L'objectif de l'étude est de développer un outil automatique permettant la détection des gaz d'intérêt industriel possédant une absorption observable dans le domaine de longueurs d'onde [0,4 – 2,5  $\mu\text{m}$ ], c'est-à-dire  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ .

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. La méthode fonctionne en deux étapes : l'image est classifiée à partir de l'algorithme K-Means puis un filtre est construit et appliqué pour chaque gaz et chaque classe de sol de l'image.

Dans un premier temps, des images hyperspectrales contenant des panaches de gaz ont été simulées à l'aide de MODTRAN afin d'évaluer les limites de détection des gaz d'intérêt. Dans un second temps, la méthode a été appliquée à plusieurs images aéroportées AVIRIS et HYSPEX et satellitaire Hyperion de sites industriels rejetant du  $\text{CO}_2$ , du  $\text{CH}_4$  et du  $\text{NO}_2$ .

Ces travaux seront présentés et discutés lors du colloque. Ils montrent que la méthode fournit de bons résultats pour la détection de panaches de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{CH}_4$  (cf Figure 1). En revanche, la détection du  $\text{NO}_2$  est plus délicate en raison, d'une part, de la localisation spectrale et de la forme de la bande d'absorption du  $\text{NO}_2$ , et d'autre part de la faible concentration émise par le site étudié.



**Figure 1** : au centre, image hyperspectrale AVIRIS acquise le 18 septembre 2008 sur une partie du champ de pétrole d'Inglewood (Etats-Unis), à gauche, zoom sur deux réservoirs de stockage d'hydrocarbures, à droite, détection d'une fuite de  $\text{CH}_4$ .

## Références :

- [1] Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks : 1990-2013, p.564.
- [2] Citepa, 2015, Rapport CCNUCC, p 468.
- [3] Fenger J., Air pollution in the last 50 years–From local to global, *Atmospheric Environnement*, 43 ,p13-22, 2009.
- [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, July2001.

## ***CarboSPOC-21 : suivi journalier de la concentration des gaz à effet de serre depuis l'espace par spectrométrie à transformée de Fourier ultra-compact***

S. Gousset<sup>1</sup>, E. Le Coarer<sup>1</sup>, N. Guerineau<sup>2</sup>, Y. Ferrec<sup>2</sup>, L. Croize<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IPAG, Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble

<sup>2</sup> ONERA, Office National d'Étude et de Recherche Aérospatiale

Le réchauffement climatique avéré de la Terre est accéléré par l'émission massive de gaz à effet de serre en lien avec l'activité humaine, notamment le CO<sub>2</sub> et le CH<sub>4</sub>. Il est alors vital d'appréhender l'impact et les potentiels dérèglements induits sur le cycle géophysique naturel de ces gaz à l'échelle du globe terrestre.

CarboSPOC-21 est une flottille de satellites d'observation de la Terre, ayant pour but dans ce contexte la mesure quotidienne de la concentration de CO<sub>2</sub> à mieux que 3ppm et de CH<sub>4</sub> à mieux que 30ppb en tous points de la Terre dans les latitudes habitées. La mission reprend l'objectif de MICROCARB et CARBONSAT, avec des spécifications légèrement moins ambitieuses en précision de mesure, donnant la priorité à la revisite journalière. La mise en œuvre d'un instrument miniaturisé va permettre d'utiliser une plateforme NanoSat de moins de 10kg, et ainsi de mettre en orbite le nombre suffisant de satellites (21). La charge utile est principalement composée d'un spectro-imageur à transformée de Fourier ultra-compact SPOC entièrement passif. Une fauchée de 150 à 180km est imagée sur le détecteur, avec une résolution spatiale au sol de 3x3km. Le signal est intégré pour chaque champ sur 50 pixels lors du déplacement du satellite. Le premier design que nous proposons permet de réaliser une mesure simultanément dans quatre voies spectrales sur un même détecteur de 1000 par 1000 pixels. Les bandes dédiées à la mesure du CO<sub>2</sub> (B2 : 1,59µm et B3 : 2,06µm) et du CH<sub>4</sub> (1,66µm) comportent des raies d'absorption caractéristiques évoluant avec la concentration, dont la mesure constitue donc l'enjeu de la mission.

Nous présentons l'étude de sensibilité préliminaire de l'instrument. Il s'agit à ce titre d'optimiser l'échantillonnage de l'interférogramme sur les franges présentant la plus grande sensibilité à une variation de concentration d'espèce donnée, et d'en déduire ce faisant la sensibilité escomptée de l'instrument. Pour cela nous nous basons sur des spectres synthétiques en bande B2 et B3, obtenus par code de transfert radiatif. L'étude de sensibilité est réalisée à partir des interférogrammes dit "jacobiens", résultant de la mesure d'un différentiel de concentration donné. Après optimisation des fenêtres spectrales, nous opposons aux franges où le contraste du jacobien est maximal un bilan de flux tenant compte des caractéristiques du détecteur. Nous montrons de cette manière qu'une sensibilité en bande B2 de 1ppm est envisageable sur la mesure de CO<sub>2</sub>, ce qui est tout à fait comparable aux performances de la mission MICROCARB et en accord avec la précision nécessaire à l'étude des flux de CO<sub>2</sub> sur Terre.

Bien qu'ayant besoin d'être étendue aux autres voies de l'instrument et à la prise en compte des biais de mesure géophysiques, les performances de SPOC sont prometteuses. Elles permettent d'envisager une architecture parmi les plus compactes dans le domaine de la spectro-imagerie spatiale, tout en palliant les problèmes de robustesse habituels des spectromètres à transformée de Fourier.

# Détection et identification par filtrage adapté de panaches d'aérosols industriels en imagerie hyperspectrale

Y. Philippets<sup>1</sup>, R. Marion<sup>1</sup>, P.-Y. Foucher<sup>2</sup>, X. Briottet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France

<sup>2</sup> ONERA, the French Aerospace Lab, F-31055 Toulouse, France

Les outils de télédétection ont été largement utilisés ces vingt dernières années pour étudier la composition atmosphérique, et en particulier les aérosols [1]. En effet, ces particules fines en suspension dans l'air ont un rôle majeur dans le bilan radiatif terrestre et l'étude de ces particules est nécessaire à une meilleure compréhension des changements climatiques [2]. Ainsi, de nombreux produits satellitaires ont été développés pour fournir par exemple, à une échelle globale ou régionale, des cartes d'épaisseur optique d'aérosols [3].

Cependant, la basse résolution spatiale des instruments utilisés (AVHRR, MODIS, MISR, POLDER) ne permet pas d'étudier les aérosols industriels proches de leur point d'émission. Pourtant, ces particules anthropiques sont justement les plus méconnues. Nous proposons donc, dans le cadre de cette étude, d'utiliser l'imagerie hyperspectrale aéroportée dans le visible et proche-infrarouge pour détecter et identifier ces aérosols dans un panache industriel.

L'algorithme de filtrage adapté CTMF, pour *Cluster-Tuned Match Filter* [4], a été testé avec succès sur différents panaches de gaz industriels, afin de déterminer la nature du gaz émis et éventuellement sa concentration [5] [6]. Nous proposons ici d'adapter la méthode CTMF au cas des aérosols industriels.

Nous avons tout d'abord étudié les propriétés physiques et radiatives de particules émises par les principales industries afin de constituer une classification des familles d'aérosols les plus représentatives possibles des rejets des usines observées. Ensuite, à partir de l'équation linéarisée du transfert radiatif réécrite en présence d'un panache d'aérosols de faible épaisseur optique, nous avons pu écrire puis calculer les coefficients du filtre CTMF pour chaque classe de rejet. En pratique, l'application de ce filtre à une image hyperspectrale permet une détection d'un panache et une identification de la classe la plus probable du rejet.

Les premiers résultats obtenus sur des images simulées à partir du code de transfert radiatif MODTRAN 5, confirment la faisabilité de l'approche proposée. Nous présenterons lors du colloque ces résultats ainsi que les tests réalisés sur des images réelles aéroportées CASI et AVIRIS, et satellitaires HYPERION. Nous discuterons également de la validité des hypothèses formulées et des perspectives de ce travail.

## Références :

[1] King M., Kaufman Y., Tanré D., Nakajima T. « Remote sensing of tropospheric aerosols from space: past, present and future », *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, pp. 2229-2259, 1999.

[2] IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

[3] Moosmüller H., Chakrabarty R.K., Arnott W.P. « Aerosol light absorption and its measurement: a review », *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 110, pp. 844-878, 2009.

[4] Funk C.C., Theiler J., Roberts D.A., Borel C.C. « Clustering to improve matched filter detection of weak gas plumes in hyperspectral imagery », *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 39, pp. 1410-1420, 2001.

[5] Thorpe A.K., Roberts D.A., Bradley E.S., Funk C.C., Dennison P.E., Leiffer I. « High resolution mapping of methane emissions from marine and terrestrial sources using a Cluster-Tuned Matched Filter technique and imaging spectrometry », *Remote Sensing of Environment*, 134, pp. 305-318, 2013.

[6] Dennison P.E., Thorpe A.K., Pardyjak E.R., Roberts D.A., Qi Y., Green R.O., Bradley E.S., Funk C.C. « High spatial resolution mapping of elevated atmospheric carbon dioxide using airborne imaging spectroscopy: Radiative transfer modeling and power plant plume detection », *Remote Sensing of Environment*, 139, pp. 116-129, 2013.

## Utilisation d'imageurs infrarouges hyperspectraux pour l'étude de panaches volcanique : la campagne IMAGETNA

S. Payan<sup>(1)</sup>, N. Huret<sup>(2)</sup>, V. Catoire<sup>(2)</sup>, S. Langlois<sup>(3)</sup>, G. Salerno<sup>(4)</sup>, T. Roberts<sup>(2)</sup>, D. Rodriguez<sup>(1)</sup>, A. Pola Fossi<sup>(3)</sup>, A. La Spina<sup>(4)</sup>, T. Caltabiano<sup>(4)</sup>, S. Chevrier<sup>(2)</sup>, Y. Ferrec<sup>(3)</sup>.

(1) UPMC and LATMOS

(2) Orléans University and LPC2E/CNRS and, 3A avenue de la recherche scientifique, F4500 Orléans

(3) ONERA

(4) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Etneo, Catania, Italy

La connaissance de la composition et de l'évolution spatiale des panaches volcaniques permet de mieux comprendre les processus qui se produisent dans l'intérieur de la Terre. D'autre part, la quantification des flux d'émissions gazeuses est également une tâche fondamentale dans le cadre du changement climatique afin d'affiner la contribution des émissions naturelles. Aujourd'hui, des caméras UV permettent d'imager les panaches volcaniques et d'évaluer les flux de SO<sub>2</sub>, bien que sujets à incertitudes dans le processus d'inversion. Une autre technique d'imagerie est maintenant disponible dans l'infra-rouge. Cette imagerie hyperspectrale infrarouge (spectres pixel par pixel) pourrait représenter une avancée majeure en volcanologie en raison de son potentiel pour permettre des mesures de flux de SO<sub>2</sub> pendant la nuit, mais également pour permettre la mesure d'autres espèces pertinentes. Cette dernière possibilité nécessite d'être testée et validée dans un premier temps

En Juin 2015, la campagne de mesures - IMAGETNA - a été réalisée à l'Etna (Observatoire volcanologique Pizzi Deneri) avec l'objectif d'explorer l'application de plusieurs techniques instrumentales pour la mesure des gaz volcaniques. Pendant cinq jours, le panache volcanique a été observé simultanément en utilisant : trois caméras hyperspectrales différentes (commerciales et en cours de développement), un instrument FTIR, une caméras LWIR UV, et un radiomètre. Les résultats recueillis avec ces différents instruments seront comparés, et des tests de sensibilité seront effectués sur le potentiel de ces techniques à détecter et quantifier des gaz volcaniques.

La campagne, les caractéristiques des différents instruments concernés ainsi que la stratégie de déploiement instrumentale seront présentés. Les comparaisons directes de radiance spectrales dans l'infrarouge obtenues par les différents instruments seront discutées. Les premiers résultats pour le SO<sub>2</sub> provenant des mesures UV et infrarouges seront présentées, ainsi que les résultats obtenus pour d'autres gaz.