



5^e édition

**COLLOQUE
GROUPE
HYPERSPETRAL
SFPT-GH**

9 > 11 MAI 2017 · BREST

Mardi 9

- 12 h 30 **Accueil**
- 14 h **Ouverture de la conférence**
- 14 h 15 **Mot d'accueil**
Jérôme Paillet - ODE, Ifremer, Patrick Farcy - DS, Ifremer
Christophe Delacourt - LGO, Université de Bretagne Occidentale
- 14 h 45 **Informations générales**
Touria Bajjouk - Ifremer
- 14 h 55 **Présentation du Groupe Hyperspectral de la SFPT**
Rodolphe Marion - CEA

Session 1

Missions hyperspectrales spatiales

Présidée par **Véronique Carrère** - LPG, Université de Nantes

- 15 h 10 **Overview of European future hyperspectral missions**
Marie-José Lefèvre-Fonollosa - CNES, DIA, PA (Toulouse)
- 15 h 35 **European Hyperspectral Explorer: HYPEX-2
A new space mission for monitoring anthropogenic
influence on the critical zone**
Xavier Briottet - ONERA (Toulouse)
- 16 h **Pause**

Session 2

Développements instrumentaux

Présidée par **Josias Lefèvre** - IETR/TSI2M (Lannion)

- 16 h 30 **Les performances des instruments optiques
Sentinel 3 : OLCI et SLSTR**
Sandrine Mathieu - Thales (Cannes la Bocca)
- 16 h 55 **Développements instrumentaux à l'ONERA pour l'imagerie
hyperspectrale infrarouge**
Yann Ferrec - ONERA (Toulouse)
- 17 h 20 **Développement d'un système d'imagerie
hyperspectrale par drone**
Marion Jaud - LGO, Université de Bretagne Occidentale (Brest)
- 17 h 45 **HySpex Mjolnir-1024 – The first scientific grade
hyperspectral camera for UAVs**
Lukasz Paluchowski - Norsk Elektro Optikk AS (Norvège)
- 18 h 15 **Cocktail dinatoire de bienvenue**

Mercredi 10

Session 3

Méthodes (atmosphère)

Présidée par **Xavier Briottet** - ONERA

- 8 h 45 **Hyperspectral remote sensing for detection and identification of industrial aerosol plumes with a Cluster-Tuned Matched Filter**
Yannick Philippets - CEA (Arpajon)
- 9 h 10 **Comparison of two atmospheric correction methods for the classification of spaceborne urban hyperspectral data depending on the spatial resolution**
Guillaume Roussel - ONERA (Toulouse)

Session 4

Méthodes (modèles de mélange, classification orientée objet, reconnaissance)

Présidée par **Mauro Dalla Mura** - GIPSA-lab (Grenoble)

- 9 h 35 **Using time series to improve endmembers estimation on multispectral images for snow monitoring**
Mauro Dalla Mura - GIPSA-lab (Grenoble)
- 10 h **Extraction des surfaces imperméables à partir d'une image hyperspectrale en utilisant une méthode orientée-objet**
Rahim Aguejda - ONERA (Toulouse)
- 10 h 25 **Reconnaissance de visage en biométrie**
Mébarika Belahcene - Université Mohamed Khider (Algérie)
- 10 h 50 **Pause**

Session 5

Méthodes (fusion des données)

Présidée par **Marc Lennon** - Hytech Imaging

- 11 h 20 **Étude de la complémentarité et de la fusion des images qui seront fournies par les futurs capteurs satellitaires OLCI/Sentinel 3 et FCI/Meteosat Troisième Génération**
Audrey Minghelli - LSIS, Université de Toulon
- 11 h 45 **Fusion de classifications pour l'utilisation conjointe d'images multi-spectrales à très haute résolution spatiale et hyperspectrale**
Arnaud Le Bris - IGN, LaSTIG, MATIS (Saint-Mandé)

- 12 h 10 **Panorama des méthodes de pan-sharpening pour les images hyperspectrales**
Stéphane May - CNES
- 12 h 35 **Collaborative total variation for hyperspectral pansharpening**
Mauro Dalla Mura - GIPSA-lab (Grenoble)
- 13 h **Pause déjeuner au restaurant d'Ifrermer**

Session 6

Milieux littoraux

Présidée par **Touria Bajjouk** - Ifremer

- 14 h 15 **Modèle optiques du microphytobenthos (MPBOM) : indépendance d'échelle et traitement de l'information pigmentaires**
Patrick Launeau - LPG, Université de Nantes
- 14 h 40 **Cartographie du taux de transfert des électrons (ETR), proxy de la production primaire du microphytobenthos des vasières intertidales par télédétection hyperspectrale**
Vona Méléder - MMS, Université de Nantes
- 15 h 05 **Hypothèse de « gardening » associée à l'espèce ingénier Crepidula fornicata**
Androuin Thibault - Ifremer
- 15 h 30 **Apport des images HR multi et hyperspectrales pour des applications « couleur de l'eau » en milieu côtier**
Audrey Minghelli - LSIS, **Marc Lenon** - Hytech Imaging
- 15 h 55 **Pause**

Session 7

Incertitudes & sensibilité des modèles en milieu marin

Présidée par **Audrey Minghelli** - LSIS, Université de Toulon

- 16 h 30 **Étude des bornes de Cramér-Rao pour la caractérisation des incertitudes associées aux produits de télédétection hyperspectrale des océans**
Sylvain Jay - CNRS/Centrale/Institut Fresnel (Marseille)
- 16 h 55 **Hyperspectral remote sensing of coral reefs - Sensitivity analysis of a shallow water inverse model**
Tristan Petit - Ifremer (Brest)
- 17 h 20 **Bathymétrie hyperspectrale aéroportée : approches pour l'évaluation des performances**
Marc Lennon - Hytech Imaging (Brest)
- 20 h **Dîner de gala (centre-ville de Brest)**

Jeudi 11

Session 8

Écologie et physiologie des plantes

Présidée par Jean-Baptiste Féret - Irstea, TETIS

- 8 h 45 **Using leaf reflectance measurements to assess the potential of UAV multispectral sensors to detect the Flavescence dorée grapevine disease in red and white cultivars**
Fabio Guttler - DYNAFOR (Toulouse)
- 9 h 10 **Early detection of the fungal disease “apple scab” using hyperspectral imaging**
Maroua Nouri - CTIFL (Bergerac)
- 9 h 35 **Détection précoce des maladies des plantes par la technique d'imagerie hyperspectrale : un état d'art**
Youssef Es-saady - Université Ibn Zohr (Maroc)
- 10 h **Estimation des services écosystémiques par télédétection hyperspectrale et LiDar aéroporté**
Mathieu Fauvel - DYNAFOR (Toulouse)
- 10 h 25 **Estimation of pear tree vitality based on multimodal optical remote sensing data**
Kuniaki Uto - Tokyo Institute of Technology (Yokohama)
- 10 h 50 **Pause**

Session 9

Cartographie des sols et de la végétation

Présidée par Jacques Populus - Ifremer

- 11 h 10 **Cartographie du taux d'argile des sols par transfert de modèles de prédiction de laboratoire vers des données aéroportées Vis-PIR**
Nathalie Gorretta - Irstea (Montpellier)
- 11 h 35 **Évaluation de la biodiversité des prairies semi-naturelles par télédétection hyperspectrale**
Mathieu Fauvel - DYNAFOR (Toulouse)
- 12 h **Estimation de la biodiversité des forêts tropicales par imagerie hyperspectrale : avancées du projet HyperTropik**
Jean-Baptiste Féret - Irstea, TETIS (Montpellier)
- 12 h 25 **Synthèse et clôture du colloque**
Jacques Populus - Ifremer, Rodolphe Marion - SFPT-GH, Véronique Carrère - SFPT-GH
Jean-Baptiste Féret - Irstea
- 13 h **Déjeuner au restaurant d'Ifremer**

Stands



Bonsai Advanced Technologies
France & Suisse
Éric Becourt
bonsaiadvanced.fr



HARRIS
Imanol Echave
exelisvis.com



HySpex
Lukas Paluchowski
hyspex.no



HyTech-Imaging
Marc Lennon
hytech-imaging.fr



LOT-QuantumDesign
Estelle Caffier
lot-qd.fr

Sponsors & labellisations



Centre national d'études spatiales (CNES)
cnes.fr



Programme National de Télédétection Spatiale (INSU, CNRS)
insu.cnrs.fr/pnts



Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
ifremer.fr



Université de Bretagne Occidentale (UBO)
univ-brest.fr



IEE Geoscience and Remote Sensing Society - French
sites.ieee.org/france-grss



GdR MaDICS (action ImHyp)
madics.fr

Édito

Depuis une quinzaine d'années, la télédétection hyperspectrale a connu un essor considérable dans la communauté internationale des utilisateurs d'images aéroportées ou de satellite. Les progrès techniques ont en effet permis le développement de capteurs capables d'acquérir des spectres de réflectance continus du visible au proche infrarouge afin de mieux caractériser les surfaces visées au sol. Dans ce domaine de longueurs d'onde, de nombreux paramètres géophysiques, géochimiques ou biochimiques sont accessibles par l'étude des spectres de réflectance caractéristiques des objets observés.

La communauté hyperspectrale française se réunit annuellement depuis 2011 pour faire le point sur les avancées de l'ensemble de la filière : futurs projets spatiaux nationaux et internationaux, nouveautés en matière d'instruments et de capteurs, progrès des méthodes et des algorithmes pour l'exploitation des données, validité des résultats. Dans la continuité, l'édition 2017 réunit la communauté scientifique nationale multidisciplinaire des utilisateurs de données hyperspectrales toutes thématiques confondues : géosciences, végétation, milieux littoraux et urbains, instrumentation, algorithmes...

En organisant ce colloque à Brest, l'Ifremer et l'Université de Bretagne Occidentale ont souhaité mieux faire connaître la technologie hyperspectrale et son potentiel pour étudier ce milieu complexe que représente le littoral.

Nous adressons nos remerciements les plus chaleureux au CNES et au PNTS ainsi qu'à tous nos sponsors pour leur soutien financier qui nous a permis d'organiser cet événement dans les meilleures conditions.

Comité d'organisation

Touria Bajjouk - Ifremer
Jacqueline Quentel - Ifremer
Jacques POPULUS - Ifremer
Christophe Delacourt - UBO
Nicolas Le Dantec - UBO/CEREMA
Carole Le Hir - UBO

Comité scientifique

Touria Bajjouk - Ifremer
Xavier Briottet - ONERA
Véronique Carrère - LPG
Christophe Delacourt - UBO
Stéphane Jacquemoud - IPGP
Nicolas Le Dantec - CEREMA/UBO
Rodolphe Marion - CEA



Missions hyperspectrales spatiales

Overview of European future hyperspectral missions

Marie-José Lefèvre-Fonollosa - CNES / DIA / PA

If numerous multispectral sensors exist in the world, the only hyperspectral payload in orbit remains, Hyperion, who has already demonstrated the potential of such technique to improve the earth understanding. It is now in the end of its life. Nevertheless, to complete the hyperspectral overview, some international hyperspectral projects are under study.

In Europe, two imaging spectrometers are scheduled to be launched in the near future, in one hand, PRISMA (PREcursor IperSpettrale della Missione Operativa), an ASI (Italian Space Agency) mission, coupled with a panchromatic camera, to be launched in 2018 and, in other hand, EnMAP, a German mission (DLR and GFZ), scheduled for 2018 too. At the same time, HYPEX-2 based on the study of HYPXIM mission (CNES) is currently presented at the Earth explorer 9 call; it will ensure continuity with EnMAP and PRISMA (similar revisit time) but with a better spatial resolution. In fact, with such a GSD change scale, HYPEX-2 gives access to new observables like tree rather than tree population, building characterization, accurate site contamination. HYPEX-2, with a higher spatial resolution (8 m versus 30) than EnMAP or PRISMA, is not considered as a global mission, and will complement the data acquired by these sensors, helping with scaling issues for a better understanding of environmental processes (from field to satellite).

Considering the high maturity of operational uses of hyperspectral concept, the European Commission is also studying this capability on the next Copernicus programme. This paper presents a scope of future Hyperspectral missions, focusing in Europe planned projects.

European Hyperspectral Explorer: HYPEX-2, a new space mission for monitoring anthropogenic influence on the critical zone

Xavier Briottet - ONERA, **G. Asner** - Carnegie Institution for Science (USA),
T. Bajjouk - Ifremer (France), **V. Carrère** - University of Nantes (France),
S. Chabrillat - GFZ (Germany), **M. Chami** - University Pierre et Marie Curie (France),
A. Dekker - University of Queensland (Australia), **C. Delacourt** - University of Bretagne
Occidentale (France), **J.-B. Féret** - Irstea (France), **P.-Y. Foucher** - ONERA (France),
P. Gamba - University of Pavia (Italy), **P. Gege** - DLR (Germany), **C. Gomez** - IRD (France),
S. Jacquemoud - University Paris Diderot (France), **C. Lelong** - Cirad (France), **R. Marion**
CEA (France), **D. McKee** - University of Strathclyde (Scotland), **A. Minghelli** - University
of Toulon (France), **D. Rocchini** - University of Trento (Italy), **M.-J. Santos** - Utrecht University
(Netherlands), **M. Schaeppman** - University of Zurich (Switzerland), **T. Schmid** - CIEMAT (Spain),
D. Sheeren - ENSAT (France), **M. Shimoni** - RMA (Belgium), **A. Skidmore** - ITC (Netherlands),
B. Somers - KU Leuven (Belgium), **B. Stenberg** - Swedish University of Agricultural
Sciences (Sweden), **C. Weber** - TETIS (France), **Marie-José Lefèvre** - CNES (France),
S. Lopez - University of Las Palmas de Gran Canaria (Spain)

This presentation will describe the HYPEX-2 mission which aims to deliver an integrative vision of heterogeneous and dynamic systems, in order to monitor the influence of human activity on natural environment (soil, vegetation, water) and urban areas. This demonstrator is a ground-breaking mission to greatly advance our knowledge of specific critical zones (hot spots) distributed across a variety of climatic and environmental conditions, with unprecedented combination of high spectral, spatial and temporal resolution. The specifications of this mission will therefore allow directly relating a selection of ecosystem variables and processes observed in situ with remotely sensed information, and contribute to bridging the information gap between local ground observations and global Earth observation data acquired by present missions such as the Sentinel constellation. HYPEX-2 will enable the monitoring over time of ecosystem variables over 100 hot spots requiring simultaneous high spectral, spatial and temporal acquisitions in the solar domain. So far, such a configuration is not available through present or future planned Earth observation missions.

The main technical performances of the proposed system will be presented.

Développements instrumentaux

Les performances des instruments optiques Sentinel 3: OLCI et SLSTR

Sandrine Mathieu, Yvan Baillon, Dimitri Lebedeff, Benjamin Francesconi - Thales (Cannes la Bocca), Jens Nieke, Ricardo Duca - ESA/ ESTEC (Pays-Bas)

Depuis le 16 février 2016, le satellite Sentinel 3 de la mission Copernicus de l'Agence Spatiale Européenne est en orbite basse. Il a emporté avec lui plusieurs instruments, dont OLCI (Ocean and Land Color Imager) et SLSTR (Sea Land Surface Temperature Radiometer).

Le capteur OLCI a livré ses premières images quelques jours plus tard, initiant les premiers tests en orbite. Les tests de OLCI et SLSTR sont maintenant terminés et les résultats complets sont disponibles depuis peu, aussi bien au niveau radiométrique et spectral, qu'au niveau géométrique.

Nous présenterons ces résultats, en appuyant sur les différences avec les capteurs hérités d'ENVISAT (MERIS et AATSR). Le produit fusionné OLCI/SLSTR dédié à la végétation sera aussi présenté.



Composition colorée S3A
OLCI Cocolithophore datant
du 5 juillet 2016

Développements instrumentaux à l'ONERA pour l'imagerie hyperspectrale infrarouge

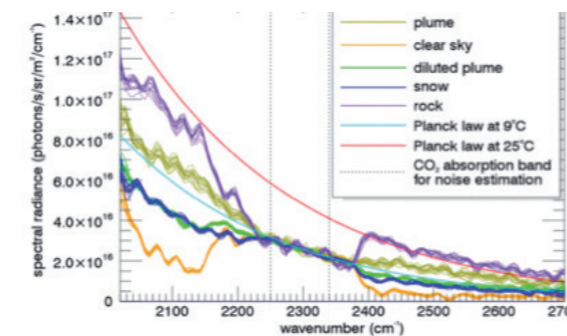
Yann Ferrec, Christophe Coudrain, Laurence Croizé, Nicolas Guérineau, Armande Pola Fossi, Sylvain Rommeluère, Laurent Rousset-Rouvière - ONERA (Palaiseau)

Depuis plusieurs années, l'ONERA développe des imageurs hyperspectraux pour l'infrarouge, la plupart basés sur des interféromètres statiques. Cette solution optique présente plusieurs avantages, en particulier un flux collecté important et une absence de parties mobiles, particulièrement utiles dans le domaine infrarouge ou pour faire des instruments compacts. En contrepartie, le traitement des données est plus complexe qu'avec une méthode de mesure directe du spectre (par exemple avec un élément dispersif ou des filtres étroits). Sileters et Sibi sont deux instruments de ce type réalisés ces dernières années à l'ONERA. Microspoc imageur est lui un projet en cours de développement, ayant pour application la science de l'atmosphère.

Sileters est un couple (MWIR et LWIR) d'imageurs aéroportés développés avec la DGA dans le cadre du projet Sysiphe, ayant pour but la réalisation d'un système hyperspectral aéroporté à haute résolution spatiale et moyenne résolution spectrale. Plusieurs campagnes de mesures ont déjà eu lieu, permettant d'estimer les performances du système en vol.

Sibi a été réalisé dans le cadre d'une collaboration entre l'ONERA et Sagem. Il s'agit d'un spectro-imageur infrarouge [3,7-4,8 μm], à moyenne résolution spectrale, très compact, afin d'être facilement installé sur site ou intégré sur un drone léger.

Microspoc imageur est un projet d'imageur hyperspectral caractérisé par une haute résolution spectrale, nécessaire à un grand nombre d'études atmosphériques, comme la mesure des gaz à effet de serre (collaboration ONERA/Ipag) ou l'étude des phénomènes lumineux transitoires dans la haute atmosphère (collaboration ONERA/LATMOS). Microspoc imageur est actuellement au stade des études théoriques, mais des premières démonstrations expérimentales pour valider le concept optique devraient avoir lieu en 2017 ou 2018.



Spectre de quelques points

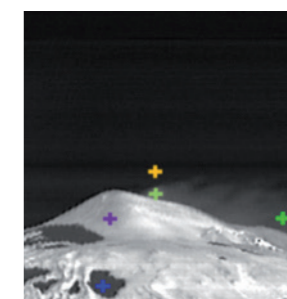
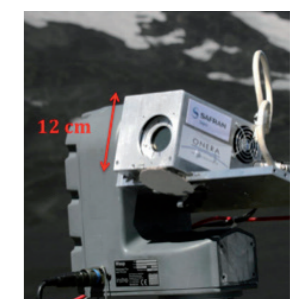


Image monochromatique
à 2060cm^{-1} ($4,8\mu\text{m}$)



L'instrument Sibi
sur une tourelle lors
de la campagne
ImagEtna organisée
par le LPC2E

Développement d'un système d'imagerie hyperspectrale par drone

Marion Jaud, Jérôme Ammann, Christophe Delacourt - Laboratoire Géosciences Océan (Plouzané), Université de Bretagne Occidentale (Brest), IUEM (Plouzané), **Nicolas Le Dantec** - Laboratoire Géosciences Océan (Plouzané), Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (Plouzané), **Philippe Grandjean, Pascal Allemand** - Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, Planètes, Environnement (Villeurbanne), **Dragos Constantin, Yosef Akthman** - Laboratoire TOPO, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse)

L'imagerie hyperspectrale présente un fort potentiel pour la recherche environnementale, qu'il s'agisse de l'étude de l'atmosphère, des sols, de la biomasse, ou des eaux continentales et littorales. Généralement, ces images hyperspectrales sont acquises depuis des plateformes satellites ou aéroportées. Toutefois, les missions aéroportées sont extrêmement coûteuses et réclament une logistique contraignante, avec une forte dépendance aux conditions météorologiques. Les données satellites sont très contraintes en termes de date d'acquisition, de résolution spatiale et de temps de revisite. Une plateforme drone, offrant une grande souplesse d'acquisition pour un coût modéré, permet donc de compléter l'offre nationale et internationale d'imagerie satellitaire. En revanche, sur ce type de plateforme, l'emport de charges utiles représente une contrainte majeure.

Des caméras hyperspectrales légères et compactes sont désormais disponibles, mais à l'heure actuelle, hormis quelques exceptions ayant des performances plus limitées en termes de qualité d'image, les capteurs s'appuient sur une technologie push-broom, difficilement compatible avec les mouvements peu contraints d'un drone. Les données acquises doivent donc être corrigées géométriquement afin qu'un cube hyperspectral puisse être généré.

La plateforme Hyper-DRELIO, développée en collaboration entre le Laboratoire Géosciences Océan de l'Université de Brest, le Laboratoire de Géologie de l'Université Lyon 1 et le laboratoire TOPO de l'EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) est basée sur un octocoptère électrique HALO_8 (DroneSys®) qui peut embarquer jusqu'à 5 kg de charge utile. Le drone est notamment équipé d'une caméra hyperspectrale MicroHyperspec® (Headwall®) avec un capteur VNIR (400-1000 nm) enregistrant 250 bandes avec une résolution spectrale de 1,85 nm et d'une caméra légère RGB. En parallèle des capteurs d'imagerie, un GPS RTK et une centrale inertielle 3 axes Ekinox-D (SBG System®) enregistrent les informations de position et d'attitude.

Un logiciel a été développé afin de corriger géométriquement et géoréférencer les données hyperspectrales a posteriori en exploitant les paramètres de navigation du drone.



Drone Hyper-DRELIO pour l'imagerie hyperspectrale

HySpex Mjolnir-1024: the first scientific grade hyperspectral camera for UAVs

Trond Løke, Ivar Baarstad, Julio Hernandez, Pesal Koirala, Andrei Fridman

The HySpex Mjolnir-1024 hyperspectral camera provides a unique combination of small form factor and low mass combined with high performance and scientific grade data quality. Top level specifications include a spatial resolution of 1024 pixels and a spectral resolution of 200 bands and high light throughput (F1.8). A rugged design with good thermal and mechanical stability makes this camera an excellent option for a wide range of scientific applications for UAV operations and field applications. The optical architecture is based on the high-end ODIN-1024 system and features a total FOV of 20 degrees.

With a total mass of less than 4.5 kg including hyperspectral camera, data acquisition unit, battery, IMU and GPS, the system is suitable for even small UAVs. The system is generic and can be deployed on a wide range of UAVs with various downlink capabilities. The ground station software enables full control of the sensor settings and also has the capability to show in real time where the UAV is located, plot the track of the UAV and display the image footprint in order to give instant feedback on spatial coverage. Real time processing results can also be displayed directly on the ground control station. The system can be triggered automatically by the UAV's flight management system, but can also be controlled manually.

In this presentation, we will present results from tests of the performance and stability of the system and give an overview of the complete system from the hyperspectral camera to computer, navigation system and software. We will also present the methods used to calibrate and characterize this system. We will also introduce a new real time processing software that will be running on the data acquisition unit inside Mjolnir. This software will enable real time georeferencing and rectification, real time indices maps and real time classification for various applications.

Méthodes: atmosphère

Hyperspectral remote sensing for detection and identification of industrial aerosol plumes with a Cluster-Tuned Matched Filter

Yannick Philippets, Rodolphe Marion - CEA, DAM, DIF (Arpajon),
Xavier Briottet, Pierre-Yves Foucher - ONERA (Toulouse)

Remote sensing tools have been widely used over the past twenty years to study atmospheric composition, especially aerosols^[1]. These fine particles suspended in the atmosphere have a major role in the Earth's global radiation budget and the study of these particles is essential for a better comprehension of climate change^[2].

Many satellite products have been developed to provide, for example, maps of aerosol optical thickness at a global or regional scale^[3]. However, the low spatial resolution of the used instruments (AVHRR, MODIS, POLDER) does not allow to study industrial aerosols close to their emission points, while these anthropogenic particles are precisely the least known. Therefore, we suggest, in this study, to use airborne hyperspectral imaging in the visible and near-infrared to detect and identify the particles contained into industrial plumes.

The adapted filtering algorithm CTMF (for Cluster-Tuned Matched Filter^[4]) has recently been applied with success on various industrial plumes to determine the nature of the emitted gases and eventually their concentrations^{[5][6]}. In this work, we propose to adapt the CTMF algorithm to the case of industrial aerosols. We have first studied the microphysical and optical properties of the particles emitted by major industries in order to provide a classification of the most representative families for aerosols released by observed plants.

Then, from a linearized equation of the radiative transfer for an atmosphere containing a plume of low aerosol optical thickness, we have determined the coefficients of the CTMF filter for each class of industrial release.

Finally, these coefficients are tuned to take into account the effect of the surface reflectance beneath the plume. In practice, applying this filter to an hyperspectral image allows 1) to compute a detection map for each aerosol class and 2) to identify the most likely class of release.

The results obtained on images simulated from the radiative transfer code MODTRAN 5 confirm the feasibility of the proposed approach. We will present these results during the conference as well as tests on real images taken from airborne measurement campaigns with CASI and AVIRIS sensors. We will also discuss the validity of the assumptions made to compute the filter coefficients and propose some future works.

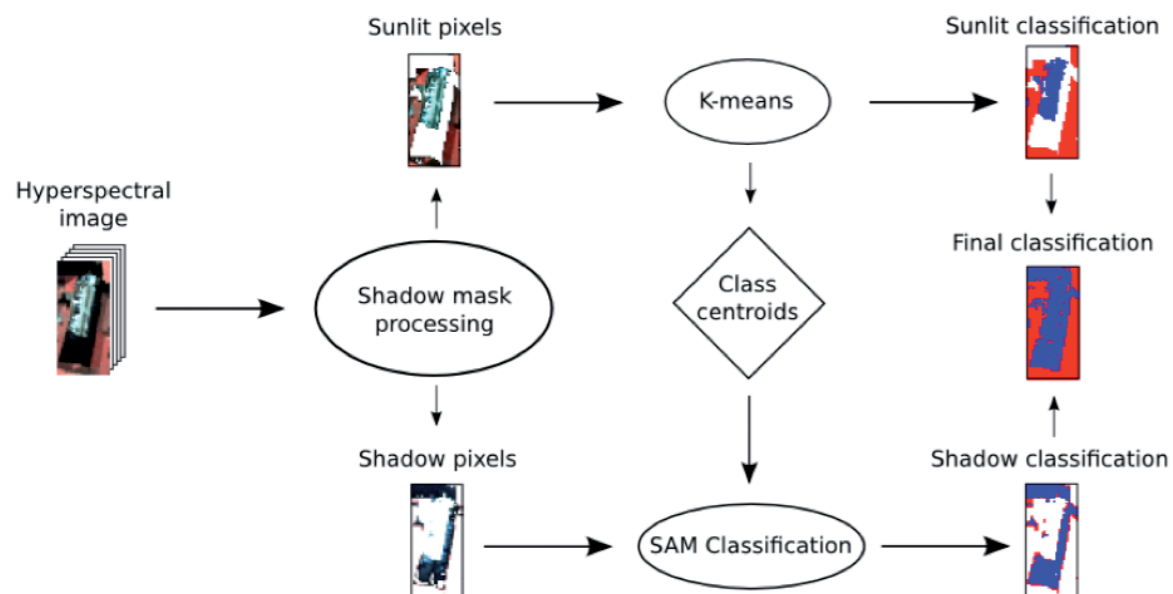
› Références

[1] M.D. King, Y.J. Kaufman, D. Tanré, T. Nakajima. "Remote sensing of tropospheric aerosols from space: past, present and future", *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 80, p. 2229-2259, 1999. [2] T.F. Stocker, D. Qin, G. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley, IPCC, 2013. *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, UK and New York, NY, USA, 1535 pp. [3] Moosmüller H., Chakrabarty R.K. and Arnott W.P. "Aerosol light absorption and its measurement: a review", *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, 110, p. 844-878, 2009. [4] C.C. Funk, J. Theiler, D.A. Roberts, C.C. Borel. "Clustering to improve matched filter detection of weak gas plumes in hyperspectral imagery", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 39, p. 1410-1420, 2001. [5] A.K. Thorpe, D.A. Roberts, E.S. Bradley, C.C. Funk, P.E. Dennison, I. Leifer. "High resolution mapping of methane emissions from marine and terrestrial sources using a Cluster-Tuned Matched Filter technique and imaging spectrometry", *Remote Sens. Environ.*, 134, p. 305-318, 2013. [6] P.E. Dennison, A.K. Thorpe, E.R. Pardyjak, D.A. Roberts, Y. Qi, R.O. Green, E.S. Bradley, C.C. Funk. "High spatial resolution mapping of elevated atmospheric carbon dioxide using airborne imaging spectroscopy: Radiative transfer modeling and power plant plume detection", *Remote Sens. Environ.*, 139, p. 116-129, 2013.

Comparison of two atmospheric correction methods for the classification of spaceborne urban hyperspectral data depending on the spatial resolution

Guillaume Roussel - ONERA (Toulouse), Christiane Weber, Xavier Briottet, Xavier Ceamanos

Pour des applications de télédétection telles que l'identification ou la classification de spectres, la correction atmosphérique constitue une étape de prétraitement cruciale, notamment dans les environnements urbains où de nombreux phénomènes altèrent la forme du signal. Nos travaux ont pour objectif de comparer l'efficacité de deux algorithmes de correction atmosphérique, COCHISE et une méthode empirique, sur des données hyperspectrales et pour des applications de classification. Quatre images issues de capteurs satellitaires ont été simulées selon un processus rigoureux (tenant compte du rapport signal à bruit et de la FTM des capteurs) à partir de données HySpex, avec des résolutions spatiales allant de 1,6 mètres à 9,6 mètres. De même, quatre algorithmes de classification ont été considérés durant l'étude: un K-means, un SVM et une version ombre/soleil de ces derniers, laquelle traite séparément les pixels illuminés et ombragés. Les résultats montrent que la méthode de correction atmosphérique la plus pertinente dans ce contexte dépend de la résolution spatiale du jeu de données traité. En effet, si la méthode empirique est plus performante sur les jeux de données haute résolution (jusqu'à 4 %), son intérêt diminue avec une résolution spatiale plus grossière, tout particulièrement à 9,6 mètres où la méthode COCHISE donne des résultats plus précis.

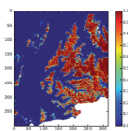


Méthodes: modèles de mélange, classification orientée objet, reconnaissance

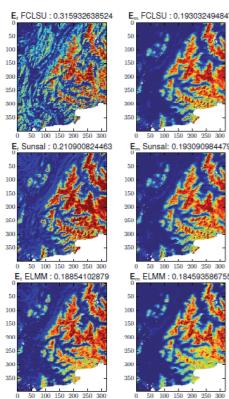
Using time series to improve endmembers estimation on multispectral images for snow

Théo Masson, Mauro Dalla Mura - GIPSA-lab, Grenoble INP (Saint-Martin-d'Hérès),
Marie Dumont - Météo France, CNRS, CNRM-GAME, CEN (Saint-Martin-d'Hérès),
Jocelyn Chanussot - GIPSA-lab, Grenoble INP (Saint-Martin-d'Hérès), Faculty
of Electrical and Computer Engineering (Reykjavik, Iceland)

Spectral Unmixing (SU) relies on the spectral signature of some pure materials and attempts to retrieve their abundance in the scene. However, natural materials are subject to spectral variability. For snow monitoring, which is the topic of this study, variability in spectra is due to factors such as diverse snow microstructures, different solar illumination condition and topography. Moreover, spectral variability affects also non target spectra such as “background” land covers. For example, if we consider an Alpine area, the scene can include different classes of vegetation (e.g., trees, shrub and grass), urban environment and mountain environment (e.g., rock, pasture, snow and ice). Each of these classes of materials will have its own intrinsic spectral and temporal variability. Furthermore, topography in mountainous areas severely affects the observed spectra due to variable solar illumination (e.g., shading and multiple reflections) and different surface aspect angles. The literature on spectral variability is broad (e.g., see Somers, 2012, Drumetz, 2015), but mainly focuses on hyperspectral data and high spatial resolution acquisitions (Ground Sampling Distance lower than 10 m). The application of these approach for Earth monitoring which is based on multispectral at moderate and high spatial resolution (20-250 m), is limited by the few number of bands or the large size of the pixels. In this case, pure material pixels are often rare and some approach for spectral variability like clustering (Somers, 2012) may add mixed pixels in the set of endmembers. Endmembers libraries may not fully represent the high diversity of on ground materials and there potential spectral variability. An endmember estimation algorithm like Vertex Component Analysis (VCA) could be a good alternative, but usually does not converge to the suitable solution and can produce endmember which contained mixed materials of are artifact. The methodology proposed here aims at finding the suitable set of endmembers for each scene. We start from the concept than our target is snow, and the global environment around the snow surface does not evolve so rapidly. We propose to extract endmember of non-snow surface on the scene and test their relevance by measuring the reconstruction error on the date under analysis, but also on few past days in order to assess the robustness of the set of endmembers. In addition, abundance estimation is made using different approaches in order to find the most suitable algorithm for multispectral snow detection. The proposed approach is tested on MODIS data (7 fused bands at 250 m with revisit time of 1 day) over the French Alps.



(a) Reference



(b) Results

Reference snow map, unmixed snow map and corresponding RMSE. On left with theoretical set of endmembers and the proposed approach on right.

› Références

- Ben Somers, Maciel Zortea, Antonio Plaza, Gregory P Asner. “Automated extraction of image-based endmember bundles for improved spectral unmixing”, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 5, no. 2, pp. 396–408, 2012.
- Lucas Drumetz, Simon Henrot, Miguel Angel Veganzones, Jocelyn Chanussot, Christian Jutten. “Blind hyperspectral unmixing using an extended linear mixing model to address spectral variability”, in *IEEE Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS 2015)*, 2015.

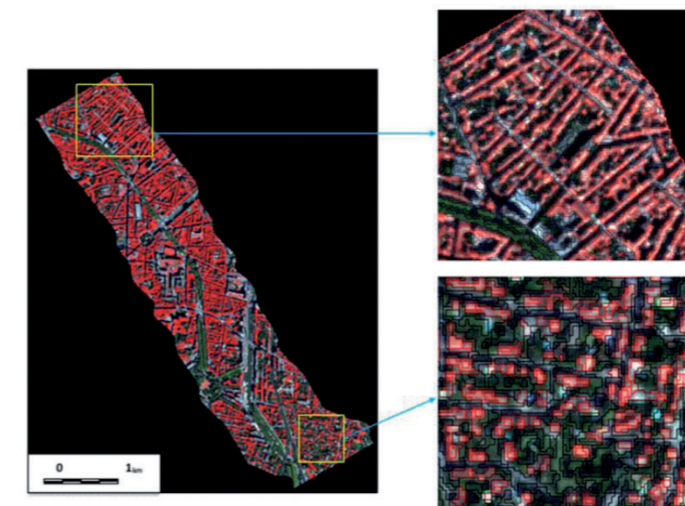
Extraction des surfaces imperméables à partir d'une image hyperspectrale en utilisant une méthode orientée-objet

Rahim Aguejdad, Aziz Serradj - LIVE (Strasbourg), **Christiane Weber** - Maison de la Télédétection (Montpellier), **Xavier Briottet** - ONERA (Toulouse)

La forte hétérogénéité spectrale et spatio-temporelle caractérisant les espaces urbanisés explique pourquoi l'extraction des objets urbains reste un challenge, et ceci malgré les avancées acquises sur le plan de la donnée et des méthodes de traitement. En effet, la caractérisation des surfaces imperméables exige une connaissance plus fine de la variabilité des types de matériaux et de revêtement des bâtiments et infrastructures. Par conséquent, et contrairement à l'imagerie multispectrale, le recours à l'imagerie hyperspectrale représente un véritable atout pour l'amélioration de la qualité d'identification des observables en milieu urbain.

Le but de cette étude est d'explorer les capacités de l'imagerie hyperspectrale pour l'extraction des surfaces imperméables en milieu urbain. La démarche consiste à utiliser une méthode de classification orientée-objet sur un jeu de données simulées (192 bandes : 0,4 μm -2,5 μm ; résolution : 4 m) à partir d'une image issue de la campagne UMBRA (IGN et ONERA, 2015). Elle est appliquée à la ville de Toulouse dans le cadre du projet de recherche ANR HYP. Ce dernier a pour objectif de justifier la mission HYPXIM (CNES), de constituer une base de données morpho-spectrales à partir des principales bases de données existantes, et de définir des moyens de traitements adaptés à l'imagerie hyperspectrale.

Les premiers résultats mettent en évidence un fort potentiel de l'imagerie hyperspectrale pour l'extraction des objets urbains. Ils illustrent également que l'approche orientée-objet par le biais de la logique floue donne des résultats prometteurs pour l'identification des matériaux de toiture en se basant uniquement sur l'information spectrale. A l'inverse des tuiles rouges et des toitures métalliques, qui sont facilement identifiables à l'aide de l'information spectrale seulement, les toits en béton et gravier sont confondus avec les routes. La prise en compte de l'information 3D pourrait aider à mieux discriminer les bâtiments du réseau routier.



Reconnaissance de visage en biométrie

Mébarka Belahcene - Université Mohamed Khider (Algérie)

Les systèmes actuels de reconnaissance de visage en biométrie ont atteint un certain niveau de qualité dans des environnements contrôlés. Cependant, si quelques conditions de l'environnement (telles que l'éclairage, la pose, l'expression...) changent, la performance diminue considérablement. L'imagerie hyperspectrale (IHS) offre de nouvelles opportunités pour la discrimination entre les visages de personnes. Cependant l'extraction, compacte et discriminatoire de grande dimension de caractéristiques (cubes images IHS) est une tâche difficile.

Bien que la complexité du monde réel exige de bénéficier des autres caractéristiques des images, parmi lesquelles l'information spatiale semble plus prépondérante dans la plupart des applications, l'IHS fournit la signature spectrale de chaque objet qui est une information importante pour l'analyse et la reconnaissance des visages (notamment dans les cas de variantes: âge, ethnie, chirurgie esthétique, sexe, parenté...).

Dans ce travail nous nous concentrons sur la partie extraction de caractéristiques et nous étudions la performance des techniques Gabor pour la reconnaissance des visages dans l'IHS. Nos expériences sont validées sur la base universelle du visage IHS UWA-HSFD. D'après les résultats obtenus par cette implémentation, nous constatons que les valeurs des paramètres du filtre de Gabor $\theta = \pi/2$ et $\lambda = 16$ avec un nombre de paramètres caractéristiques $N_p(\text{PCA}) = 100$ et $N_p(\text{EFM}) = 50$ donne le meilleur résultat du paramètre EER (Equal Error Rate) égal à 0.6667 % et un meilleur résultat de VR (Verification Rate) égal 90 %. Une comparaison des résultats avec les techniques classiques de reconnaissance des visages confirme que nos résultats sont encourageants.

Méthodes: fusion des données

Etude de la complémentarité et de la fusion des images qui seront fournies par les futurs capteurs satellitaires OLCI / Sentinel 3 et FCI / Météosat Troisième Génération

Cécile Péschoud - LSIS, Université de Toulon, Scalian (Labège), Audrey Minghelli - LSIS, Université de Toulon, Manchun Lei - Université de Toulon, IGN, LaSTIG (Saint-Mandé), Sandrine Mathieu - Thales Alenia Space (Cannes la Bocca)

L'objectif de ce travail de thèse était de proposer, valider et comparer des méthodes de fusion d'images provenant d'un capteur héliosynchrone hyperspectral et d'un capteur géostationnaire multispectral, pour produire des cartes de composition de l'eau détaillées spatialement et les mieux rafraîchies possibles. Notre méthodologie a été appliquée à des données simulées des capteurs héliosynchrone OLCI sur Sentinel-3 et géostationnaire FCI sur Météosat Troisième Génération. Dans un premier temps, sur la base de leurs caractéristiques techniques, la sensibilité des deux capteurs à la couleur de l'eau a été analysée. Les images des capteurs OLCI et FCI n'étant pas encore disponibles, ont donc été simulées sur le Golfe du Lion, grâce à des cartes d'hydrosols (chlorophylle, matières en suspension et matières organiques dissoutes) et à des modèles de transfert radiatifs (HydroLight et Modtran).

Deux méthodes de fusion ont ensuite été adaptées puis testées à partir des images simulées : la méthode SSTF (Spatial, Spectral, Temporal Fusion) inspirée de la fusion de Vanhellemont et al. (2014), et la méthode STARFM (Spatial Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model) de Gao et al. (2006). Les résultats de fusion ont alors été validés avec des images de référence simulées et les cartes d'hydrosols estimées à partir de ces images ont été comparées aux cartes utilisées en entrée des simulations. Pour améliorer le SNR des images FCI, un filtrage temporel a été proposé. Enfin, comme le but est d'obtenir des indicateurs de qualité de l'eau, nous avons testé les méthodes de fusion sur les cartes d'hydrosols estimées à partir des images FCI et OLCI simulées.

Fusion de classifications pour l'utilisation conjointe d'images multispectrales à très haute résolution spatiale et hyperspectrales

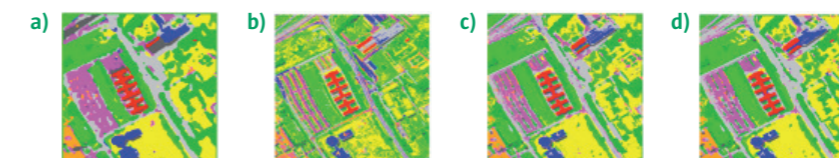
Walid Ouerghemmi, Arnaud Le-bris, Clement Mallet - IGN, LaSTIG, MATIS (Saint-Mandé), Nesrine Chehata - ENSEGID (Bordeaux)

L'imagerie multispectrale (MS) à très haute résolution spatiale (THR) et l'imagerie hyperspectrale (HS) de résolution spatiale généralement plus faible sont deux sources complémentaires pour la classification des objets urbains. La première permet en effet une délimitation fine des objets, tandis que la seconde favorise une discrimination de classes plus détaillées. Ce travail présente un processus de fusion au niveau des décisions, prenant en entrée les classifications issues de ces deux types de données et en déduisant une classification tirant le meilleur parti de ces deux sources d'information de manière à gérer à la fois les incertitudes spatiales et sémantiques. La méthode proposée se situe donc à l'issue de la classification des images hyperspectrales et multispectrales, et exploite les cartes de probabilités a posteriori d'appartenance aux différentes classes selon ces deux sources. Elle se déroule alors en deux étapes :

- 1) On fusionne d'abord les mesures d'appartenance aux classes d'après les deux types d'images. Plusieurs méthodes de fusion ont été comparées dans cette étude.
- 2) La carte de classification finale est ensuite obtenue à l'issue d'une régularisation globale. Il s'agit de favoriser la classification la plus fidèle tout en étant la plus régulière. En pratique, cela consiste à optimiser un modèle énergétique composé d'un terme d'attache à la données lié aux mesures d'appartenance aux classes issues de l'étape précédente ainsi que d'un terme de régularisation tenant compte du contraste de l'image MS THR. Ce problème se formalise sous la forme d'un modèle graphique et est résolu par un algorithme de coupe optimale de graphe (graph cut).

Ce processus a été testé sur trois jeux de données incluant les jeux de données de la littérature Pavie Université et Pavie Centre, ainsi que le jeu de données UMBRA sur Toulouse. Les images hyperspectrales de ces jeux de données ont été dégradées de manière à simuler des images multispectrales de même résolution spatiale ainsi que des images hyperspectrales de résolution spatiale plus basse.

Des exemples de résultats obtenus sur Pavie Université sont présentés ci-dessous. Le classifieur utilisé ici pour classer les images multispectrales et hyperspectrales est un SVM à noyau gaussien. Plusieurs méthodes de fusion donnent de bons résultats ; les meilleurs résultats (présentés sur la figure 1.c) ont été obtenus ici par la règle floue dite du « Min », avec une précision globale de 96 %, tandis que les précisions globales des classifications des images HS et MS avant fusion étaient respectivement de 94,7 % et 68,8 % (Fig 1.a-b). La régularisation améliore ensuite le résultat (précision globale = 97 %) notamment dans les zones les plus incertaines en lissant davantage la classification finale (Fig 1.d).



Exemples de résultats pour le jeu de données Pavie Université :
a) classification SVM d'une image hyperspectrale de résolution spatiale dégradée,
b) classification SVM d'une image multispectrale à très haute résolution spatiale,
c) classification issue de la fusion par la règle « Min »,
d) classification finale à l'issue de la régularisation globale.

Panorama des méthodes de pan-sharpening pour les images hyperspectrales

Stéphane May - CNES, Rodolphe Marion - CEA

Cette présentation dresse un panorama des méthodes de pan-sharpening pour les images hyperspectrales. L'objectif est de présenter succinctement quelques grandes familles algorithmiques, se placer dans un cas d'utilisation, et de voir les artefacts causés par les méthodes de fusion P + HX.

Plusieurs mesures de performances seront utilisées pour le comparatif des méthodes. Selon que l'on exploite les méthodes de pan-sharpening dans les bandes communes avec l'image panchromatique, et dans des bandes plus éloignées, les performances des algorithmes diffèrent. De plus, selon le rapport de résolution entre l'image panchromatique et l'image hyperspectrale, des écarts de performances entre les algorithmes apparaissent.

Collaborative total variation for hyperspectral pan-sharpening

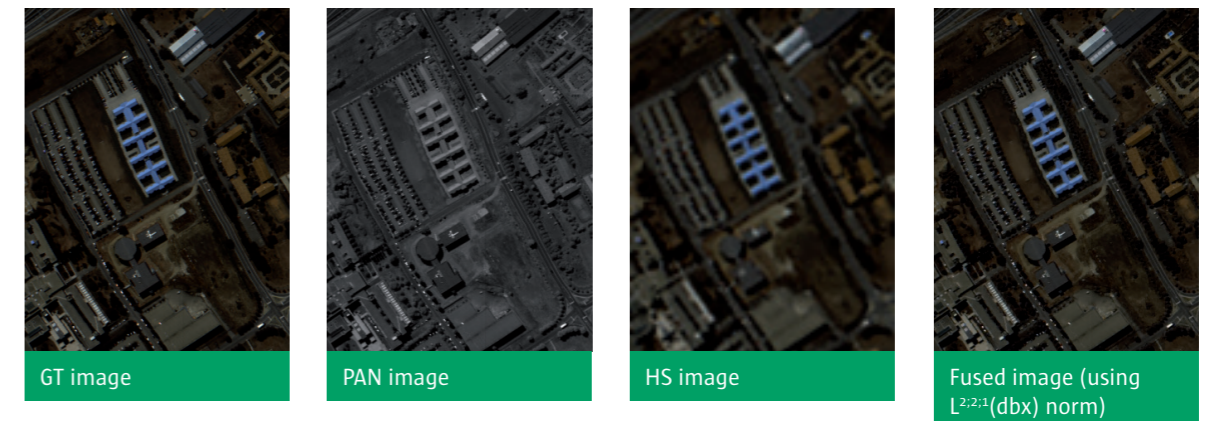
P. Adesso, R. Restaino, D. Picone - DIEM, University of Salerno (Italy), M. Dalla Mura, J. Chanussot, L. Condat - GIPSA-lab, Grenoble Institute of Technology (Grenoble), G. Vivone - NATO, STO, Centre for Maritime Research and Experimentation

HyperSpectral (HS) images are composed of several spectral channels with a medium/low spatial resolution. The high spectral resolution allows to finely sample the spectral signature of the materials present on a scene, as required by several applications as precision agriculture or mineral mapping^[1]. Conversely, high spatial resolution images (e.g., PANchromatic (PAN) images) can give a precise representation of the spatial details but with poor spectral information. Due to physical constraints of the acquisition devices, high spatial resolution and high spectral diversity are hardly reachable together. In this scenario, data fusion techniques allow to obtain data that share both these desirable characteristics. This work addresses hyperspectral pansharpening^[2], that is the fusion of a HS with a PAN image acquired on the same area. In particular, we focus on a variational approach based on convex optimization, which was firstly presented in^[3]. This work delves in the same direction by further analyzing the properties and the effectiveness of several CTV norms by showing their impact in the solutions obtained by the fusion process.

› Références

- [1] J. M. Bioucas-Dias, G. Camps-Valls, P. Scheunders, N. Nasrabadi, J. Chanussot. "Hyperspectral remote sensing data analysis and future challenges", *Geoscience and Remote Sensing Magazine, IEEE*, vol. 1, no. 2, pp. 6–36, 2013.
- [2] L. Loncan, S. Fabre, L. B. Almeida, J. M. Bioucas-Dias, L. Wenzhi, X. Briottet, G. A. Licciardi, J. Chanussot, M. Simoes, N. Dobigeon, J. Y. Tourneret, M. A. Veganzones, W. Qi, G. Vivone, N. Yokoya. "Hyperspectral pansharpening: A review", *IEEE Geosci. Remote Sens. Mag.*, vol. 3, no. 3, pp. 27–46, Sep. 2015.
- [3] M. Simoes, J. M. Bioucas-Dias, L. B. Almeida, J. Chanussot. "A convex formulation for hyperspectral image superresolution via subspace-based regularization", *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 53, no. 6, pp. 3373–3388, 2015.

Pavia University dataset



Modèle optiques du microphytobenthos (MPBOM): indépendance d'échelle et traitement de l'information pigmentaires

Patrick Launeau - LPG, Vona Méléder, Bruno Jesus et Laurent Barillé - Laboratoire Mer Molécules Santé, Université de Nantes, Farzaneh Kazemipour - Terres Inovia (Bretenièrre)

Le microphytobenthos (MPB) forme des biofilms de grande extension à la surface de vasières découvertes à marée basse difficile d'accès dont la cartographie requiert des méthodes de quantification à distance préservant les sites étudiés. Ce MPB est principalement constitué de diatomées épipéliques migrant à la surface des vasières à marée basse pour former un gel dont la cohésion est assurée par la production d'exopolysaccharides (EPS). Kazemipour et al. (2011)^[1] ont montré que celui-ci pouvait être considéré comme étant une seule couche translucide d'un empilement de cellules adhérentes l'une à l'autre par la présence d'EPS, sans espace contrairement à la structure des feuilles. La signature de ce gel ne provient que de l'abondance du cortège pigmentaire des chloroplastes. Ceci est attesté par une combinaison de mesures sur fond noir et blanc qui ont montré que le MPB n'avait aucune contribution en réflectance et que seule l'absorption des pigments modifiait leur signature spectrale. Un modèle optique à une couche absorbante sur un support opaque a ainsi été développé à partir des équations de réflectance et transmittance de Fresnel aux interfaces du biofilm (R_f et T_f). De là sont déduits le coefficient d'atténuation η puis via Lambert le coefficient d'absorption α directement comparable avec des mesures indépendantes par chromatographie HPLC en mg de chlorophylle a par m^2 ($mg\ Chl a.m^{-2}$). La hauteur du pic de chlorophylle a à 673 nm est alors reliée à la biomasse par : $MPB\ Biomasse = 96,9_{\alpha 673}\ nm$.

Kazemipour et al. (2012)^[2] ont simplifié le calcul. Puisque la réflectance du biofilm est négligeable, sa transmittance peut être donnée par le rapport entre réflectance apparente mesurée en surface (RA) et celle du support (RB). La lumière faisant un aller et retour à travers le biofilm il convient d'en prendre la racine carrée: $T = (R_A/R_B)^{0.5}$. La même démarche appliquée au calcul de T_f alors assimilable au coefficient d'atténuation η nous obtenons $\eta = T^{1/3}$ puis $\alpha = -\ln(\eta)$. Constatant que le spectre de réflectance du MPB est parfaitement translucide au-delà de 750 nm, une fenêtre jusqu'à 920 nm peut être utilisée pour estimer la contribution de R_b en tout point d'une vasière. Celle-ci étant quasiment une droite entre 580 nm et 920 nm une régression linéaire sur l'intervalle de transparence du MPB permet d'estimer la contribution du support en la prolongeant jusqu'à 580 nm pour calculer T, η et α et en déduire une biomasse à 673 nm. Mais tout pic α à 673 nm n'est pas forcément du MPB dominé par des diatomées. C'est la raison pour laquelle des indices de sélections de formes caractéristiques de réflectances ont été proposés. Depuis ces deux premières publications nous avons mis en évidence une décorrélation nette entre biomasse donnée par le pic α à 673 nm et une série d'indices spécifiques indépendant de la biomasse car uniquement liés aux proportions relatives de pigments qui peuvent alors servir de diagnostic pour différents types de biofilms : diatomées, euglènes, cyanobactéries et détection de microalgues rouges (rhodophycées). Mieux encore, cette décorrélation peut être utilisée pour montrer que le MPBOM est insensible au changement d'échelle spatiale et donc que les étalonnages sur expérimentation de laboratoire sont directement applicables aux images panoramiques, aéroportées et spatiales de résolution spectrale suffisante.

› Références

[1] F. Kazemipour, V. Méléder, P. Launeau (2011). "Optical properties of microphytobenthic biofilms (MPBOM): Biomass retrieval implication". *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 112, 131-142 [2] F. Kazemipour, P. Launeau, V. Méléder (2012). "Microphytobenthos biomass mapping using the optical model of diatom biofilms: Application to hyperspectral images of Bourgneuf Bay". *Remote Sensing of Environment*, 127, 1-13

Cartographie du taux de transfert des électrons (ETR), proxy de la production primaire du microphytobenthos des vasières intertidales par télédétection hyperspectrale

Vona Méléder, Bruno Jesus, Laurent Barillé - Laboratoire Mer Molécules Santé, Remote Sensing and Benthic Ecology Group, Université de Nantes, Johann Lavaud - TAKUVIK, Université Laval à Québec, Patrick Launeau - Laboratoire de Planétologie et Géodynamique, Université de Nantes

Le microphytobenthos (MPB) est composé de micro-organismes photosynthétiques, majoritairement des diatomées, qui forment des biofilms à la surface des vasières littorales découvertes lors des marées basses diurnes. Ces biofilms couvrant de très importantes surfaces sont reconnus comme étant très productifs et assurent différentes fonctions écosystémiques telles que : 1) le support des réseaux trophiques ; 2) la contribution à des cycles biogéochimiques comme celui du carbone et de l'azote ; 3) la stabilisation des sédiments par la production d'exopolysaccharides (EPS) ; 4) la contribution à la biodiversité. Ces diverses fonctions écosystémiques font du MPB un compartiment clé dans les socio-écosystèmes littoraux.

Cependant, l'estimation de la production primaire du MPB à l'échelle de tout un écosystème reste difficile en raison de sa difficulté d'accès. Seule la télédétection permet une vue synoptique d'un écosystème. Elle a déjà fait ses preuves pour la cartographie de la diversité et de la biomasse de producteurs primaires depuis le MPB, jusqu'aux canopées forestières. Actuellement, diverses méthodologies sont proposées pour cartographier la production primaire par télédétection. Cependant ces modèles sont le plus souvent empiriques, les paramètres photosynthétiques cartographiés n'étant pas issus de la radiométrie.

L'objectif de ce travail est donc de proposer un modèle de production primaire dont les paramètres sont estimés par radiométrie. Pour atteindre cet objectif, la télédétection hyperspectrale est un outil majeur afin de détecter des changements fins de signature spectrale et de les relier aux différents paramètres photosynthétiques, à savoir l'absorbance (= optical absorption cross section, a^*) et l'efficacité photosynthétique (LUE = light use efficiency). Le a^* est estimé à partir du modèle de transfert radiatif du MPB, le MPBOM (Kazemipour et al. 2011, Meleder et al. 2013). La LUE est estimée à partir des dérivées secondes ($\delta\delta$) et d'un ratio mettant en jeu les longueurs d'ondes impactées par un changement du cortège pigmentaire lié à la photoprotection : le cycle des xanthophylles. En effet, lorsque la lumière augmente, les diatomées du MPB vont répondre en dé-époxydant la diadinoxanthine en diatoxanthine. Cette dé-époxydation est corrélée à la diminution de l'indice $\delta\delta_{496}/\delta\delta_{508}$ (= MPB_{LUE} index) et de la LUE (Meleder et al. soumis). Le taux de transfert des électrons (ETR) peut alors être calculé en fonction de la lumière incidente (E) : $ETR = a^* \times MPB_{LUE} \times E$

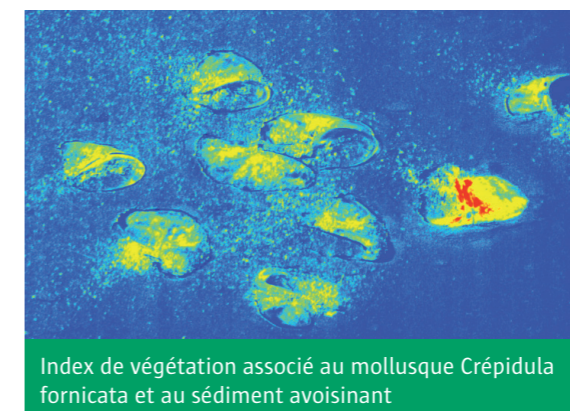
Cette étude propose pour la première fois des cartes du taux de transfert des électrons (ETR), proxy de la production primaire, de deux vasières intertidales : en baie de Marennes Oléron et en Baie de Bourgneuf. Les images traitées ont été acquises durant l'été 2016 (respectivement les 21/09 et 17/10) lors des marées basses de vives-eaux, par le capteur HySpex. Ce capteur a une résolution spectrale de 3,26 nm dans le domaine VIS-NIR (400-1000 nm) et une FOV de 17 ° ayant permis une résolution spatiale de 70 cm. Cette association des résolutions spectrale et spatiale fines permet de cartographier l'ETR au sein du MPB et d'en étudier sa variabilité spatiale, notamment en relation avec la présence de parcs ostréicoles ou de récifs d'huitres sauvages.

Hypothèse de « gardening » associée à l'espèce ingénieur *Crepidula fornicata*

Androuin Thibault, Dubois Stanislas, Caisey Xavier, Carlier Antoine - Laboratoire d'écologie Benthique Côtière, Département DYNECO, Ifremer (Brest), Decottignies Priscilla, Jésus Bruno - Laboratoire Mer Molécules Santé, Université de Nantes, Dupuy Christine - Laboratoire Littoral Environnement et Société, Université de la Rochelle, Hubas Cédric - Laboratoire Museum National d'Histoire Naturelle, station marine de Concarneau

Le microphytobenthos (MPB) rassemble l'ensemble des micro-organismes photosynthétiques qui se développent à la surface du sédiment. Bien connu et déjà très étudié en milieu intertidal, le MPB suscite un intérêt plus récent en milieu subtidal, notamment due aux récentes estimations de sa production et de son importance pour le fonctionnement des écosystèmes côtiers. Le mollusque gastéropode *Crepidula fornicata*, outre son caractère invasif, est également une espèce ingénieur car elle peut modifier profondément son habitat. Une hypothèse souvent avancée concernant ces espèces ingénieurs concerne leur capacité à stimuler une ressource primaire peu ou non présente en leur absence. « The gardening hypothesis » (Hylleberg 1975) prévoit en effet que par l'action directe ou indirecte d'une espèce, les micro-organismes seraient stimulés par une augmentation de la disponibilité en nutriment, notamment via la reminéralisation bactérienne.

Cette hypothèse offre des perspectives intéressantes en termes de compréhension du fonctionnement des communautés benthiques puisque cette nouvelle ressource peut potentiellement bénéficier non seulement à l'espèce qui la stimule, mais également aux autres espèces qui composent la communauté associée. Dans le cas de la crépidule, la structure mais aussi le fonctionnement de l'habitat pourrait donc être modifié. Le but de la présente étude est de tester si la cette espèce dominante peut modifier, par sa présence seule et par son activité de biodéposition le biofilm se développant à la surface des coquilles et du sédiment environnant. Pour cela, une nouvelle technique d'imagerie hyperspectrale nous permettra d'obtenir, de manière répétée et non intrusive, des cartes de distribution à micro-échelle de la biomasse de certains pigments, proxy de la biomasse de MPB.



Index de végétation associé au mollusque *Crépidula fornicata* et au sédiment avoisinant

Apport des images HR multi et hyperspectrales pour des applications «couleur de l'eau» en milieu côtier

Audrey Minghelli - LSIS, Université de Toulon, **Marc Lennon** - Hytech Imaging (Brest), **Guillaume Sicot** - ENSTA Bretagne (Brest), **Manchun Lei** - LSIS, Université de Toulon, IGN (Saint-Mandé), **Cyril Chailloux** - Hytech Imaging, ALTRAN (Brest), **Adrien Deschamps** - CNES, Toulouse

La diversité spectrale présente dans les données hyperspectrales permet d'estimer différents paramètres influençant le signal lumineux dans la colonne d'eau : les constituants de la colonne d'eau, la profondeur et le fond. Cette estimation est rendue possible par l'inversion de modèles semi-analytiques. Les images multispectrales ou superspectrales ne possèdent pas la diversité spectrale suffisante pour permettre cette inversion pour chaque pixel / spectre indépendamment les uns des autres mais une solution possible est d'introduire des contraintes spatiales à la procédure d'inversion quand la résolution spatiale le permet. L'hypothèse utilisée dans ce contexte consiste à considérer que certains paramètres varient peu localement. L'objectif de notre étude est donc quantifier l'apport de l'information apportée par la haute résolution spatiale et/ou spectrale pour l'estimation des paramètres de la colonne d'eau.

Dans la première partie de cette étude, l'inversion du modèle de Lee par l'algorithme SWIM a été adaptée pour prendre en compte la dimension spatiale de l'image. Cette inversion a été testée sur des imagerie simulées. Pour cela, nous avons défini un grand nombre de cas tests (2 187) représentatifs de différents types d'eau, avec différentes profondeurs et différentes couvertures de fond. La dimension spatiale a été simulée en faisant varier localement la profondeur et la nature du fond. Puis des images qui seraient acquises par les capteurs HySpex, HYPXIM, Sentinel-2 et Pléiades ont été simulées sur les différents cas test, en prenant en compte la résolution spectrale et le bruit des capteurs, grâce au modèle de transfert radiatif Hydrolight pour la colonne d'eau et le modèle de transfert radiatif MODTRAN pour l'atmosphère. Enfin, l'algorithme SWIM a pu être utilisé et validé pour estimer les paramètres de la colonne d'eau avec et sans régularisation spatiale. Les résultats montrent que HYPXIM, HySpex, et S2 permettent d'estimer les paramètres de la colonne d'eau. HYPXIM et HySpex sont généralement plus performants que S2 et Pléiades n'est pas suffisamment précis. Les estimations sont sensiblement améliorées grâce à la régularisation spatiale, en particulier pour les faibles concentrations qui deviennent estimables.

La suite de l'étude sera consacrée à l'utilisation de SWIM pour des images à haute résolution spatiale (HySpex, HYPXIM, Sentinel-2 et Pléiades) et moyenne résolution spatiale (MERIS et MODIS).

Incertitudes et sensibilité des modèles en milieu marin

Étude des bornes de Cramér-Rao pour la caractérisation des incertitudes associées aux produits de télédétection hyperspectrale des océans

Sylvain Jay, **Mireille Guillaume** - Aix Marseille Université, Centrale Marseille, Institut Fresnel (Marseille), **Malik Chami** - Sorbonne Universités, Institut Universitaire de France (Paris), **Audrey Minghelli** - Université de Toulon, **Yannick Deville** - Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP), Observatoire Midi-Pyrénées, Université de Toulouse, **Bruno Lafrance** - CS Systèmes d'Information (Toulouse), **Véronique Serfaty** - DGA, DS, MRIS (Bagneux)

La télédétection est un outil essentiel pour le suivi et la caractérisation des milieux marins de l'échelle locale à l'échelle globale. Une connaissance détaillée des incertitudes liées aux produits de télédétection est également primordiale afin d'informer les utilisateurs du niveau de confiance pouvant être accordé à ces données. Dans cette étude, nous présentons une approche basée sur le développement des bornes de Cramér-Rao (BCRs) pour caractériser ces incertitudes à la fois pour les eaux profondes et les eaux peu profondes. Associées à un modèle de données fixé, les BCRs fournissent des bornes inférieures théoriques aux variances d'estimateurs non biaisés de paramètres de la colonne d'eau, et sont par conséquent indépendantes de la méthode d'inversion utilisée. Elles sont ici développées analytiquement à partir d'un modèle statistique approprié et de modèles semi-analytiques exprimant la réflectance en fonction des paramètres décrivant la colonne d'eau (profondeur ou concentration en phytoplancton par exemple).

Trois applications potentielles des BCRs sont présentées. Dans la première, les BCRs sont comparées aux variances d'estimation obtenues via deux méthodes d'inversion de la littérature appliquées à des données hyperspectrales simulant différents types de colonne d'eau. A la fois en eaux profondes et peu profondes, on montre que les BCRs décrivent fidèlement le comportement global des estimateurs. Les BCRs sont également utilisées dans cette étude afin d'étudier l'impact d'un éventuel apport d'informations a priori. On montre par exemple que l'utilisation d'une carte bathymétrique (par exemple issue de données LiDAR) en entrée de l'algorithme d'inversion permet d'améliorer significativement l'estimation du fond marin en eaux peu profondes. Enfin, les BCRs sont calculées pour différentes configurations de capteurs hyper- et multispectraux connus, i.e., HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean), MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer), MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) et MSI (MultiSpectral Instrument). Les résultats montrent que 1) les données HICO permettent de caractériser précisément la majorité des colonnes d'eau rencontrées en zone côtière et en océan ouvert, 2) les données MODIS et MERIS permettent une caractérisation très fine de la couleur de l'eau en océan ouvert à l'échelle globale, et 3) les données MSI permettent la détection et le suivi de blooms phytoplanctoniques ou de panaches de sédiments à l'échelle locale.

L'étude des BCRs représente donc un moyen très intéressant pour caractériser les incertitudes minimales associées aux produits de télédétection des océans.

Hyperspectral remote sensing of coral reefs: sensitivity analysis of a shallow water inverse model

Tristan Petit, **Touria Bajjouk** - Ifremer, DYNECO (Brest), **Rüdiger Röttgers** - Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Remote Sensing Department (Germany), **Christophe Delacourt** - Université de Bretagne Occidentale (Brest)

The deteriorated state of coral reef ecosystems stresses the need to develop adequate tools for their monitoring. In this context, methods based on the inversion of semi-analytical radiative transfer models have been successfully used in different studies. They enable the determination of seabed types, bathymetry and water optical properties from remotely sensed hyperspectral signals.

In order to achieve this goal, semi-analytical models approximate the radiative transfer through simple equations which can be quickly computed and thus inverted with an optimization algorithm. Using these methods implies parameterizing 1) the direct semi-analytical model and 2) the inversion scheme. Very recently, Petit et al. (2017)^[1] compared the robustness of six different setups of the inversion scheme on a hyperspectral dataset acquired in 2009 over Réunion Island reefs (Indian Ocean).

Results indicated that bathymetry and seabed type determination were very sensitive to the inversion setup. However, the setup of the direct model in terms of Specific Inherent Optical Properties (SIOP) was kept as in the original formulation of Brando et al. (2009)^[2] because of the lack of a priori information on their actual values. In the present study, we determine if using in situ derived accurate SIOP can lead to substantial retrieval accuracy improvements. We also compare the sensitivity of the different inversion retrievals to 1) the accuracy of the SIOP of the direct model and 2) the choice of the inversion setup.

These two goals are reached through a sensitivity analysis of the inversion scheme. In the presentation, we will first introduce the methodology used within the study. Then, we will present the hyperspectral and in situ acquisitions which have been jointly performed in 2015 over Réunion Island. Finally, we will explain how we graphically analyzed the results of the sensitivity analysis and we will give the different conclusions obtained.

> Références

[1] T. Petit, T. Bajjouk, P. Mouquet, S. Rochette, B. Vozel, et C. Delacourt (2017). *Hyperspectral remote sensing of coral reefs by semi-analytical model inversion – Comparison of different inversion setups*. *Remote sensing of Environment*, 190, 348-365.

[2] V.E. Brando, J.M. Anstee, M. Wettle, A.G. Dekker, S.R. Phinn, C. Roelfsema (2009). *A physics based retrieval and quality assessment of bathymetry from suboptimal hyperspectral data*. *Remote sensing of Environment*, 113, 755-770.

Bathymétrie hyperspectrale aéroportée : approches pour l'évaluation des performances

Marc Lennon, Nicolas Thomas - Hytech Imaging (Brest), Simon Guéguen - Hytech Imaging, ALTRAN, Guillaume Sicot - ENSTA Bretagne (Brest), Laurent Louvart, Yves Pastol, Yves-Marie Tanguy - Shom (Brest)

La description de modèles simplifiés de propagation de la lumière dans l'eau permet l'inversion de ces modèles par des méthodes analytiques, à partir des seules observations précises de la lumière naturelle en provenance de la colonne d'eau, autorisant ainsi sous certaines conditions l'estimation des paramètres du modèle, dont la hauteur de la colonne d'eau.

L'observation de la surface de l'eau par imagerie hyperspectrale qui permet d'acquérir la luminance spectrale précise observée pour chaque pixel de l'image, permet ainsi l'estimation de la hauteur d'eau, indépendamment des autres paramètres du modèle caractérisant l'absorption et la diffusion dans la colonne d'eau et sur le fond.

Une chaîne logicielle baptisée SWIM (Shallow Water mapping using optical reMote sensors) a été développée par la société Hytech Imaging dans ce but pour la production opérationnelle de données de hauteur d'eau à partir d'images hyperspectrales.

La caractérisation précise des erreurs d'estimation bathymétrique à partir d'images hyperspectrales en fonction des conditions d'utilisation toutefois est mal maîtrisée. Cette caractérisation permettrait de positionner la bathymétrie hyperspectrale aéroportée (dite AHB : Airborne Hyperspectral Bathymetry) comme un nouvel outil général d'hydrographie avec des caractéristiques techniques et économiques d'intérêt.

Dans ce but, des modules de traitement statistiques inspirés des modules utilisés en hydrographie acoustique permettant de convertir les données de hauteur d'eau en cartes bathymétriques sont en cours de développement et d'intégration dans SWIM dans le cadre d'un programme d'études piloté par le Shom. Le principe de fonctionnement de ces modules sera présenté.

Les approches de caractérisation des erreurs bathymétriques au sens de la norme S44 de l'OHI (Office Hydrographique International) à partir de zones de référence fournies par le Shom seront discutées. Nous mettrons l'accent sur l'analyse de la répartition spatiale des gammes d'erreurs au sens des ordres OHI, dans le but de mettre en évidence la relation entre les gammes de précision d'estimation et les conditions d'utilisation de l'imagerie hyperspectrale.

Écologie et physiologie des plantes

Using leaf reflectance measurements to assess the potential of UAV multispectral sensors to detect the Flavescence dorée grapevine disease in red and white cultivars

F. Guttler, M. Fauvel, A. Jacquin - DYNAFOR, INP-ENSAT, INP-EI PURPAN, INRA, University of Toulouse, S. Duthoit - TerraNIS (Ramonville-Saint-Agne)

Flavescence dorée is a serious phytoplasma-borne disease transmitted between grapevines by the leafhopper *Scaphoideus titanus*. Resulting in severe economic losses, the Flavescence dorée disease is widespread in many European vineyards and is subject to mandatory pest control including removal of the infected vines. Nowadays, the detection of those vines is made almost exclusively manually through vineyard surveys, which unfortunately are not satisfactory as they cover only a portion of the infected territory. In this context, multispectral imagery from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) could be an interesting source of information to improve the detection of infected vines and contribute to a better control of the disease.

The first objective of this work is to assess the potential of existing UAV multispectral sensors to detect the spectral response of vines infected by the Flavescence dorée disease. The second objective relies on the identification of few optimal spectral domains that could be used to design an optimized multispectral sensor for the detection of the disease. Leaf reflectance measurements of healthy and diseased vines were acquired during late summer 2015 and 2016 in South-western France. In total, 15 commercial vineyard parcels (9 red and 6 white cultivars) were sampled, which represents about 5.4 K leaf reflectance measurements recorded in the spectral range of 350 to 2500 nm. Based on this spectra collection, UAV sensor signals were simulated for some of the multispectral sensors currently available on the market. For each UAV sensor, the signal simulation considered only the spectral and radiometric properties of the instrument, excluding other characteristics such as spatial resolution, sensor geometry or signal-to-noise ratio. Simulated spectral bands were used as the primary input to estimate the capacity of UAV sensors in predicting the class of the samples (diseased or healthy). State-of-the-art supervised classification algorithms (SVM and Random Forest) were used to compare the simulated UAV sensors.

The performances obtained were then used to rank those sensors. In parallel, the entire set of wavelengths was considered to meet the second objective of this work. A feature selection approach based on an optimized forward selection strategy was adapted to identify the most relevant spectral domains for the detection of the Flavescence dorée disease. Preliminary results indicated that UAV sensors with narrow spectral bands tended to perform better than those with bands covering larger spectral ranges. Regardless of the UAV sensor, higher classification accuracies were observed for the red cultivars. Furthermore, different optimal spectral domains (namely within visible and red-edge intervals) were identified for red and white cultivars. This information should be considered in order to define an appropriate set of spectral bands to improve the detection of the disease in both types of cultivar.

Early detection of the fungal disease "apple scab" using hyperspectral imaging

Nouri Maroua Pierre Vaysse - CTIFL, Interprofessional Technical Center for Fruit and Vegetables (Bergerac), Jean-Michel Roger, Nathalie Gorretta - Research Group ITAP Irstea, SupAgro (Information Technologies Environmental Analysis Agricultural)

Apple scab (ascomycete *Venturia Inaequalis*) caused the most important stress and losses in apple orchards than any other apple disease. Apple scab management is most often based on repeated fungicide applications that result in high costs in terms of money and scab management time. It is therefore crucial to optimize apple scab management while maintaining a high level of crop quality. Early accurate and non-destructive detection of apple scab infection is thus an efficient solution.

Our study aims at exploring the potential of hyperspectral imaging for early detection of apple scab in leaves. Three measurement methods were tested: Ultraviolet Fluorescence, Visible-Near Infrared reflectance VNIR (400-1000 nm) and Infrared reflectance NIR (1000-2500 nm). The approach consists in detecting the presence of the fungus few days after the infection. Hyperspectral images of inoculated and healthy apple tree leaves are acquired daily, from two days after inoculation until the appearance of visible infection spots (i.e. after ca. 21 days for apple scab). Spectra of scab spots are then extracted from the images and treated with chemometric tools going back in time from advanced well-developed infection stage images to early infection stage images. Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLSDA) was used as classification technique.

Results suggest that good predictability can be achieved when classifying infected leaf area based on hyperspectral data using PLSDA. Results show that the infection has a specific influence on the reflectance spectra in the spectral zone between 1300-1700 nm at early infection stages. This spectral zone carrying information on water content and cell membrane structure. This study demonstrates that hyperspectral imaging offers high potential as a non-invasive detection tool of apple scab infection.

Détection précoce des maladies des plantes par la technique d'imagerie hyperspectrale: un état d'art

Youssef Es-saady, Mostafa ElYassa, Driss Mammass, Ismail El Massi - Laboratoire IRF-SIC, Université Ibn Zohr d'Agadir (Maroc), **Abdesla Benazoun** - Département de protection des plantes, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan 2 d'Agadir (Maroc)

L'étude porte sur la détection précoce des maladies des plantes par la technique d'imagerie hyperspectrale. Une comparaison est effectuée dans ce travail entre les principales approches existantes dans ce domaine. Un système de détection précoce des maladies des plantes, fondé sur la technique d'imagerie hyperspectrale est composé de cinq phases principales (Figure 1): 1- l'acquisition d'images hyperspectrales, 2- l'extraction des régions d'intérêts (ROI) qui seront l'objet dans l'étape d'analyse, 3- la sélection des longueurs d'ondes pertinentes pour réduire le nombre de données et diminuer le temps de calcul, 4- l'extraction des primitives pour élaborer le model qui sera utilisé par le classifieur, 5- la classification qui sert à déterminer la classe de la tache maladie dans l'image d'entrée au système. Les résultats obtenus par les différents auteurs montrent que la technique d'imagerie a un grand potentiel dans l'identification des dégâts et symptômes avant qu'elle commencent à apparaître sur les plantes.

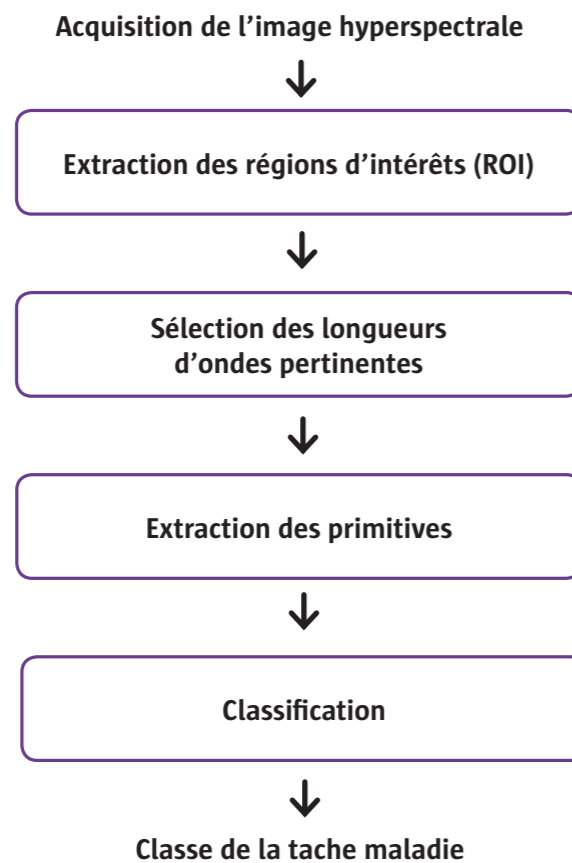


Figure 1 : Architecture générale d'un système de détection précoce des maladies des plantes par imagerie hyperspectrale

Estimation des services écosystémiques par télédétection hyperspectrale et LiDAR aéroporté

M. Fauvel, D. Sheeren, A. Vialatte - DYNAFOR, Université de Toulouse, INRA, INPT, **N. Dobigeon** - IRIT Université de Toulouse, CNRS, INPT

L'objectif du projet MUESLI (Multiscale Mapping of Ecosystem Services by Very High Spatial Resolution Hyperspectral and LiDAR Remote Sensing Imagery) est la cartographie des services écosystémiques par l'utilisation d'images hyperspectrales et LiDAR aéroportés. Les services étudiés concernent les services de régulations de ravageurs agricoles et forestiers ainsi que les services de production de céréales et de bois dans des paysages agri-forestiers. Les approches conventionnelles utilisées en agro-écologie pour étudier les relations espèce-paysage reposent sur une représentation discrète du paysage fondée sur la construction de carte de couvertures des sols, ou chaque pixel de l'image est associé à une classe pré-définie (céréales à paille, eau, zone imperméable, ...). Cette description discrète en classes thématiques pré-définies par un opérateur humain peut être inadaptée: les caractéristiques paysagères influençant la faune et la flore supportant ces services peuvent être très différentes tant en terme de composition que de structure par rapport à ce que perçoit l'humain (par exemple un champ peut être très hétérogène pour un insecte du sol tandis qu'un ensemble de parcelles peut former une matrice défavorable pour des espèces forestières). De plus, l'étape de classification de la couverture des sols est une source d'incertitudes rarement pris en compte dans les modèles.

Un exemple de description discrète et continue est donnée à la figure 1, avec l'utilisation de l'indice spectral NDVI. Ces différentes descriptions continues des paysages, en limitant les a priori sur la sémantique des objets qui les composent, vont servir de variables d'entrée pour des modèles prédictifs des services écosystémiques. Nous illustrerons les principes de ces approches en exposant les premiers résultats obtenus sur un service de régulation (taux de prédation de pucerons mesurés dans des parcelles de céréales à paille) et un service de production (rendement agronomique des céréales). Par ailleurs, il est attendu que la donnée LiDAR puisse fournir également une information spatiale pertinente, exploitée en tant que telle dans la prédiction des services cibles, ou en tant que donnée exogène permettant d'affiner les descriptions continues des paysages.



Estimation of pear tree vitality based on multimodal, multitemporal optical remote sensing data

Kuniaki Uto - School of Computing, Tokyo Institute of Technology (Japan),
Mauro Dalla Mura - GIPSA-lab, Grenoble Institute of Technology (Grenoble),
Stephanie Delalieux - Flemish Institute for Technological Research (Belgium),
Jocelyn Chanussot - GIPSA-lab, Grenoble Institute of Technology (Grenoble),
Department of Electrical and Computer Engineering, University of Iceland (Iceland)

Acquisition of growth states in farmland is essential for maintaining the product quality and environmental sustainability. In the project “Multitempral monitoring of fruit orchard vitality with mutisensor Belair data (HYPERTEMP)”, we aim at acquiring fruit orchard productivity based on multimodal, multitemporal remote sensing data.

The observation targets were pear trees that grow under four different nutrient conditions in Hesbania, Belgium. Three different sensors (RBG, Red edge and Multispectral imagers) mounted on a fixed wing UAV were used for low-altitude aerial observations of optical images with high spatial resolutions.

Aerial images were collected on six different dates in 2015. In situ data (e.g., chlorophyll and mineral contents in leaves, yields) were measured during the growing season and soon after harvest. In this study, we present results of classification of the trees based on the nutrient condition and estimation of yields by using the multimodal, multitemporal sensing data.

Cartographie des sols et de la végétation

Cartographie du taux d'argile des sols par transfert de modèles de prédiction de laboratoire vers des données aéroportées Vis-PIR

Nouri M., Gorretta N., Roger J.M. - Irstea (Montpellier), Gomez C. - IRD (Montpellier)

Un nombre croissant d'études ont montré que l'imagerie spectroscopique Visible Proche-Infrarouge (Vis-PIR, 0,4-2,5 μm) aéroportée peut fournir des cartographies de propriétés de sol dont l'argile texturale. Ces estimations sont réalisées par le biais de modèles de régression multi-variés ($y = f_{im}(X_{im})$), construits à partir de bases de données (BD) composées : 1) de spectres X_{im} extraits de pixels de sol nu de l'image hyperspectrale Vis-PIR, associés à 2) la propriété de sol d'intérêt y mesurée sur des échantillons de sol collectés sur ces mêmes pixels de sol nu. Néanmoins cette approche, en plus d'être coûteuse (en temps de travail de terrain), donne des performances de prédiction modérées (R^2_{cv} entre de 0,6 et 0,7). Notre étude propose de remplacer ces modèles f_{im} , par des modèles de régression f_{lab} plus robustes et plus performants (R^2_{cv} entre 0,7 et 0,8) construits à partir de spectres Vis-PIR acquis au laboratoire X_{lab} , en utilisant une approche de transfert d'étalonnage.

Le transfert d'étalonnage permet de compenser l'effet de grandeurs d'influence (e.g., différence de rugosité de cibles, d'intensité de la source lumineuse, d'hétérogénéité des échantillons, de dimension des supports de mesure...) entre spectres X_{lab} et spectres X_{im} . La méthode de transfert d'étalonnage présentée dans ces travaux est la méthode « update » et utilise un nombre limité de « standards » (spectres X_{im}). Le nombre de standards nécessaire à ce transfert ainsi que leur choix (avec ou sans prise en compte de la stratification pédologique) ont été étudiés. Cette étude a été réalisée en utilisant 1) une base de 144 échantillons collectés sur des sites de 10 x 10 m pour lesquels les spectres X_{lab} ont été acquis, 2) des données hyperspectrales HyMap aéroportées acquises sur le bassin versant de La Peyne (24 km²).

Les résultats obtenus montrent que 1) le modèle f_{lab} ne peut pas être appliqué sans transfert d'étalonnage à l'image hyperspectrale (R^2_{cv} de 0,41), 2) l'utilisation du transfert étalonnage update permet d'augmenter les performances de prédiction, dès l'utilisation de 5 standards et sans prise en compte de la stratification pédologique ($R^2_{cv} > 0,55$), et 3) la prise en compte de la stratification pédologique dans le choix des standards permet d'obtenir des performances de prédiction supérieures au modèle classique f_{im} et cela dès l'utilisation de seulement 25 standards ($R^2_{cv} > 0,73$). Ainsi les modèles f_{lab} couplés à des approches de transfert étalonnage permettraient de fournir des cartographies de taux d'argile à des précisions supérieures de celles obtenus par l'utilisation de modèles f_{im} classiquement construits.

Evaluation de la biodiversité des prairies semi-naturelles par télédétection hyperspectrale

M. Lopes, M. Fauvel, A. Ouin - DYNFOR, Université de Toulouse, INRA, INPT, S. Girard - MISTIS-LJK, Université Grenoble Alpes, INRIA

La diversité en plantes des milieux semi-naturels (prairies, bois, haies) est un facteur essentiel de la biodiversité des échelons supérieurs de la chaîne trophique (insectes, oiseaux) dans les paysages ruraux^[1]. Une partie de cette biodiversité assurent des services écosystémiques (pollinisation, régulation des ravageurs). Les efforts actuels de cartographie de ces services à l'échelle des territoires nécessitent des évaluations à large échelle de la capacité de support des milieux semi-naturels. Les relevés botaniques de terrain sont coûteux en temps et en moyen humain, et nécessitent des connaissances expertes pour effectuer les relevés. Par conséquent, elles sont en général limitées à une zone géographique de faible taille.

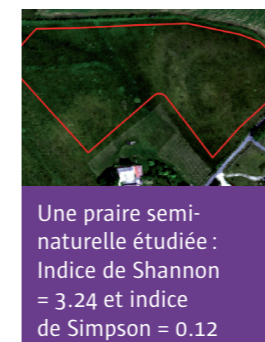
La télédétection hyperspectrale aéroportée offre la possibilité d'estimer des variables biophysiques des prairies sur des échelles spatiales plus larges^[2]. Des résultats existent pour des applications forestières et agricoles, à des échelles pixellaires mais peu d'études existent pour l'estimation d'indices de biodiversité à l'échelle de la parcelle pour l'objet prairie^[3].

Dans cette étude nous nous intéressons à la diversité des plantes à l'échelle de la parcelle à partir d'images hyperspectrales aéroportées. En particulier, nous étendons les travaux de Féret et Asner lorsque les objets d'étude ont des formes et des tailles variables.

Les données hyperspectrales ont été collectées dans le cadre de la mission MUESLI. Elles consistent en une image VNIR + SWIR à 2 mètres par pixel de résolution spatiale. Pour la validation, une centaine de prairies dans lesquelles des relevés botaniques ont été effectués peu avant le vol sont disponibles. La figure 1 présente une prairie et les indices de biodiversité en plantes associés.

› Références

- [1] Eric Lonsdorf, Claire Kremen, Taylor Ricketts, Rachael Winfree, Neal Williams, Sarah Greenleaf. *Modelling pollination services across agricultural landscapes. Annals of Botany*, 103(9): 1589, 2009.
- [2] Duccio Rocchini, Doreen S. Boyd, Jean-Baptiste Féret, Giles M. Foody, Kate S. He, Angela Lausch, Harini Nagendra, Martin Wegmann, Nathalie Pettorelli. *Satellite remote sensing to monitor species diversity: potential and pitfalls. Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(1): 25-36, 2016.
- [3] Jean-Baptiste Féret, Gregory P. Asner. *Mapping tropical forest canopy diversity using high-fidelity imaging spectroscopy. Ecological Applications*, 24(6): 1289-1296, 2014.



Une prairie semi-naturelle étudiée :
Indice de Shannon = 3.24 et indice de Simpson = 0.12

Estimation de la biodiversité des forêts tropicales par imagerie hyperspectrale : avancées du projet HyperTropik

J.-B. Féret, S. Durrieu, E. Grau - Irstea, TETIS, N. Barbier, C. Lavalley-Guzman, G. Vincent, C. Proisy - IRD, AMAP, D. Berveiller, G. Hmimina, K. Soudani - Laboratoire d'Écologie, Systématique et Évolution (ESE), Université Paris-Sud, J.-P. Gastellu-Etchegorry - Centre d'Études Spatiales de la Biosphère (CESBIO), Marie-José Lefèvre-Fonollosa - Centre National d'Études Spatiales, G. le Maire - Cirad, UMR Écologie fonctionnelle et biogéochimie des sols et agrosystèmes, J. Oliveira - 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 l'exploitation des données Sentinel-2, et la préparation du volet végétation des projets HYPXIM du CNES, et Hypex-2 soumis à l'appel à projet Earth Explorer-9 de l'ESA.

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).

Dans le cadre des projets HypeTropik et Leaf ExpeVAL, une campagne effectuée en septembre 2016 a permis de coordonner une acquisition aéroportée (Hyperspectral + LiDAR + THRS) avec la collecte de données sur le terrain, comprenant une acquisition au LiDAR terrestre ainsi que la caractérisation des propriétés optiques foliaires ainsi que la délimitation de couronnes d'individus sur environ 0,5 ha. Les chantiers de valorisation de ces données seront présentés notamment au travers :

- Des activités de modélisation pour la validation du modèle DART, ainsi que dans la mise en place d'une infrastructure de simulation permettant de réaliser des études de sensibilité du signal de réflectance de canopée à différents facteurs endogènes à la végétation (chimie foliaire, structure) ainsi qu'à des facteurs environnementaux et géométriques.
- De l'utilisation des données pour l'identification des espèces d'arbre d'intérêt écologique et commercial.

Mineral mapping using the Automatized Gaussian Model (AGM) – Application to two industrial French sites at Thann and Gardanne

Rodolphe Marion - CEA, Véronique Carrère - LPG, Université de Nantes

Minerals of interest, contributing to the spectral signature of a surface, can be easily identified in imaging spectroscopy thanks to the wavelength position of their specific absorption features, characteristic of their mineralogy. In order to be able to identify and map mineral/products on industrial sites using imaging spectrometer data (airborne or spaceborne), we have developed an automated physically based approach relying on spectral deconvolution with the objective to avoid site specific constraints, generally occurring when using statistical or deep learning based methods.

Our approach, named the Automatized Gaussian Model (AGM), runs for the full spectral range, from initialization using spectral derivatives to spectral deconvolution and mineral identification, with a global approach. The modelling combines exponential Gaussians, a continuum including the fundamental water absorption at 2.8 μm and deals with overfitting to keep only the relevant Gaussians. The AGM was successfully tested in the SWIR (Short-Wave InfraRed, 1.3-2.5 μm) for 14 minerals representative of industrial environments (e.g., quarries, mines, industries) and more than 98% of the simulated spectra were correctly identified. It was also applied to two AVIRIS (Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer) images, including the famous Cuprite test site (Brossard et al., 2016), with results consistent with ground truth data. We have extended the method to include information from the VNIR (Visible and Near-InfraRed, 0.4- 1.3 μm) spectral range to take iron oxides into account. We present here results from its application to two French industrial sites: (i) the Altéo Environnement site, Gardanne, southern France, and (ii) Millenium Inorganic Chemicals and Séché Eco Service sites, Thann, eastern France. The Altéo Environnement site is dedicated to the extraction of alumina from bauxite. HySpex hyperspectral images were acquired over the site in September 2013. The Millenium Inorganic Chemicals site produces titanium dioxide from ilmenite and rutile and the associated Séché Éco Services site is used to neutralize the resulting effluents, producing gypsum. An APEX image was acquired over the sites in June 2013. In both cases, for validation purpose, reflectance spectra were measured and samples were collected in the field and analyzed for mineralogical and chemical composition. When applying the AGM to the images, both in the VNIR and SWIR, we successfully identified and mapped minerals of interest characteristic of each sites: Bauxite, bauxaline and alumina for the Gardanne site, red and white gypsum and calcite for Thann. Identifications and maps were consistent with in situ measurements.

This spectral deconvolution approach has proven to be efficient to identify and map minerals of interest on various industrial sites. Moreover, this approach could also provide information on concentration (absorption depth and width) and allow access to mineral mixtures for example. Perspectives include extension of the method to mining environments and test of the potential and the accuracy of the outputs for quantitative estimations first using spectral measurements under controlled environment.

> Keywords

Mineral mapping - Spectral deconvolution - AGM - Industrial sites

> Références

Martin Brossard, Rodolphe Marion & Véronique Carrère (2016) Deconvolution of SWIR reflectance spectra for automatic mineral identification in hyperspectral imaging, Remote Sensing Letters, 7:6, 581-590, DOI:10.1080/2150704X.2016.1168946.

Plates-formes d'acquisition et de traitement des images aériennes hyperspectrales pour l'aide à la décision

Josias Lefèvre, C. Cariou, B. Vozel, K. Chehdi - IETR/TSI2M (Lannion), Université de Rennes 1, ENSSAT

L'imagerie aérienne hyperspectrale présente aujourd'hui un moyen inégalé d'observation à grande échelle, pour l'analyse et l'interprétation de l'information en vue de l'aide à la décision. En effet, grâce à l'exploitation de sa fine résolution spatiale (quelques dizaines de centimètres) et à sa large gamme spectrale (plus de 200 bandes spectrales) couvrant les domaines du visible et du proche infrarouge (VNIR), elle peut apporter des solutions concrètes aux utilisateurs finaux dans de nombreux domaines : environnement, agronomie, géologie, biologie, etc. Cependant, on note que l'acquisition aérienne de ce type d'image et l'exploitation de la quantité importante d'information générée (grandes dimensions spatiale et spectrale) nécessitent un savoir-faire pour optimiser chacune de ces étapes. Une telle expertise permet une acquisition de données fiables (images moins dégradées) avec un coût réduit et une extraction d'information pertinente et objective respectant les contraintes d'exploitation pour une meilleure aide à la décision. Ainsi, pour une exploitation optimisée des données générées par les capteurs hyperspectraux, la maîtrise de toute la chaîne est incontournable. Dans ce sens, nous présentons deux plates-formes opérationnelles dédiées à l'imagerie aérienne hyperspectrale. La première plate-forme, matérielle, mise en oeuvre autour d'un capteur AISA Eagle permet l'acquisition des images aériennes hyperspectrales. Les différentes étapes de l'acquisition sont optimisées : i) définition des plans de vol garantissant un coût minimal et une qualité de mesure adaptée aux besoins, ii) modification des contraintes respectant les besoins thématiques, dans un délai très court, et iii) traitement approprié des images brutes (radiocorrection, orthorectification, correction atmosphérique). La seconde plate-forme, logicielle, permet le traitement et l'analyse des images acquises en vue de la production de données en adéquation avec les besoins des utilisateurs finaux. Cette plate-forme résulte des travaux de recherche amont (restauration, filtrage, classification, fusion) développés par l'équipe. Les deux plates-formes ont été utilisées efficacement dans le cadre de partenariats sur des thématiques liées à la gestion et à la sécurité environnementale (agriculture de précision, estimation de la qualité de l'eau, suivi des espèces végétales invasives, inventaire des essences forestières, cartographie des habitats d'algues, détection précoce des foyers de maladie sur culture, etc.). Les figures 1 et 2 donnent deux exemples montrant les images acquises, traitées et analysées par nos deux plates-formes.

Figure 1 : Détection automatique du réseau hydrographique et calcul de l'indice de turbidité



Image hyperspectrale visualisée en mode RVB (résolution spatiale 50cm)

Résultats des analyses

Figure 2 : Cartographie des habitats d'algues

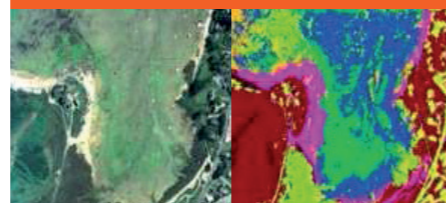


Image hyperspectrale visualisée en mode RVB (résolution spatiale 1m)

Résultat de partitionnement

Le Réseau de Surveillance Posidonies : un outil pour la détection du changement climatique ?

Marc Lennon, Nicolas Thomas - Hytech Imaging, Guillaume Sicot - ENSTA Bretagne, J.-P. Quod - PARETO, J.-B. Nicet - MAREX, D. Corman, A. Forget et P. Watremez - Agence des aires marines protégées

Une méthodologie originale de cartographie de la zone de petits fonds par télédétection hyperspectrale, et son application opérationnelle pour production cartographique à large échelle, a été développée dans le cadre des deux projets successifs REFCAR et REFCAR-CARTO menés par l'Agence des Aires Marines Protégées en collaboration avec les sociétés Actimar, Hytech-imaging, et le support de l'ENSTA-Bretagne. Les méthodes développées incluent des modules de prétraitement des images, correction des effets de surface, estimation de la réflectance spectrale du fond, segmentation d'unités géomorphologiques, classification des peuplements, et quantification de bio-indicateurs. Elles ont été intégrées dans une chaîne logicielle baptisée SWIM (Shallow Water mapping using optical remote sensor(s)) mise en oeuvre par Hytech-imaging. Les premiers résultats du projet REFCAR-CARTO incluant l'application de SWIM aux zones de petits fonds françaises de l'Océan indien seront présentés, avec des exemples de cartographie à Mayotte et sur les Iles Eparses.



<http://tsi2m.enssat.fr/index.php?p=publications>

Multisources and multitemporal radar and optical imagery for the Monitoring the evolution of the land cover of Oasis: A case study of Arfoud Oasis (Morocco)

Hakdaoui Sofia - Faculty of Science, University Mohamed V Rabat (Morocco),
Emran Anas - Scientific Institute of Rabat (Morocco)

In Morocco, the huge variability of climate has constantly been a main challenge into the social and economic development of the country. The impact of desertification and oasis change and its interaction with landscape pattern have been regarded as an important content of regional environmental change research in arid areas. In this paper, the Tafilalet Plain in Morocco was selected as the research region and a quantitative method for desertification assessment was developed by using Landsat TM/ETM+/OLI, Sentinel-1,2 data on a regional scale. In this method, vegetation, top soil size index and land surface albedo indexes were selected as assessment indicators of desertification to represent land surface conditions from vegetation biomass, landscape pattern and micrometeorology. Based on considering the effects of desertification vegetation to draw maps of sensitivity, assessing rule sets were built and a decision tree approach was used to assess desertification of Tafilalet Plain during the period of 1984–2016. By analyzing the causes of desertification processes, it was found that climate change could benefit for the reversion of desertification from 1984 to 1997 at a regional scale and human activities during a dry climate might explain the expansion of desertification in this period; however human conservation activities were the main driving factor that induced the reversion of desertification from 1997 to 2015.

> Keywords

Arid and semi/arid area - Climate change - Oasisification - Remote sensing - Multi-source satellite images



