

# Programme du 3<sup>e</sup> colloque scientifique de la SFPT-GH 15 & 16 mai 2014 – Porquerolles



## Mercredi 14 mai 2014

**18h30-20h00 : Accueil des participants et enregistrement**  
**20h00 : Dîner**

## Jeudi 15 mai 2014

**8h30-8h35 :** Minghelli-Roman, *Ouverture du colloque*  
**8h35-8h50 :** Marion, *Présentation du groupe hyperspectral de la SFPT*

### SESSION 1 : milieux littoraux

**8h50-9h10 :** Le Bris et al., *Comparaison des résolutions multispectrale et hyperspectrale pour la cartographie des récifs d'huîtres sauvages*  
**9h10-9h30 :** Lei et al., *Simulation d'images multi/hyper-spectrales en zone côtière pour suivi des phénomènes dynamiques*  
**9h30-9h50 :** Dupouy et al., *Hyperspectral reflectance in the Lagoon of New Caledonia*  
**9h50-10h10 :** Lennon et al., *De l'hyperspectral aux paysages sous-marins : SWIM® et apports du programme REFCAR dans l'Océan Indien*  
**10h10-10h30 :** Gernez et al., *Exploitation des données hyperspectrales pour la télédétection des eaux très turbides : développement d'un algorithme multicapteur*

**10h30-11h00 : Pause café**

### SESSION 2 : planétologie / astrophysique

**11h00-11h20 :** Andrieu et al., *Caractérisation de la glace de CO<sub>2</sub> sur Mars par télédétection hyperspectrale*  
**11h20-11h40 :** Cornet et al., *Processing of the Cassini/VIMS hyperspectral data: application to Titan, Saturn's major moon*  
**11h40-12h00 :** Douté & Ceamanos, *Multi-angle approach for coherent retrieval of surface reflectance and atmosphere optical depth from CRISM observations*  
**12h00-12h20 :** Mary et al., *Détection de sources astrophysiques dans les données du spectrographe intégral de champ MUSE*

**12h30-14h00 : Pause déjeuner - buffet**

### SESSION 3 : capteurs

**14h00-14h20 :** Théodore & Coppens, *Produits hyperspectraux distribués par EUMETSAT*  
**14h20-14h40 :** Lefèvre-Fonollosa et al., *HYPXIM – Etude d'un spectro-imageur innovant pour les géosciences*  
**14h40-15h00 :** Rousset-Rouvière et al., *Le système SYSIPHE*

## SESSION 4 : milieux urbains

**15h00-15h20 :** Le Bris et al., *Optimisation de configuration spectrale pour la classification de données hyperspectrales - Exemple d'application aux milieux urbains*

**15h20-15h40 :** Weber et al., *Apport de l'imagerie hyperspectrale pour l'étude de l'écosystème urbain : quelles résolutions pertinentes pour une analyse plus fine des objets et des formes urbains ?*

**15h40-16h00 :** Masson & Blanpain, *Segmentation de données hyperspectrales et Lidar sous e-Cognition*

**16h00-16h30 :** **Pause café**

## SESSION 5 : atmosphère

**16h30-16h50 :** Croizé-Guinet et al., *Etude de phénomènes lumineux transitoires par imagerie hyperspectrale embarquée à bord d'un ballon*

**16h50-17h10 :** Bodin & Marion, *Potentiel de l'instrument HYPXIM pour la détection panaches de CO<sub>2</sub> émis par les industries*

**17h10-17h30 :** Prunet, *Imagerie hyper-spectrale infrarouge pour le sondage atmosphérique depuis l'espace*

## SESSION POSTERS et cocktail de bienvenue

- 17h30-19h30 :**
- Bacour et al., *Présentation du projet ADAM (ESA) pour la simulation réaliste des variations spectro-directionnelles des réflectances des surfaces terrestres à l'échelle globale*
  - Dalla Mura, *Fusing multispectral and hyperspectral images through pansharpening*
  - Daumard et al., *GFLEX: monitoring the diurnal time course of vegetation dynamics with geostationary observations*
  - Ferte et al., *Online oil presence detection and thickness measurements on steel coils by hyperspectral camera*
  - Gay, *SPIM/AeroSPIM – Détection à distance de nuages de gaz*
  - Gomez et al., *Analyse des incertitudes associées aux prédictions de la teneur en argile obtenues par imagerie hyperspectrale Vis-NIR aéroportée (0.4-2.5µm)*
  - Imbirida et al., *Détection et estimation conjointe de modèles de mélange non-linéaires en imagerie hyperspectrale*
  - Jay & Guillaume, *Méthodes statistiques pour la cartographie de zones côtières à partir d'images hyperspectrales de télédétection*
  - Jean et al., *Propriétés spectrales d'un couvert de blé : relations entre l'architecture 3D et la réflectance du couvert*
  - Maksimenka et al., *Filtres acousto-optiques à haute résolution spectrale pour l'imagerie hyperspectrale*
  - Masaitis et al., *Visible and near-infrared hyperspectral imaging to describe some properties of conventionally and ecologically grown vegetables*
  - Rodriguez et al., *Détection de gaz sur un site industriel par imagerie hyperspectrale*
  - Soltani et al., *Classification automatique par propagation d'affinité de plantes invasives à partir d'images hyperspectrales de grande taille*
  - Sylla et al., *Hyperspectral and multispectral images fusion using ARSIS: the spatial resolution improvement by structures injection*

**Stands :** [Bonsai Advanced Technologies](#) (Eric Becourt)  
[Exelis Visual Information Solutions](#) (Damien Barache)  
[LOT-QuantumDesign France](#) (Zahara Ouhammadou)  
[Société Française de Photogrammétrie et Télédétection](#) (Isabelle Grujard)

**20h00 :** **Dîner**

**SESSION 6 : méthodologie (classification / démixage / fusion)**

- 8h30-8h50 :** Zullo et al., *Classification d'images hyperspectrales par des méthodes fonctionnelles non-paramétriques*
- 8h50-9h10 :** Gorretta et al., *Classification spectrale-spatiale d'images hyperspectrales par régularisation anisotropique*
- 9h10-9h30 :** Chen et al., *Démixage non-linéaire d'images hyperspectrales : mythe ou réalité ?*
- 9h30-9h50 :** Dalla Mura, *Hyperspectral image classification using sparse representations of morphological attribute profiles*
- 9h50-10h10 :** Marion, *Comparison between wavelet-based and unmixing-based techniques for the fusion of hyperspectral and panchromatic images*

**10h10-10h40 : Pause café**

**SESSION 7 : végétation**

- 10h40-11h00 :** Féret et al., *Estimation de la biodiversité des forêts tropicales par imagerie hyperspectrale : revue des avancées permises par imagerie aéroportée et défis associés à l'acquisition spatiale*
- 11h00-11h20 :** Jay et al., *Potentiel de l'imagerie hyperspectrale de proxy-détection pour l'estimation et la cartographie de la teneur en azote dans les feuilles de betteraves sucrières*
- 11h20-11h40 :** Lancelot et al., *Analyse en composantes principales (ACP) d'images hyperspectrales PIR de grains de blé : étude de la dureté et de la vitrosité*
- 11h40-12h00 :** Bacour et al., *Potentiel de la spectro-imagerie pour l'estimation quantitative de variables biophysiques des couverts végétaux dans le domaine MWIR*

**12h10-13h40 : Pause déjeuner – buffet**

**SESSION 8 : sols**

- 13h40-14h00 :** Gomez et al., *Sensitivity of soil property prediction obtained from hyperspectral VIS-NIR imagery to atmospheric effects and degradation in image spatial resolutions*
- 14h00-14h20 :** Lothodé et al., *Identification de procédés industriels à l'aide des caractéristiques spectrales (VNIR) de leurs rejets*
- 14h20-14h40 :** Hohmann et al., *Cartographie des argiles gonflantes en milieux tempérés à partir de données hyperspectrales aéroportées couplées à des données in situ et laboratoire*
- 14h40-15h00 :** Ultra-Carrió et al., *Estimation of surface soil moisture using hyperspectral data: from laboratory to field experiments*
- 15h00-15h25 :** Discussions
- 15h25-15h30 :** Minghelli-Roman, *Clôture du colloque*



# Programme du 3<sup>e</sup> colloque scientifique de la SFPT-GH

## 15 & 16 mai 2014 – Porquerolles



### SESSION 1 : milieux littoraux (2, 12, 14, 15, 18, 39)

#### **Comparaison des résolutions multispectrale et hyperspectrale pour la cartographie des récifs d'huîtres sauvages (2)**

A. Le Bris<sup>1,2</sup>, P. Rosa<sup>2</sup>, I. Benyoucef<sup>2</sup>, B. Cognie<sup>2</sup>, P. Gernez<sup>2</sup>, M. Robin<sup>1</sup>, P. Launeau<sup>3</sup> & L. Barillé<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Nantes, LETG-Nantes Géolittomer, UMR CNRS 6554, chemin de la Censive du Tertre, BP 81227, 44312 Nantes Cedex 3, France ([anthony.le-bris@univ-nantes.fr](mailto:anthony.le-bris@univ-nantes.fr), [marc.robin@univ-nantes.fr](mailto:marc.robin@univ-nantes.fr))

<sup>2</sup> Université de Nantes, Mer-Molécules-Santé (MMS), EA 2160, Faculté des Sciences et Techniques, BP 92208, 44322 Nantes Cedex 3, France ([philippe.rosa@univ-nantes.fr](mailto:philippe.rosa@univ-nantes.fr), [ismail.benyoucef@univ-nantes.fr](mailto:ismail.benyoucef@univ-nantes.fr), [pierre.gernez@univ-nantes.fr](mailto:pierre.gernez@univ-nantes.fr), [bruno.cognie@univ-nantes.fr](mailto:bruno.cognie@univ-nantes.fr), [laurent.barille@univ-nantes.fr](mailto:laurent.barille@univ-nantes.fr))

<sup>3</sup> Université de Nantes, Laboratoire de Planétologie et Géodynamique de Nantes (LPG Nantes), UMR CNRS 6112, Faculté des Sciences et des Techniques, BP 92208, 44322 Nantes Cedex 3, France ([patrick.launeau@univ-nantes.fr](mailto:patrick.launeau@univ-nantes.fr))

**Résumé :** l'activité ostréicole représente en France, un marché économique important dont les ressources sont très dépendantes des variations environnementales. Les organismes de gestion des pêches doivent désormais établir des cartographies exhaustives des gisements d'huîtres sauvages afin de répondre à la demande des professionnels pour leur exploitation. Cependant, les bassins conchylicoles tels que la baie de Bourgneuf (47°02' N, 2°08' O), représentent de vastes surfaces souvent inaccessibles. Ce travail propose donc l'utilisation de la télédétection pour la cartographie des récifs d'huîtres sauvages, ainsi qu'une comparaison des techniques multispectrale et hyperspectrale à partir d'images acquises par le capteur HRG du satellite SPOT5 et le capteur aéroporté HySpex. Une librairie des signatures spectrales des principaux éléments biosédimentaires de la zone de balancement des marées (huîtres, macroalgues, roche nue et les microalgues benthiques à la surface des vasières = microphytobenthos), a été acquise in situ à l'aide d'un spectroradiomètre ASD FieldSpec®. Le couplage de cette librairie avec une classification SAM (Spectral Angle Mapper) a permis, avec l'image hyperspectrale, de discriminer les récifs d'huîtres sauvages qui émergent à marée basse. Cependant, la qualité de la classification, estimée par le calcul du coefficient kappa à partir des relevés GPS de surface effectués in situ, est variable d'une zone à l'autre de la baie. La difficulté d'identifier les récifs dans les zones les plus envasées, résulte d'un mélange spectral entre les huîtres, le sédiment et le microphytobenthos. Des expérimentations en laboratoire ont donc été menées à l'échelle d'un individu, par des mesures radiométriques ponctuelles de la coquille des huîtres, selon différentes conditions d'expérimentations (coquille envasée, nettoyée, avec ou sans crustacés épibiontes). Les observations révèlent une variabilité importante de la réponse spectrale des coquilles, influencée notamment par la présence d'un biofilm de microalgues identifié par une bande d'absorption à 673 nm (absorption de la chlorophylle *a*) et à 632 nm (absorption de la chlorophylle *c*), caractéristique des diatomées. L'acquisition d'images de la coquille dans le visible et proche-infrarouge, à l'aide d'une caméra hyperspectrale HySpex de laboratoire, couplée à des observations au Microscope Electronique à Balayage (MEB) a permis de confirmer la présence de ce biofilm de microalgues qui colonise la surface des coquilles. Ce travail met en évidence l'intérêt de la télédétection pour la gestion des bassins conchylicoles et la compréhension du fonctionnement des écosystèmes côtiers. Enfin, pour pallier la difficulté d'identifier les récifs d'huîtres sauvages lorsque les zones sont envasées et ce, malgré la haute résolution spatiale et spectrale, il serait intéressant de combiner les techniques visible-proche infrarouge avec des données RADAR, sensibles à la rugosité de surface, et qui semblent a priori adaptées compte tenu de la structure tridimensionnelle des récifs.

#### **Simulation d'images multi/hyper-spectrales en zone côtière pour suivi des phénomènes dynamiques (12)**

M. Lei<sup>1</sup>, A. Minghelli-Roman<sup>1</sup>, M. Frayssé<sup>2</sup>, I. Pairaud<sup>3</sup>, C. Pinazo<sup>2</sup>, R. Verney<sup>4</sup> & C. Jany<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire LSIS, UMR-CNRS 7296, SeaTech, avenue Georges Pompidou, BP 56, 83162 La Valette du Var Cedex, France ([manchun.lei@lsis.org](mailto:manchun.lei@lsis.org), [roman@univ-tln.fr](mailto:roman@univ-tln.fr))

<sup>2</sup> Institut Méditerranéen d'Océanologie, Station Marine d'Endoume, Chemin de la Batterie des Lions, 13007 Marseille,

France ([marion.frayse@univmed.fr](mailto:marion.frayse@univmed.fr), [christel.pinazo@univ-amu.fr](mailto:christel.pinazo@univ-amu.fr))

<sup>3</sup> IFREMER, Laboratoire Environnement Ressources Provence-Azur-Corse, Centre Méditerranée, Zone Portuaire de Brégaillon, CS20 330, 83507 La Seyne-sur-Mer Cedex, France ([ivane.pairaud@ifremer.fr](mailto:ivane.pairaud@ifremer.fr))

<sup>4</sup> IFREMER, Laboratoire de Physique Hydrodynamique et Sédimentaire, Centre de Bretagne, ZI Pointe du diable, 29280 Plouzané, France ([romaric.verney@ifremer.fr](mailto:romaric.verney@ifremer.fr))

**Résumé** : la simulation d'images est une étape importante pour préparer une nouvelle mission spatiale durant la phase de spécification comme durant la phase de test de nouveaux algorithmes d'estimation. Dans cette conférence, nous présentons une méthode de simulation d'images multi/hyper-spectrales qui permettrait de simuler des images qui seraient acquises par un futur capteur hyperspectral satellitaire sur le Golfe du Lion.

L'approche par modélisation permet une bonne maîtrise de toutes les étapes de la chaîne image. Elle combine les modèles de transfert radiatif à travers la colonne d'eau (Hydrolight) et à travers l'atmosphère (MODTRAN) afin de simuler la luminance spectrale qui serait mesurée par le capteur en fonction des compositions dans l'eau, de l'état de la surface, du type d'atmosphère et des conditions géométriques d'observation et d'éclairement. Cette chaîne de modélisation a été validée par la comparaison avec un code Monte Carlo de transfert radiative couplé océan-atmosphère.

Pour disposer d'un paysage réaliste nous utilisons des modèles couplés pour disposer de cartes dynamiques de compositions de l'eau (chlorophylle et matières en suspension) liées au panache du Rhône et à l'émissaire urbain de Cortiou de Marseille. Le modèle hydrodynamique MARS3D dans la configuration RHOMA (Rhône-Marseille) modélise la circulation océanique sur le site du Golfe du Lion. MARS3D est couplé avec le modèle biogéochimique ECO3M pour générer les cartes de concentration de chlorophylle, il est aussi couplé avec un modèle de transport sédimentaire pour générer les cartes de concentrations en matières en suspension.

Les images actuellement simulées sont celles du futur capteur GeoOCAPI (18 bandes) en orbite géostationnaire. Elles ont été validées par comparaison avec les acquisitions du capteur MERIS. Ces images simulées ont pour but d'étudier l'apport d'un capteur géostationnaire dédié à la couleur de l'eau par rapport à un même capteur héliosynchrone vis-à-vis de problématiques accidentelles et dynamiques en zones côtières. Elles pourront aussi être utilisées dans les études d'algorithme d'inversion comme la correction atmosphérique et l'estimation des compositions dans l'eau. Cette méthode est générique pour la simulation d'images multi ou hyperspectrales.

### ***Hyperspectral reflectance in the Lagoon of New Caledonia (14)***

C. Dupouy<sup>1</sup>, P.E. Oms<sup>1</sup>, H. Murakami<sup>2</sup> & R. Frouin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut Méditerranéen d'Océanologie - IRD, Centre de Nouméa, New Caledonia ([cecile.dupouy@univ-amu.fr](mailto:cecile.dupouy@univ-amu.fr))

<sup>2</sup> JAXA, Earth Observation Research Center, Tsukuba space center E-2, 2-1-1, Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505, Japan ([murakami@eorc.jaxa.jp](mailto:murakami@eorc.jaxa.jp))

<sup>3</sup> Scripps Institution of Oceanography - UCSD, 9500 Gilman Drive, La Jolla, CA 92093, USA ([rfrouin@ucsd.edu](mailto:rfrouin@ucsd.edu))

**Résumé** : ocean colour of tropical lagoons is dependent on bathymetry and bottom color, as well as on inputs of coastal particles and dissolved organic matter. The New Caledonian lagoons lie in the Southwestern Tropical Pacific around 21°29'S and 166°38'E, with a great marine biodiversity: UNESCO Heritage coral reefs, benthic sea grass, important animal benthic communities. They are largely connected to the open ocean in the south part of the lagoon, but only by narrow passes in the southwest part of the lagoon. Exchanges with the sea can modify the phytoplanktonic assemblage in the central lagoon, characterized by oligotrophic to mesotrophic waters (yearly average chlorophyll-a concentration of 0.25-0.01 mg m<sup>-3</sup>). Compared with other tropical lagoons (0.20–16 g m<sup>-3</sup>), its trophic state is linked to spatial variations in flushing times. River inputs and low turbidity are low in the SWL and higher in the Eastern lagoon. The bathymetry is heterogeneous due to a complex geomorphology and a variety of different bottom colors. Hyperspectral reflectance was measured with TRIOS radiometers together with optical properties and chlorophyll and is examined according to distance to the coast, bathymetry, bottom color and coral cover, meteorological conditions (wind and rain), chlorophyll, mineral suspended and dissolved organic matter in the frame of the 2012-2013 TREMOLO project including CALIOPE 1 and 2 cruises on the East Coast. Trios reflectance are used to describe ocean colour variability and to estimate ocean color algorithms performance as a function of the TDT index.

### ***De l'hyperspectral aux paysages sous-marins : SWIM® et apports du programme REFCAR dans l'Océan Indien (15)***

M. Lennon<sup>1</sup>, G. Sicot<sup>1</sup>, N. Thomas<sup>1</sup>, S. Smet<sup>1</sup>, D. Corman<sup>2</sup>, O. Musard<sup>2</sup>, P. Watremez<sup>2</sup> & F. Gauthiez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SAS ACTIMAR, 36 Quai de la Douane, 29200 Brest, France ([marc.lennon@actimar.fr](mailto:marc.lennon@actimar.fr))

<sup>2</sup> Agence des Aires Marines Protégées, 16 quai de la douane, 29200 Brest, France ([david.corman@aires-marines.fr](mailto:david.corman@aires-marines.fr))

**Résumé** : le programme Litto3D® Océan Indien a permis d'acquérir des données hyperspectrales, seules et couplées avec des données lidar bathymétrique, sur les zones côtières de l'ensemble des îles françaises de l'Océan Indien au cours des années 2009 et 2010 : Ile de La Réunion, Mayotte, Iles Eparses (Tromelin, Glorieuses, Geyser, Zélé, Juan de Nova, Europa, Bassas da India).

Soutenu par l'Agence des Aires Marines Protégées via une convention de partenariat, Actimar développe une méthodologie de cartographie des habitats de la zone de petits fonds à partir de ces données. Le projet, dénommé REFCAR a d'ores et déjà permis le développement et l'implémentation opérationnelle de méthodes avancées d'inversion de modèle de transfert radiatif dans la colonne d'eau, qui ont été intégrées dans l'outil SWIM® (Shallow Water mapping using optical remote sensors). Le premier ensemble de résultats issu de SWIM® comprend pour chaque pixel :

- les paramètres de la colonne d'eau (absorption / diffusion liées aux phytoplanctons, matière organique dissoute, matière en suspension), et la hauteur de la colonne d'eau,
- le spectre de réflectance du fond estimé et modélisé,
- un ensemble de paramètres permettant de décrire les caractéristiques spectrales génériques représentatives d'éléments minéraux et pigments rencontrés dans le milieu,
- le spectre de réflectance de surface modélisé (image initiale remodelisée).

Un second ensemble de résultats issu de SWIM® permet de caractériser la qualité des estimations en termes de pertinence :

- de la réflectance du fond : Rapport Signal sur Bruit spectral de la réflectance du fond estimée,
- de la hauteur d'eau : profondeur de Secchi estimée,
- d'un point de vue global : intégration du RSB sur l'ensemble du spectre.

Les sorties de SWIM® seront présentées. La transformation des estimations de hauteur d'eau issues de SWIM® en modèles numériques de terrain bathymétriques et les performances atteintes sont en cours d'évaluation au sens des normes hydrographiques internationales de l'OHI dans un programme parallèle mené en collaboration avec le SHOM. Les performances actuellement obtenues en bathymétrie hyperspectrale seront présentées. Les spectres de réflectance et paramètres de description du fond servent d'entrée aux méthodes de classification pour la cartographie des habitats, qui sont actuellement en cours d'élaboration. Le principe de ces méthodes et leur potentiel pour la cartographie seront présentés. Les challenges rencontrés dans le volume de données à traiter et l'implémentation des méthodes de traitement associées seront discutés.

Enfin, l'accent sera mis sur la réalisation de modèles 3D à très haute résolution à partir des estimations de bathymétrie et de réflectance du fond, et leur intégration dans un globe virtuel. Cette plate-forme de visualisation baptisée SWIM®-Viewer permet d'accéder à une forme de perception des paysages sous-marins de l'ensemble des îles françaises de l'Océan indien, grâce à l'accès à une représentation spatiale et interactive de la zone de petits fonds en 3D sur un grand territoire. Les résultats seront présentés de manière interactive grâce à cette plate-forme, qui permet une ouverture vers des applications nouvelles liées à la gestion de la zone côtière, à la médiation et en écologie :

- navigation 3D interactive et plongée virtuelle,
- support à l'ajout d'informations de type photographie, vidéo, modèles 3D sous-marins, etc.
- support à l'ajout de fonctionnalités pour la création d'un système d'information et de gestion de la zone côtière,
- intégration des modèles d'analyse des paysages tant en termes d'atlas que de développement de travaux en écologie du paysage (fragmentation, patch, matrice, corridor) et à différentes échelles,
- outil de sensibilisation aux enjeux de conservation de la zone côtière, éducation, etc.

### **Méthodes statistiques pour la cartographie de zones côtières à partir d'images hyperspectrales de télédétection (18, poster)**

S. Jay<sup>1</sup> & M. Guillaume<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR ITAP, Irstea - SupAgro, 361 rue J.F. Breton, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5, France ([sylvain.jay@irstea.fr](mailto:sylvain.jay@irstea.fr))

<sup>2</sup> Institut Fresnel, Campus Universitaire de Saint Jérôme, Avenue Escadrille Normandie-Niemen, 13397 Marseille Cedex, France ([mireille.guillaume@fresnel.fr](mailto:mireille.guillaume@fresnel.fr))

**Résumé** : cet article présente une méthode statistique originale d'estimation destinée à la cartographie de zones côtières à partir d'images hyperspectrales. Les paramètres d'intérêt sont ceux qui influent sur le spectre de réflectance : profondeur, concentrations en phytoplancton, en matière organique dissoute colorée et en



particules non algales. La plupart des méthodes d'inversion existantes sont basées sur une approche pixel par pixel, et ne prennent pas en compte la corrélation spatiale entre pixels voisins. Or, ceux-ci sont souvent affectés par la même colonne d'eau si la résolution spatiale de l'image est suffisante.

La méthode de cartographie proposée utilise cette redondance d'information en se basant sur des méthodes d'estimation locale du maximum de vraisemblance (MV) de la profondeur et de la composition de l'eau. Elle fournit des cartes multi-résolution, dont la résolution dépend de la profondeur. En eau peu profonde, le rapport signal-sur-bruit est suffisamment élevé pour qu'une cartographie précise puisse être effectuée. Nous proposons ici de représenter les variations de profondeur à l'aide d'un modèle linéaire tandis que la composition de l'eau est supposée localement homogène. En eau profonde, le rapport signal-sur-bruit est faible et il est préférable d'estimer seulement la profondeur locale moyenne par la méthode d'estimation du MV standard.

Plusieurs maillages de résolution différente sont appliqués à l'image. Dans chaque maille, les propriétés de la colonne d'eau sont estimées en utilisant les deux modèles de profondeur (linéaire et constant). Les cartes finales sont obtenues en combinant les cartes estimées par les différents maillages et méthodes. Plus la zone est profonde, et plus l'influence des cartes estimées avec la méthode du MV standard est importante. Cette utilisation de l'information locale rend cette méthode plus robuste que les approches traditionnelles pixel-à-pixel. De plus, en eau peu profonde, la bathymétrie estimée a la même résolution que l'image originale puisque la profondeur est modélisée différemment en chaque pixel.

La méthode a été testée sur des images hyperspectrales réelles et simulées. Les résultats ont montré que la modélisation des variations de profondeur permettait d'améliorer l'estimation de la profondeur et de la

composition de l'eau, notamment en eau peu profonde. En eau profonde, ces variations sont faibles par rapport à la hauteur d'eau moyenne, et l'hypothèse de fond plat suffit pour obtenir de bons résultats. La bathymétrie estimée est très proche de la vérité terrain pour des profondeurs allant jusqu'à 14 m. Les cartographies de concentrations sont cohérentes et en accord avec la vérité terrain mesurée en quelques points. La résolution spatiale de la bathymétrie estimée est de 50 cm en eau peu profonde (jusqu'à 10 m), et est comprise entre 2.5 m et 5 m en eau profonde (de 10 m à 14 m).

### ***Exploitation des données hyperspectrales pour la télédétection des eaux très turbides : développement d'un algorithme multicapteur (39)***

P. Gernez<sup>1</sup>, L. Barillé<sup>1</sup>, A. Lerouxel<sup>1</sup>, A. Lucas<sup>2</sup> & D. Doxaran<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Nantes, Mer-Molécules-Santé (MMS), EA 2160, Faculté des Sciences et Techniques, BP 92208, 44322 Nantes Cedex 3, France ([pierre.gernez@univ-nantes.fr](mailto:pierre.gernez@univ-nantes.fr), [laurent.barille@univ-nantes.fr](mailto:laurent.barille@univ-nantes.fr), [astrid.lerouxel@univ-nantes.fr](mailto:astrid.lerouxel@univ-nantes.fr))

<sup>2</sup> Laboratoire d'Océanographie de Villefranche-sur-Mer, BP 8, Quai de la Darse, 06238 Villefranche-sur-Mer Cedex, France ([doxaran@obs-vlfr.fr](mailto:doxaran@obs-vlfr.fr))

**Résumé :** la matière particulaire en suspension (MES) est le principal constituant optiquement significatif des eaux turbides. Les algorithmes standards de télédétection de la concentration en MES sont en général peu adaptés aux zones très proches des côtes, caractérisées par des concentrations en MES très importantes et très variables à petite et moyenne échelle spatiotemporelle. Afin d'améliorer les observations par télédétection satellite de ces zones optiquement complexes et de grande importance au niveau écologique et socio-économique, il est pertinent de fusionner les images acquises par des capteurs différents, afin de mutualiser

leurs résolutions temporelles, spatiales et spectrales. L'acquisition en mer d'hyperspectres de réflectance marine dans le visible et le proche-infrarouge est un outil indispensable pour développer des algorithmes robustes pour la télédétection multicapteur de la concentration en MES dans les eaux côtières. En outre, la richesse spectrale des hyperspectres offre la possibilité d'extraire les signatures spectrales de constituants colorés secondaires comme la chlorophylle *a* et la chlorophylle *c* dans des eaux très turbides dominées par la matière inorganique particulaire.

Je présenterai les résultats d'une campagne bio-optique réalisée en Avril 2013 dans la zone intertidale d'une des baies les plus turbides du littoral Français : la Baie de Bourgneuf dans les Pays de la Loire. Je montrerai comment les hyperspectres acquis en mer à l'aide de radiomètres TriOS et ASD ont permis de développer un algorithme multicapteur pour la télédétection de la concentration en MES en Baie de Bourgneuf et dans l'estuaire de la Loire. L'algorithme a été validé et appliqué aux images MERIS FR, SPOT-HRV et Pléiades-HiRI, ouvrant ainsi la possibilité de leur fusion. L'algorithme est également adapté aux futures missions spatiales de l'Agence Spatiale Européenne (MSI et OLCI à bord de Sentinel 2 & 3).

Par ailleurs, les résultats acquis en Baie de Bourgneuf permettront d'illustrer l'intérêt d'une mission spatiale hyperspectrale telle que la mission HYPXIM du CNES pour l'observation des microalgues en suspension dans les



eaux littorales très turbides dominées par la matière inorganique particulaire.

## **SESSION 2 : planétologie / astrophysique (3, 6, 17, 41)**

### **Caractérisation de la glace de CO<sub>2</sub> sur Mars par télédétection hyperspectrale (3)**

F. Andrieu<sup>1</sup>, F. Schmidt<sup>1</sup> & S. Douté<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire IDES, UMR CNRS 8148, Université Paris Sud, 91405 Orsay, France ([francois.andrieu@u-psud.fr](mailto:francois.andrieu@u-psud.fr), [frederic.schmidt@u-psud.fr](mailto:frederic.schmidt@u-psud.fr))

<sup>2</sup>Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, France ([sylvain.doute@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:sylvain.doute@obs.ujf-grenoble.fr))

**Résumé :** le climat martien est largement dominé par un cycle du CO<sub>2</sub> à l'échelle planétaire [Leighton & Murray, 1966]. Pendant la nuit polaire, une partie de l'atmosphère, composée majoritairement de dioxyde de carbone, se condense en dépôts saisonniers de glace de CO<sub>2</sub>, qui se subliment progressivement au printemps. Cette sublimation des calottes est à l'origine de nombreux processus saisonniers, tel des jets de gaz froid ou des écoulements [Kieffer, 2006]. De plus, la glace carbonique agissant comme piège froid pour l'eau, le cycle du CO<sub>2</sub> influence grandement celui de l'eau. La caractérisation quantitative de ces dépôts saisonniers est donc capitale pour contraindre les échanges entre surface et atmosphère, pour permettre d'expliquer la variabilité des divers processus de surface, et plus généralement améliorer notre connaissance du climat martien. Pour caractériser quantitativement la surface (épaisseur de glace, quantité d'eau, tailles de grains) et son évolution, nous proposons une inversion du transfert radiatif, à partir de données hyperspectrales fournies par l'instrument CRISM, embarqué à bord de la sonde MRO [Murchie, 2007].

Les données CRISM. CRISM [Murchie, 2007] est un spectro-imageur dans le domaine du proche infra rouge. Il échantillonne 438 longueurs d'ondes entre 1 µm et 4 µm, avec une résolution spectrale de l'ordre de 6.55 nm et une résolution spatiale de 15 m à 19 m par pixel. L'atmosphère de Mars est suffisamment ténue pour permettre à l'instrument d'observer la surface même dans le cas de très fortes incidences dans plus de 240 canaux entre 1 µm et 2.6 µm. De plus, cet intervalle spectral est diagnostique dans l'étude de la glace de CO<sub>2</sub>, car contenant de nombreuses bandes d'absorption non saturées. C'est donc sur ces canaux que nous travaillons. Nous corrigeons les données de la composante atmosphérique (gaz et aérosols) en collaboration avec S. Douté [Douté, 2007].

Inversion. Le modèle direct est un modèle analytique de transfert radiatif multi-couches, qui s'appuie sur des constantes optiques de laboratoire à très haute résolution spectrale [Douté & Schmitt, 1998]. Nous considérons une couche de glace de CO<sub>2</sub> compacte, contaminée par de la glace d'eau et de la poussière, et reposant sur le régolite granulaire. Nous générons à l'aide de ce modèle une base de donnée de spectres haute résolution, explorant l'espace des paramètres (épaisseur de la couche, proportions et tailles de grain des impuretés, rugosité de surface). Elle est ensuite ré-échantillonnée à la résolution spectrale de l'instrument. Finalement chaque spectre mesuré est comparé à l'ensemble de la base de donnée. Nous utilisons comme métrique pour cette étape une fonction de vraisemblance, qui nous permet de définir, via une matrice de covariance, un critère physique (et non seulement mathématique) de ressemblance entre les données mesurées et synthétiques.

Les résultats que nous avons obtenus et que nous discuterons (épaisseur de la couche de glace, proportions et taille de grains des impuretés) sont cohérents avec le contexte général de sublimation de la calotte saisonnière. Nous montrons surtout que nous sommes capables aujourd'hui d'estimer quantitativement les caractéristiques de la surface glacée à partir de données hyperspectrales orbitales. De plus, nous y parvenons dans un temps de calcul suffisamment court pour permettre une inversion massive de données.

### **Processing of the Cassini/VIMS hyperspectral data: application to Titan, Saturn's major moon (6)**

T. Cornet<sup>1</sup>, S. Philippe<sup>2</sup>, S. Le Mouélic<sup>3</sup>, C. Sotin<sup>3,5</sup>, S. Rodriguez<sup>4</sup>, O. Bourgeois<sup>3</sup>, N. Altobelli<sup>1</sup> & the VIMS Team

<sup>1</sup>European Space Agency, European Space Astronomy Centre, Villanueva de la Cañada (Madrid), Spain ([thomas.cornet@univ-nantes.fr](mailto:thomas.cornet@univ-nantes.fr), [nicolas.altobelli@sciops.esa.int](mailto:nicolas.altobelli@sciops.esa.int))

<sup>2</sup>Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, France ([sylvain.philippe@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:sylvain.philippe@obs.ujf-grenoble.fr))

<sup>3</sup>Laboratoire de Planétologie et de Géodynamique de Nantes, UMR 6112, Université de Nantes, 2 rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes Cedex 3, France ([stephane.lemouelic@univ-nantes.fr](mailto:stephane.lemouelic@univ-nantes.fr), [sotin@univ-nantes.fr](mailto:sotin@univ-nantes.fr), [olivier.bourgeois@univ-nantes.fr](mailto:olivier.bourgeois@univ-nantes.fr))

<sup>4</sup>Laboratoire AIM, Université Paris Diderot – Paris 7/CNRS/CEA-Saclay, Gif sur Yvette, France ([sebastien.rodriguez@cea.fr](mailto:sebastien.rodriguez@cea.fr))

<sup>5</sup>Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91109, USA ([christophe.sotin@jpl.nasa.gov](mailto:christophe.sotin@jpl.nasa.gov))

**Résumé** : Titan, Saturn's major moon, is the only moon of the Solar System that possesses a thick and opaque atmosphere composed of nitrogen and methane. This atmosphere veils an extremely varied and familiar landscape composed of hydrocarbon lakes and seas, rivers, dunes, craters and possibly cryovolcanic features identified thanks to the Cassini-Huygens mission instruments since 2004.

Among all the Cassini spacecraft imaging instruments used for geological studies, the Visual and Infrared Mapping Spectrometer (VIMS) is able to detect Titan's surface in 7 windows through the atmosphere in the infrared domain. More than 20,000 hyperspectral cubes have thus been acquired since the beginning of the mission, altogether providing a complete view of the surface of Titan. However, surface photometry, atmospheric scattering and atmospheric absorption effects produce strong artifacts in global maps of the surface, under the form of seams between individual cubes, and a general blurring effect at short wavelengths. The aim of this study is therefore to correct empirically the VIMS cubes for atmospheric scattering, absorption and surface photometry, in order to produce seamless albedo maps. Our albedo values are then compared to those determined using complete radiative transfer code applied to the Huygens probe Landing Site data. The general agreement between empirically and radiative transfer corrected values confirms the possibility to implement a global first order correction of VIMS cubes in a simple and fast way to obtain the spectral information of the surface.

### **Multi-angle approach for coherent retrieval of surface reflectance and atmosphere optical depth from CRISM observations (17)**

S. Douté<sup>1</sup> & X. Ceamanos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble , BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, France ([sylvain.doute@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:sylvain.doute@obs.ujf-grenoble.fr))

<sup>2</sup> CNRM/GAME, Météo-France, 42 avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse, France ([xavier.ceamanos@meteo.fr](mailto:xavier.ceamanos@meteo.fr))

**Résumé** : this paper addresses the correction for aerosol effects in near-simultaneous multi-angle observations acquired by the Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM) aboard the Mars Reconnaissance Orbiter. In the targeted mode, CRISM senses planet Mars from the top of the atmosphere (TOA) using 11 viewing angles in 437 wavelengths, which allow it to provide unique information on the scattering properties of surface materials and atmospheric aerosols. In order to retrieve these data, however, appropriate strategies must be used to model the signal sensed by CRISM and compensate for aerosol contribution. This correction is particularly challenging as the spectral contrast between these suspended particles and the materials at the surface is often limited. We put forward an innovative inversion scheme of the model named Multi-angle Approach for Retrieval of Surface Reflectance from CRISM Observations (MARS-ReCO). The proposed method retrieves conjointly the atmosphere optical depth and the bidirectional reflectance factor (BRF) of surface materials as a function of wavelength. MARS-ReCO represents a substantial improvement regarding previous techniques as it takes into consideration the anisotropy of the surface, thus providing more realistic surface and atmospheric products. Furthermore, MARS-ReCO is fast and provides error bars on the retrieved parameters.

The signal sensed by CRISM can be decomposed as a sum of the atmospheric path radiance (D), and the radiance reflected by the surface before being directly (Ls) and diffusely (Lds) transmitted through the atmosphere. The diffusely transmitted surface reflected radiance at the TOA is calculated from Ls with the help of one-dimensional diffuse Green's function of the atmosphere (Gd). The surface anisotropy is taken into account through its BRF expressed using a semi-empirical Ross-Thick Li-Sparse (RTLS) model. This model has proved to be accurate in recreating many types of natural surface. The substitution of the RTLS model into the surface-atmosphere radiative transfer scheme provides a quasi-linear expression for the TOA signal : a linear combination of kernels. The latter, the path radiance, and the Green's function can be conveniently stored in reference look-up tables. MARS-ReCO performs the atmospheric correction of each TOA photometric curve  $R^C = \{R_1^C, \dots, R_{Ng}^C\}$  extracted from a targeted observation where Ng is the number of available angular measurements. An iterative inversion strategy of the TOA model is proposed based on an unconstrained linear inversion procedure which integrates several sources of uncertainty in the inversion process and propagates them to the solution. Furthermore, considering that the atmosphere opacity is usually more stationary than the properties of the Martian surface in the spatial dimension, the solution for one pixel is perpetuated spatially to the next using a Kalman filter. Tests have been performed on a selection of CRISM images with different atmospheric and geometrical conditions.

### **Détection de sources astrophysiques dans les données du spectrographe intégral de champ MUSE (41)**

**Résumé** : l'instrument MUSE (*Multi Unit Spectroscopic Explorer*) est l'un des quatre instruments de seconde génération choisis par l'ESO (*European Southern Observatory*) pour équiper le VLT (*Very Large Telescope*) au Chili. MUSE est un spectrographe intégral de champ (ou 3D) de nouvelle génération, opérant dans le domaine visible du spectre électromagnétique. Grâce à sa capacité sans précédent pour observer l'Univers en volume et en profondeur, MUSE devrait révolutionner l'étude de la formation et de l'évolution des galaxies. L'impact de MUSE ne se limitera pas à la cosmologie car cet instrument offrira également des performances uniques pour l'étude des galaxies proches, des amas d'étoiles de notre galaxie, des étoiles jeunes et des petits corps du système solaire. Pour une présentation détaillée de l'instrument, ainsi que de ses objectifs scientifiques, voir le lien <http://muse.univ-lyon1.fr/?lang=fr> dont cette introduction est tirée.

L'instrument MUSE est actuellement en phase d'installation au VLT au Chili et fera ses premières observations courant 2014. La mise au point de l'instrument entre donc dans une phase critique, qui va consister à caractériser au plus près les perturbations liées aux divers effets instrumentaux, et en particulier à caractériser les performances de détection de l'instrument pour divers types de sources, cadre dans lequel s'inscrit cette contribution. Notre travail sur MUSE nous a conduits, sur le plan des aspects théoriques de la détection, à proposer des méthodes originales basées sur des modèles parcimonieux. D'un point de vue plus applicatif, il apparaît qu'un traitement efficace pour MUSE nécessite de façon impérative de prendre en compte les spécificités de l'instrument et de ses cibles astrophysiques. Les spécificités instrumentales concernent le fort niveau de bruit des données, la forte variabilité du bruit en longueur d'onde, et les variations des réponses impulsionnelles spectrales et spatiales en fonction de la position en longueur d'onde et sur le ciel. Les spécificités des cibles s'expriment à travers leur signatures spectrales.

Les approches de détection que nous décrivons sont donc basées sur la prise en compte de la signature spectrale de ces objets, des réponses spatiales et spectrales de l'instrument, et de la variabilité de la variance du bruit. Les approches présentées revêtent une originalité particulière sur les plans théorique et pratique, car elles considèrent, via des critères de type minimax, la détection des signatures des galaxies les plus distantes (des sources très "difficiles" pour la détection, mais cosmologiquement extrêmement intéressantes).

Nous proposons dans cette contribution une comparaison, sur des données de type MUSE, des méthodes développées avec des méthodes issues de la littérature en statistiques. Nous ferons également un premier bilan des limites de robustesse des performances de ces méthodes à l'aune des premières mesures en laboratoire et sur le ciel de l'instrument (mesures signalant diverses perturbations spécifiques non modélisables a priori), et des améliorations envisagées.

### **SESSION 3 : capteurs (29, 30, 34, 36, 42)**

#### **Produits hyperspectraux distribués par EUMETSAT (29)**

B. Théodore<sup>1</sup> & D. Coppens<sup>1</sup>

<sup>1</sup>EUMETSAT, Hyperspectral L1 team, Eumetsat Allee 1, 64295 Darmstadt, Germany ([bertrand.theodore@eumetsat.int](mailto:bertrand.theodore@eumetsat.int), [dorothee.coppens@eumetsat.int](mailto:dorothee.coppens@eumetsat.int))

**Résumé** : EUMETSAT, l'organisation européenne chargée de l'exploitation des satellites météorologiques, exploite sept satellites à la fois en orbite géostationnaire et en orbite polaire. Parmi ces derniers, les deux plateformes Metop, dédiées au sondage atmosphérique dans différentes longueurs d'onde, du visible aux micro-ondes. IASI, un interféromètre de Michelson mesurant l'émission infrarouge terrestre de 645 à 2760 cm<sup>-1</sup>, fait partie des instruments du bord et permet de fournir des profils atmosphériques de température et d'humidité pour la prévision météorologique. Le domaine spectral et la résolution de l'instrument permettent également d'avoir accès à d'autres variables atmosphériques telles que la concentration de certains gaz traces comme l'ozone, les oxydes de carbone et le méthane ainsi que certaines propriétés de la surface terrestre et des nuages.

Depuis son lancement en octobre 2006, IASI sur Metop-A a effectué sans défaillance près de 40000 fois le tour de la Terre, fournissant un spectre toutes les 8 secondes avec une résolution spatiale au nadir de 20 km; il est secondé depuis septembre 2012 par IASI sur Metop-B. Nous présenterons une vue d'ensemble du programme et des mesures obtenues pendant ces sept années, des méthodes utilisées pour calibrer et inverser ces données ainsi qu'une présentation des produits finaux.

Nous finirons par une présentation des futures missions en commençant par un troisième IASI en 2018 sur Metop-C et son successeur IASI-NG qui, avec une résolution spectrale et une sensibilité radiométrique deux fois supérieure, permettra, entr'autres, de mieux caractériser les couches basses de l'atmosphère. Il volera sur la plateforme EPG-SG dont le lancement est prévu en 2020. Un aperçu de la future mission MTG sera également présenté puisqu'elle prévoit d'avoir à bord pour la première fois un imageur hyperspectral en orbite géostationnaire.

### **HYPXIM – Etude d'un spectro-imageur innovant pour les géosciences (30)**

M.-J. Lefèvre-Fonollosa<sup>1</sup>, M. Manda<sup>2</sup>, F. Porez-Nadal<sup>1</sup> & P. Gamet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CNES, 18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9, France ([marie-jose.lefevre@cnes.fr](mailto:marie-jose.lefevre@cnes.fr), [florence.porez-nada@cnes.fr](mailto:florence.porez-nada@cnes.fr), [philippe.gamet@cnes.fr](mailto:philippe.gamet@cnes.fr))

<sup>2</sup> CNES, 2 place Maurice Quentin 75001 Paris, France ([mioara.manda@cnes.fr](mailto:mioara.manda@cnes.fr))

**Résumé :** HYPXIM est une mission hyperspectrale spatiale de nouvelle génération qui répond aux besoins d'une large communauté d'utilisateurs de données à haute résolution dans le monde. Cet article présente une synthèse des besoins de la communauté scientifique française et d'utilisateurs civils et de la défense (i.a. dual). Le groupe de Mission HYPXIM a collégialement défini les exigences techniques claires et détaillées pour une mission spatiale de haute résolution en hyperspectral répondant aux besoins des thèmes suivants: la végétation naturelle et agricole, les écosystèmes aquatiques côtiers et lacustres, les géosciences du sol, l'environnement urbain, l'atmosphère, la cryosphère et la sécurité. La synthèse de ces exigences a permis de décrire les spécifications d'un satellite très innovant en terme de domaine spectral, de résolution spectrale, de rapport signal à bruit, de résolution spatiale, de fauchée et de répétitivité.

Les études de phase 0 menée par le CNES avec ses partenaires industriels (EASD-Astrium et Thales Alenia Space) ont permis de définir la mission HYPXIM, selon les contraintes suivantes :

- le continuum spectral dans le domaine optique allant du visible (VIS) au moyen infrarouge (SWIR);
- une résolution spatiale inférieure à 15 m avec une fauchée compatible de Pléiades (20 km);
- un canal panchromatique (PAN), quatre fois mieux résolu ;
- une revisite fréquente lors de crises (jusqu'à 3 jours) pour les acteurs de la sécurité;
- la mise en œuvre de technologies innovantes permettant une optimisation notamment en encombrement et masse

Divers scénarios de systèmes spatiaux ont été étudiés et ont permis de définir la mission HYPXIM basée sur un mini-satellite manœuvrant très compact. Les principales performances de la mission HYPXIM sont données ci-dessous :

- Résolution spatiale en mode hyperspectral (HX) : 8 m ;
- Résolution en panchromatique (PAN) : 1,85 m ;
- Domaine spectral : 0,4 - 2.5  $\mu\text{m}$  (VIS-to-SWIR) ;
- Résolution spectrale : 10 nm
- Qualité image : le rapport signal- sur bruit (SNR) à la luminance moyenne (L2) varie spectralement ; 250:1 (VIS) ; 208:1 (NIR) ; 133:1 (SWIR) ;
- Champ : 16 km  $\times$  16 km ;
- Période de revisite : dépend de l'angle de prise de vue, soit entre 19 jours (nadir) et 3 jours ( $\pm 35^\circ$ ).

Le segment spatial d'HYPXIM est composé d'un satellite de 650 kg au lancement placé en orbite héliosynchrone à une altitude de 660 km (heure locale de passage 10h30 à 11h00). La masse de l'instrument est estimée à environ 110 kg avec un diamètre de télescope de 45 cm, et une puissance de 150 W. La capacité d'acquisition du système est de plus de 250 images carrées par jour, téléchargées par le biais de bandes X à 620 Mbps, soit vers les stations fixes au sol, soit des stations mobiles. La forte capacité manœuvrante du satellite est principalement limitée par le besoin de flux du à la haute résolution spatiale et spectrale qui oblige le satellite à un fort ralenti lors de la prise d'images.

Ces études préliminaires ouvrent des perspectives pour un lancement possible en 2020/22 en fonction du développement des technologies critiques (comme des détecteurs HgCdTe à 2000 pixels très innovants). La durée de vie en orbite prévue est de 10 ans, avec la prise en compte des contraintes de désorbitation.

### **Le système SYSIPHE (34)**

L. Rousset-Rouvière<sup>1</sup>, C. Coudrain<sup>1</sup>, Y. Ferrec<sup>1</sup>, S. Thétas<sup>1</sup>, J. Primot<sup>1</sup>, S. Fabre<sup>2</sup>, I. Baarstad<sup>3</sup>, A. Fridman<sup>3</sup>, T. Løke<sup>3</sup>,

S. Blaaberg<sup>3</sup>, T. Skauli<sup>4</sup> & I. Mocoer<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ONERA/DOTA, Centre de Palaiseau, Chemin de la Hunière, 91761 Palaiseau Cedex, France ([laurent.rousset-rouviere@onera.fr](mailto:laurent.rousset-rouviere@onera.fr), [christophe.coudrain@onera.fr](mailto:christophe.coudrain@onera.fr), [yann.ferrec@onera.fr](mailto:yann.ferrec@onera.fr), [sophie.thetas@onera.fr](mailto:sophie.thetas@onera.fr), [jerome.primot@onera.fr](mailto:jerome.primot@onera.fr))

<sup>2</sup> ONERA/DOTA, BP 4025, 2 avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse Cedex 4, France ([sophie.fabre@onera.fr](mailto:sophie.fabre@onera.fr))

<sup>3</sup> Norsk Elektro Optikk AS, P O Box 384, 1471 Lørenskog, Norway ([baarstad@neo.no](mailto:baarstad@neo.no), [fridman@neo.no](mailto:fridman@neo.no), [trond@neo.no](mailto:trond@neo.no), [blaaberg@neo.no](mailto:blaaberg@neo.no))

<sup>4</sup> FFI, PO Box 25, 2027 Kjeller, Norway ([torbjorn.skauli@ffi.no](mailto:torbjorn.skauli@ffi.no))

<sup>5</sup> DGA, 7 rue des Mathurins, 92221 Bagneux Cedex, France

**Résumé :** le système SYSIPHE est un système imageur hyperspectral aéroporté à l'état de l'art. Il est développé en collaboration franco-norvégienne. Avec sa grande couverture spectrale (du visible à l'infrarouge thermique), sa résolution spectrale de 5nm dans la bande visible [0,4 – 1µm], de 6nm dans la bande proche infrarouge [0,95 – 2,5µm], de 13cm<sup>-1</sup> dans l'infrarouge moyen [3,0 – 5,4 µm] et de 6cm<sup>-1</sup> dans l'infrarouge lointain [8,1 à 11,8 µm] et sa résolution spatiale de 0,5m sur toute la bande spectrale pour une fauchée de 500m, le système SYSIPHE est unique en Europe, voire au monde. Il va permettre de valider et de quantifier l'apport de l'imagerie hyperspectrale dans les domaines de la défense, de la sécurité et de l'environnement.

L'instrument visible-proche infrarouge, Hypex ODIN-1024, a été développé par la société norvégienne Norsk Elektro Optikk AS, tandis que l'instrument infrarouge moyen et lointain, SIELETTERS, a été développé par l'ONERA. Les deux instruments sont installés à bord du Dornier DO-228-212 du DLR. Le système de traitement et d'archivage des données a également été développé par l'Onera. Il permet de délivrer les produits enregistrés et géoréférencés en luminances entrée instrument et/ou les cartes d'émissivité/réflexivité, température.

En septembre 2013, s'est tenue la campagne de recette du système SYSIPHE sur le centre d'essais en vol de la DGA à Cazaux (Arcachon). Les instruments ont parfaitement fonctionné démontrant leur opérabilité dès leur premier vol. Les travaux en cours sont concentrés sur les mises au point des logiciels de traitement des images acquises lors de cette campagne.

Le système SYSIPHE sera prochainement accessible à l'ensemble de la communauté, qu'elle soit scientifique, industrielle ou défense.

### **Filtres acousto-optiques à haute résolution spectrale pour l'imagerie hyperspectrale (36, poster)**

R. Maksimenka<sup>1</sup>, J. Jaeck<sup>2</sup>, N. Forget<sup>1</sup>, R. Haidar<sup>2</sup> & D. Kaplan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FASTLITE, Les Collines de Sophia, 1900 route des Crêtes, 06560 Valbonne, France ([raman@fastlite.com](mailto:raman@fastlite.com), [forget@fastlite.com](mailto:forget@fastlite.com), [dakaplan@fastlite.com](mailto:dakaplan@fastlite.com))

<sup>2</sup> ONERA/DOTA, Centre de Palaiseau, Chemin de la Hunière, 91761 Palaiseau Cedex, France ([julien.jaek@onera.fr](mailto:julien.jaek@onera.fr), [riad.haidar@onera.fr](mailto:riad.haidar@onera.fr))

**Résumé :** les filtres acousto-optiques (AOTF) permettent de construire des monochromateurs possédant des caractéristiques favorables pour l'imagerie hyperspectrale embarquée : accordabilité sur de larges plages spectrales (plus d'une octave), programmation rapide (~10 µs), ouverture angulaire importante (5-15°), calibration « mono-point », compacité (quelques cm<sup>3</sup>), robustesse (pas d'éléments mobiles), basse consommation électrique (quelques W). Ces filtres constituent une alternative intéressante aux autres approches technologiques telles que les batteries ou matrices de filtres, les spectromètres imageurs basés sur des systèmes dispersifs ou les imageurs à transformée de Fourier.

Les filtres AOTF commerciaux actuels sont basés sur des cristaux de Paratellurite et conçus pour travailler avec une géométrie acousto-optique non-colinéaire afin de pouvoir bénéficier d'une ouverture angulaire maximale. Ce choix de matériau et de géométrie a cependant pour conséquence que les dispositifs actuels ont une résolution spectrale limitée (~50 cm<sup>-1</sup>) qui ne permet pas, par exemple, de résoudre les raies spectrales de composés chimiques dans l'atmosphère. Par ailleurs, la qualité spatiale des images formées souffre d'effets de « side lobes » importants.

Nous démontrons que des dispositifs acousto-optiques colinéaires permettent d'augmenter d'un ordre de grandeur la résolution spectrale et d'améliorer la qualité d'image. Par ailleurs, nous présentons une technique originale d'acquisition et de reconstruction du cube hyperspectral permettant de tirer pleinement parti des propriétés de ces dispositifs et de travailler en grand angle (>20°). Nous présentons les premiers résultats d'un imageur hyperspectral opérant dans le proche-moyen infrarouge (MW-IR) et basé sur une caméra HgCdTe (640x512 pixels, refroidie à 80K par circuit Stirling). La résolution spectrale atteint 4 cm<sup>-1</sup> sur l'ensemble de la plage 1,5-4,5 µm et la qualité spatiale de l'image est proche de la limite de diffraction imposée par le système d'imagerie. Une démonstration expérimentale est menée sur une flamme de butane-propane (1000-1200 K)



ainsi que sur une cellule d'acétylène éclairée par une source SiC à 1200 K.

### **GFLEX: monitoring the diurnal time course of vegetation dynamics with geostationary observations (42, poster)**

F. Daumard<sup>1</sup>, I. Moya<sup>1</sup>, Y. Goulas<sup>1</sup>, C. Rhoul<sup>1</sup> & A. Ounis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Météorologie Dynamique, Ecole Polytechnique, Route de Saclay, 91128 Palaiseau, France ([fabrice.daumard@lmd.polytechnique.fr](mailto:fabrice.daumard@lmd.polytechnique.fr), [ismael.moya@lmd.polytechnique.fr](mailto:ismael.moya@lmd.polytechnique.fr), [yves.goulas@lmd.polytechnique.fr](mailto:yves.goulas@lmd.polytechnique.fr), [crhoul@lmd.polytechnique.fr](mailto:crhoul@lmd.polytechnique.fr), [abderrahmane.ounis@lmd.polytechnique.fr](mailto:abderrahmane.ounis@lmd.polytechnique.fr))

**Résumé** : recent publications (Frankenberg et al. 2011; Joiner et al. 2011) showed for the first time global maps of sun-induced chlorophyll fluorescence retrieved from radiance spectra. Given the present state of the art, remote sensing of vegetation fluorescence from space can be considered as feasible on a technical point of view.

However, many unresolved questions remain about its interpretation and use as a physiological indicator. For example, one would to know from fluorescence measurements if stomatal closure induced by a water stress situation would block CO<sub>2</sub> fixation or not. This is the kind of information that would be helpful for modelling vegetation productivity or carbon cycle.

Ground based lidars measurements showed that the waveform and amplitude of the diurnal time course of fluorescence is able to provide this information in an operational way (Cerovic et al. 1996; Flexas et al. 2000; Flexas et al. 2002; Rosema et al. 1998). As a starting point, we must state that a single measurement at a given time in the day, with a revisiting time of several weeks, as it is the case for a low sun-synchronous orbiting satellite, is not adapted to capture the highly dynamical variations of vegetation fluorescence. An hourly sampling, seems mandatory to assess photosynthesis dynamics as a function of irradiation. A geostationary platform is a more adapted solution to reach such high temporal resolution

Improvements of optical sensors now make it possible to launch medium spatial and high spectral resolution sensors on the Geostationary Earth Orbit (GEO). The GEO sensors allow observing the Earth with high temporal resolution, unlike Low Earth Orbit (LEO) satellites. Recent space mission (GOCI) illustrate this possibility, offering hourly observations to characterize phytoplankton dynamics.

The GFLEX sensor will be a multispectral imaging system on a geostationary orbit. A technical approach could be the use of a camera unit equipped with a filters wheel, as the GOCI sensor already built by Astrium.

The selected principle relies on passive measurement of sun induced fluorescence in the absorption bands of the solar spectrum that are in coincidence with the chlorophyll emission spectrum between 660 and 800 nm. Our preferential choice is to work with oxygen absorption bands, because they are much wider (0.5 to 1 nm) than solar absorption lines, thus giving a larger photons flux and a much better signal to noise ratio.

OCAPI, an ocean colour geostationary project for marine applications shares a similar concept in terms of spatial and temporal resolution. Moreover, the technical solution considered is close to the requirements of fluorescence remote sensing. The possibility to merge GFLEX and OCAPI projects is currently under discussion.

### **SESSION 4 : milieux urbains (5, 23, 43)**

#### **Optimisation de configuration spectrale pour la classification de données hyperspectrales - Exemple d'application aux milieux urbains (5)**

A. Le Bris<sup>1</sup>, N. Chehata<sup>2</sup>, X. Briottet<sup>3</sup> & N. Paparoditis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire MATIS, IGN, 73 avenue de Paris, 94165 Saint-Mandé Cedex, France ([arnaud.le-bris@ign.fr](mailto:arnaud.le-bris@ign.fr), [nicolas.paparoditis@ign.fr](mailto:nicolas.paparoditis@ign.fr))

<sup>2</sup>UMR LISAH (INRA-IRD-SupAgro), Campus AGRO, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France ([nesrine.chehata@ird.fr](mailto:nesrine.chehata@ird.fr))

<sup>3</sup>ONERA/DOTA, BP 4025, 2 avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse Cedex 4, France ([xavier.briottet@onera.fr](mailto:xavier.briottet@onera.fr))

**Résumé** : la question de la sélection de jeux optimaux de bandes spectrales pour la classification a été largement abordée dans la littérature. Néanmoins, elle a souvent été considérée comme un prétraitement afin d'alléger les volumes de données à traiter avant l'étape de classification, c'est-à-dire comme une alternative à d'autres méthodes de réduction de dimension, comme par exemple les techniques d'extraction de caractéristiques. Dans le cas présent, on souhaite, à partir de jeux de données hyperspectrales, identifier de manière plus générale les configurations spectrales les plus intéressantes pour des problématiques de classification spécifiques, comme en particulier la classification des matériaux en milieu urbain. On s'attachera

donc davantage à identifier des ensembles de jeux de bandes performants, et à en tirer des conclusions sur les parties du spectre utiles pour une thématique précise, mais aussi à connaître l'influence du nombre de bandes sélectionnées sur la qualité du résultat.

Pour ce faire, plusieurs approches classiques de sélection d'attributs ont été mises en œuvre (Random Forest, algorithme génétique associé à un classifieur SVM, ...), en exploitant certains résultats intermédiaires. On s'intéressera enfin à l'influence de la largeur des bandes, en plaçant ces travaux dans la perspective de la mise au point de capteurs superspectraux dédiés à des problématiques précises. Différents résultats seront présentés, issus à la fois des jeux de données classiques de la littérature, ainsi que d'une acquisition aéroportée UMBRA spécifiquement dédiée à la thématique des cartes de matériaux urbains.

### **Apport de l'imagerie hyperspectrale pour l'étude de l'écosystème urbain : quelles résolutions pertinentes pour une analyse plus fine des objets et des formes urbains ? (23)**

Ch. Weber<sup>1</sup>, A. Serradj<sup>1</sup>, R. Aguejdad<sup>1</sup>, X. Briottet<sup>2</sup> & S. Gadal<sup>3</sup>

<sup>1</sup> LIVE, UMR 7362 CNRS, Université de Strasbourg, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg Cedex, France ([christiane.weber@live-cnrs.unistra.fr](mailto:christiane.weber@live-cnrs.unistra.fr), [aziz.serradj@live-cnrs.unistra.fr](mailto:aziz.serradj@live-cnrs.unistra.fr), [rahim.aguejdad@live-cnrs.unistra.fr](mailto:rahim.aguejdad@live-cnrs.unistra.fr))

<sup>2</sup> ONERA/DOTA, BP 4025, 2 avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse Cedex 4, France ([xavier.briottet@onera.fr](mailto:xavier.briottet@onera.fr))

<sup>3</sup> Université Aix-Marseille, UMR CNRS 7300 ESPACE, Aix-en-Provence, France ([sebastien.gadal@univ-amu.fr](mailto:sebastien.gadal@univ-amu.fr))

**Résumé** : les espaces urbanisés sont caractérisés par une forte hétérogénéité spatio-temporelle dont la complexité influence la réponse du milieu et constitue une véritable contrainte à la fois pour le choix des données et de la méthodologie adaptée à la nature des problématiques urbaine et périurbaine. Malgré les avancées sur le plan de la résolution spatiale et des méthodes d'extraction des objets urbains, le besoin d'identifier et de caractériser la variabilité inter-classes des objets urbains exige une connaissance plus fine des types de matériaux et de revêtement des bâtiments et infrastructures. Ceci limite l'usage de l'imagerie multispectrale conventionnelle. Le recours aux images hyperspectrales permettra d'améliorer l'identification des observables, la qualité des classifications, l'utilisation des résultats dans des modélisations prospectives.

L'objectif principal de cette étude qui, s'inscrit dans le cadre du développement du projet Hypxim du CNES, est de fournir pour l'étude des écosystèmes urbains des informations pertinentes en cohérence avec la complexité du milieu urbain. Concrètement, elle vise à identifier les besoins en terme (i) de résolution spatiale, radiométrique et spectrale et (ii) de domaine spectral pertinent pour l'étude de la thématique "Ecosystèmes Urbains". L'étude en cours porte sur un jeu de données hyperspectrales simulées acquises sur la ville de Toulouse et issues de la campagne UMBRA réalisée dans le cadre d'une collaboration entre l'IGN et l'ONERA.

En se servant de la base de données de réflectances spectrales de l'ONERA et du LIVE, une série de traitements sur les données simulées sera effectuée pour essayer d'extraire les formes urbaines types, de caractériser et d'identifier les objets urbains (bâti, infrastructures, eau, végétation, sols nus) présents dans le jeu d'images. Trois zones ont été retenues (hypercentre, semi urbain, zones industrielles) et quatre résolutions spatiales (4m, 8m, 16m et 30m) seront testées afin d'évaluer les résolutions pertinentes pour l'analyse du milieu urbain d'une part, et quantifier le gain apporté par l'amélioration de la résolution spatiale par rapport aux missions en cours (EnMap et Prisma) d'autre part.

### **Segmentation de données hyperspectrales et Lidar sous e-Cognition (43)**

E. Masson<sup>1</sup> & O. Blanpain<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire TVES, Université Lille1 – Sciences et Technologies, UFR de Géographie et Aménagement, Avenue Paul Langevin, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex ([eric.masson@univ-lille1.fr](mailto:eric.masson@univ-lille1.fr), [olivier.blanpain@univ-lille1.fr](mailto:olivier.blanpain@univ-lille1.fr))

**Résumé** : les outils et méthodes Geobia se développent très largement depuis la dernière décennie offrant ainsi à la communauté scientifique des routines de traitement numérique d'image s'appuyant sur l'expertise thématique et numérique (données ancillaires à références spatiales). Dans de nombreux cas cette approche méthodologique est réputée pour sa fiabilité parfois supérieure à celle des algorithmes plus traditionnels (maximum de vraisemblance, SAM par exemples) utilisés en traitement numérique d'image. Elle permet notamment une démarche, pas à pas, ajustée à la problématique de traitement posée par le thématicien et jeu de données utilisé. En plus des données radiométriques, des néocanaux et des données thématiques, cette méthodologie permet surtout d'intégrer le contexte spatial et l'expertise thématique dans la construction de la règle de traitement numérique d'image.

Notre communication propose d'aborder les différentes phases génériques d'un traitement Geobia appliqué à un jeu de données hyperspectrales et lidar pour l'extraction d'objets urbains. Pour illustrer le potentiel d'un



traitement OBIA, nous avons choisi une extraction d'un jeu de données proposé pour le Data Fusion Contest de 2013 par l'IEEE GRSS. Ces données ont été acquises au dessus du campus de Houston (TX, USA) les 22 et 23 juin 2012 grâce à un financement NSF du « Center for Airborne Laser Mapping ». Le jeu de données se compose d'une acquisition CASI de 144 bandes spectrales comprises entre 380 et 1050 nm (recalibrées pour être exprimées en radiance au capteur) et d'une acquisition Lidar pour la création d'un MNE. Les données images sont co-registrées et possèdent une résolution spatiale de 2,5m.

Dans une phase de prétraitements sous Envi, les données hyperspectrales ont été synthétisées par ACP. Puis, les quatre premières composantes ainsi que le MNE lidar ont ensuite été compilés. Dans e-Cognition 9, une série de segmentations a été réalisée afin d'identifier les paramètres de d'extraction d'objets propres aux différentes classes testées. Puis une règle de classification a ensuite été réalisée. Les résultats méthodologiques obtenus seront discutés lors de notre communication qui ouvrira la discussion sur l'utilité thématique d'une approche orienté objet dans le traitement des données hyperspectrales en milieu urbain.

## **SESSION 5 : atmosphère (4, 10, 31, 44, 45)**

### ***Etude de phénomènes lumineux transitoires par imagerie hyperspectrale embarquée à bord d'un ballon (4)***

L. Croizé-Guinet<sup>1</sup>, S. Payan<sup>1</sup> & J. Bureau<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LATMOS, Université Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France ([laurence.guinet@latmos.ipsl.fr](mailto:laurence.guinet@latmos.ipsl.fr), [sebastien.payan@upmc.fr](mailto:sebastien.payan@upmc.fr), [jerome.bureau@latmos.ipsl.fr](mailto:jerome.bureau@latmos.ipsl.fr))

**Résumé** : ces vingt dernières années, la découverte des phénomènes lumineux transitoires dans la haute atmosphère (*Transient Luminous Events*, ou TLE), et des flashes gamma d'origine terrestre (*Terrestrial Gamma Flashes* ou TGF) a mis en lumière de nouveaux mécanismes d'interaction entre différentes parties de l'atmosphère (troposphère, stratosphère, mésosphère, ionosphère). En effet, la fréquence d'occurrence de ces phénomènes au-dessus des foyers orageux, et les énergies impliquées suggèrent l'intérêt de prendre en compte ce transfert d'énergie impulsionnelle entre la troposphère et les couches supérieures de l'atmosphère qui n'était pas fait jusqu'à présent. Ces phénomènes ont des effets non encore quantifiés qui font intervenir de nouveaux processus chimiques, effets qui pourraient avoir des implications plus larges et se manifester ailleurs dans le système solaire.

Le projet HALESIS (*High Altitude Luminous Events Studied by Infrared Spectro-imagery*) est un projet innovant qui vise à embarquer un imageur hyperspectral dans l'infrarouge moyen à bord d'un ballon stratosphérique. L'objectif de l'expérience sera de déterminer la perturbation induite par ces événements dans les minutes qui suivent l'occurrence de ces événements par des visées au limbe à partir d'un ballon situé typiquement à une altitude comprise entre 20 km et 40 km. La première partie de l'étude a consisté à vérifier la faisabilité de ce projet ambitieux en confrontant l'ordre de grandeur des signaux attendus aux performances de différents imageurs hyperspectraux (commerciaux ou non).

F. Duruisseau et al. (LPC2E) ont simulé l'impact d'un Blue Jet sur la chimie atmosphérique à partir du modèle MIPLSAMO. A partir de leurs prédictions théoriques, l'impact radiatif induit par un tel événement isolé a été calculé. Pour cela, les radiances atmosphériques correspondant à la perturbation induite par les modifications de concentration d'O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sup>+</sup> ont été simulées (avec LBLRTM) en tenant compte des hypothèses de non équilibre thermodynamique local.

Durant cet exposé, nous présenterons les résultats que nous avons obtenus, leur confrontation aux performances de l'instrumentation existante. Nous concluons par la faisabilité de ce projet, mais également sur les défis qu'il reste à relever pour obtenir un imageur parfaitement adapté à l'expérience HALESIS.

### ***Potentiel de l'instrument HYPXIM pour la détection panaches de CO<sub>2</sub> émis par les industries (10)***

C. Bodin<sup>1</sup> & R. Marion<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CEA/DAM/DIF, F- 91297 Arpajon Cedex, France ([rodolphe.marion@cea.fr](mailto:rodolphe.marion@cea.fr))

**Résumé** : depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, la pollution atmosphérique industrielle n'a cessé d'augmenter contribuant à la production de gaz et d'aérosols anthropiques ayant un impact sur le réchauffement climatique et la qualité de l'air. La majorité de ces productions, de nos jours, est issue de sources très localisées que constituent les sites industriels.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la capacité d'un instrument hyperspectral spatial de type Hypxim à détecter des rejets industriels de CO<sub>2</sub>. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode CTMF (*Cluster-Tuned*

*Matched Filter*) qui recherche la signature spectrale du CO<sub>2</sub> dans l'image en prenant en compte la structure hétérogène du fond.

Tout d'abord, quatre images aéroportées AVIRIS de sites industriels américains rejetant du CO<sub>2</sub> ont été sélectionnées (centrales thermiques). Le filtre CTMF permet de mettre en évidence les panaches de gaz même dans les cas difficiles de fond fortement hétérogène (ombres, variabilités spectrales, etc.). Il fonctionne en deux étapes : l'image est tout d'abord classifiée à l'aide de l'algorithme K-Means puis le filtre est ensuite appliqué classe par classe. Les cartes de détection ainsi obtenues fournissent une référence permettant la comparaison entre le cas aéroporté et le cas spatial.

Ensuite, des images spatiales Hypxim ont été simulées à partir des images aéroportées. Dans la première transformation, l'atmosphère située entre l'avion et le satellite est ajoutée au spectre de chaque pixel de l'image (calculs MODTRAN sous hypothèse de diffusion multiple). La deuxième transformation permet de dégrader la résolution spatiale de l'image (prise en compte de la PSF de l'instrument spatial). La troisième étape consiste à ajouter du bruit, suivant une loi gaussienne centrée d'écart type correspondant au rapport signal à bruit. La dernière étape ré-échantillonne les spectres de l'image à l'aide des sensibilités spectrales du capteur spatial.

Finalement, le filtre CTMF a été appliqué à l'ensemble des images Hypxim simulées. Les cartes de détection de CO<sub>2</sub> ainsi obtenues ont été comparées aux cartes de référence (cas aéroporté) à l'aide de caractéristiques opérationnelles de recherche (courbes COR).

Ces travaux seront présentés lors du colloque. Les premiers résultats indiquent que les caractéristiques envisagées pour le futur capteur hyperspectral spatial Hypxim devraient permettre le suivi de rejets gazeux industriels dans l'environnement. En effets, les quantités de CO<sub>2</sub> mises en jeux ici correspondent à celles rejetées par de grands sites industriels français.

### **Imagerie hyper-spectrale infrarouge pour le sondage atmosphérique depuis l'espace (31)**

P. Prunet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NOVELTIS, 153 rue du Lac, 31670 Labège, France ([pascal.prunet@noveltis.fr](mailto:pascal.prunet@noveltis.fr))

**Résumé** : le sondage atmosphérique à haute résolution spectrale dans l'infrarouge, mis en œuvre pour l'observation de la Terre depuis l'espace à partir des années 90 avec des instruments comme IMG, TES, et plus récemment AIRS, IASI ou GOSAT, permet des applications scientifiques et opérationnelles comme l'analyse de la dynamique atmosphérique, la météorologie, la chimie atmosphérique et la qualité de l'air. Ces instruments spatiaux ont été jusqu'à ce jour principalement utilisés comme des sondeurs, fournissant des informations sur la colonne atmosphérique en un point du globe et offrant une couverture globale et une revisite temporelle régulière. Les futurs concepts européens, qui seront lancés d'ici 2020, exploiteront pleinement l'imagerie hyper-spectrale infrarouge pour analyser, avec une résolution spectrale très fine, les structures spatiales de l'atmosphère et leur dynamique. Cette nouvelle génération de capteurs spatiaux fournira une quantité d'information incomparable et soulève de nouveaux défis pour le traitement et l'exploitation des données qui seront acquises. Ces instruments de troisième génération devraient également permettre des avancées qualitatives majeures, en particulier pour l'observation et la quantification des gaz traces et des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Après un bref historique des missions de sondage dans l'infrarouge pour l'observation de la Terre, le potentiel de l'imagerie hyper-spectrale dans l'infrarouge thermique sera présenté et discuté, à partir du retour d'expérience de la mission de sondage à haute résolution spectrale infrarouge MetOp/IASI opérée par le CNES et EUMETSAT, et des travaux actuels pour la préparation par EUMETSAT de la mission d'imagerie hyper-spectrale infrarouge de Météosat Troisième Génération, MTG-IRS. L'accent sera mis sur quelques enjeux importants de la préparation de MTG-IRS, comme la compression spectrale de l'information pour gérer les quantités importantes de données, ou l'exploitation optimale de l'information spatio-temporelle et spectrale. On discutera plus particulièrement le potentiel de l'imagerie hyper-spectrale MTG-IRS pour la chimie atmosphérique et la qualité de l'air.

On présentera ensuite le potentiel de l'imagerie hyper-spectrale dans le proche infrarouge ou SWIR (Short Wave InfraRed) pour la mesure des gaz à effet de serre depuis l'espace. A partir de quelques exemples de simulations, le potentiel et les limites de ces mesures pour la détection des émissions naturelles et anthropiques seront discutés, et un concept actuellement étudié en collaboration avec l'Agence Spatiale Européenne sera brièvement présenté.

L'objectif de cette communication est de présenter quelques aspects des enjeux actuels de l'imagerie hyper-

spectrale infrarouge appliquée à l'étude de la composition atmosphérique depuis l'espace, et de susciter des échanges et partages d'expériences avec les autres communautés travaillant sur l'imagerie hyper-spectrale.

### **SPIM/AeroSPIM – Détection à distance de nuages de gaz (44, poster)**

L.B. Gay<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Paramount Advanced Technologies, 970 rue René Descartes, Horizon St. Victoire, 13857 Aix en Provence, France ([lebrun.gay@paramountgroup.biz](mailto:lebrun.gay@paramountgroup.biz))

**Résumé** : depuis 2001 nous avons développé et commercialisé un capteur hyperspectral appelé SPIM. Ce **SP**ectro **IM**ageur utilise l'imagerie infrarouge passive pour détecter des nuages de gaz dangereux en mesurant l'énergie collectée depuis la scène dans le domaine spectral 3-5 $\mu$ m et 8-12 $\mu$ m. La détection à distance (au sol ou aéroportée), l'identification, la quantification, la localisation et la visualisation de produits chimiques à l'état gazeux, sont des besoins essentiels dans de nombreux secteurs. L'imagerie hyperspectrale offre des capacités incomparables pour répondre aux spécifications de certaines applications :

- Surveillance contre les risques chimiques sur les sites industriels chimiques et pour la sécurité civile
- Gestion de crise lors de l'intervention des pompiers pour réduire les risques en contrôlant la dispersion des nuages et protéger ainsi les personnels d'intervention comme les zones habitées
- Evaluation des risques et implantation du moyen de protection adéquate
- Détection de fuites sur pipelines avec version aéroporté (AeroSPIM)
- Surveillance contre les risques chimiques sur des sites industriels sensibles et pour la sécurité civile
- Evaluation des risques et mise en place d'une protection adéquate
- Surveillance et monitoring de l'environnement (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>,...)

La méthode passive d'analyse chimique repose sur les différences d'émission et d'absorption d'agents chimiques dans le champ de vision de l'instrument (80°). La technologie SPIM, basée sur un procédé d'imagerie hyperspectrale, permet d'obtenir pour chaque pixel de l'image infrarouge une réponse spectrale de plus de 100 points de mesure par pixel et ce jusqu'à 5km du système. L'avantage de la bande thermique infrarouge (entre 3 et 12  $\mu$ m) est lié à l'émission propre des matériaux de sorte qu'aucune source extérieure d'excitation n'est nécessaire. Avec ce procédé il n'est pas nécessaire d'avoir un fond de référence « non pollué » ou d'avoir une connaissance du site à surveiller.

La mesure spectrale des flux reçu, émis et réfléchi dans la région infrarouge du spectre électromagnétique révèle des signatures dues aux transitions vibrationnelles qui sont caractéristiques d'une molécule. Cette information obtenue est généralement appelée « hypercube ». Un hypercube est une représentation tridimensionnelle d'un observable physique, comme une luminance spectrale (exprimée en watts par stéradian par mètre carré et par micron), représentée en fonction des deux dimensions spatiales et de la dimension spectrale.

### **Détection de gaz sur un site industriel par imagerie hyperspectrale (45, poster)**

D. Rodriguez<sup>1</sup>, S. Payan<sup>1</sup>, M. Guinet<sup>2</sup>, J. Bureau<sup>1</sup> & L. Croizé-Guinet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LATMOS, Université Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France ([delphy.rodriquez@latmos.ipsl.fr](mailto:delphy.rodriquez@latmos.ipsl.fr), [sebastien.payan@upmc.fr](mailto:sebastien.payan@upmc.fr), [jerome.bureau@latmos.ipsl.fr](mailto:jerome.bureau@latmos.ipsl.fr), [laurence.guinet@latmos.ipsl.fr](mailto:laurence.guinet@latmos.ipsl.fr))

<sup>2</sup> UMR 8233 MONARIS, Université Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France ([mickael.guinet@upmc.fr](mailto:mickael.guinet@upmc.fr))

**Résumé** : les cadastres d'émission réalisés par les bureaux d'études ne sont pas assez précis pour quantifier les émissions (localisées et/ou fugitives) sur les sites industriels. En effet, les réglementations sont de plus en plus strictes en matière de pollution atmosphérique. Un service innovant est apporté avec l'imagerie hyperspectrale. Nous avons réalisé deux campagnes de mesures sur un site industriel avec une caméra hyperspectrale. L'analyse des mesures dans l'infrarouge thermique nous a permis d'identifier et imager composés volatiles présents sur le site dans plusieurs situations et configurations : visées vers des camions lors de chargement et déchargement de produit, dégazage de soupapes de cuves de stockage, chargement et déchargement de wagons. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à une méthode simple et rapide de traitement des hyper-cubes pour la visualisation de certains gaz dans les scènes visées. Ce traitement que nous avons appelé "différences spectrales", nous permet de détecter et imager des émissions de gaz dans certaines conditions qui seront décrites dans ce poster. Nous avons également collaboré avec le LADIR pour la réalisation du spectre d'une molécule qui n'était pas présente dans les banques de données spectroscopiques. Enfin, nous développons une base de données regroupant les différents paramètres spectroscopiques (sections efficaces, position, intensité et largeur à mi-hauteur des raies) des molécules rencontrées sur le site industriels.

**Classification d'images hyperspectrales par des méthodes fonctionnelles non-paramétriques (1)**

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

<sup>1</sup>Laboratoire DYNAFOR - UMR 1201, INRA & INP Toulouse, Avenue de l'Agrobiopole, 31326 Castanet-Tolosan, France ([anthony.zullo@toulouse.inra.fr](mailto:anthony.zullo@toulouse.inra.fr), [mathieu.fauvel@ensat.fr](mailto:mathieu.fauvel@ensat.fr))

<sup>2</sup>Institut de Mathématiques de Toulouse, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex 9, France ([ferraty@math.univ-toulouse.fr](mailto:ferraty@math.univ-toulouse.fr))

**Résumé** : la classification supervisée d'images hyperspectrales est rendue difficile par le grand nombre de variables spectrales et par le petit nombre d'échantillons de références pour l'entraînement. Plusieurs méthodes ont été proposées pour aborder ce problème. Citons par exemple les méthodes Bayésiennes, les méthodes d'extraction de caractéristiques, les forêts aléatoires, les réseaux de neurones ainsi que les méthodes à noyau. En particulier, les Machines à Vecteurs de Support ou Séparateur à Vaste Marge (SVM) ont montré de très bonnes performances en termes de bonnes classification.

Cependant, une des caractéristiques principales de l'imagerie hyperspectrale n'a pas été encore étudiée : la très forte corrélation entre deux bandes spectrales consécutives, liée à la nature physique des spectres de réflectance. Une façon de prendre en compte cette propriété est de ne pas considérer les spectres comme des vecteurs de variables spectrales mais comme la discrétisation de fonctions continues de la longueur d'onde. Cette modélisation permet ainsi de prendre en compte naturellement l'ordre des bandes spectrales, la forme des spectres ou la dérivée des spectres de longueurs d'ondes. De plus, l'utilisation de mesures de proximité spécifiques appelées « pseudo-métriques » sur les fonctions permet une plus grande robustesse face à la grande dimension spectrale.

Dans cette présentation, nous introduirons une approche non-paramétrique de classification de fonctions à l'aide d'un modèle statistique fonctionnel. En particulier, la construction de 3 pseudo-métriques adaptées à la comparaison de courbes sera présentée. La première pseudo-métrique considérée est une extension de la distance vectorielle L2 aux espaces fonctionnels, la seconde est basée sur l'Analyse Fonctionnelle en Composante Principale (FPCA) et la troisième utilise sur la Régression Multiples des Moindres Carrés Partiels (MPLSR).

Des résultats obtenus sur des images hyperspectrales réelles seront présentés. Pour comparaison, un modèle de mélange Gaussien et des SVM ont été appliqués. En termes de taux d'erreurs de classification, la méthode proposée avec la pseudo-métrique MPLSR donnent les meilleurs résultats. Nous concluons la présentation sur les perspectives qu'offre la modélisation fonctionnelle pour le traitement d'images hyperspectrales.

**Classification spectrale-spatiale d'images hyperspectrales par régularisation anisotropique (20)**

N. Gorretta<sup>1</sup>, S. Jay<sup>1</sup> & X. Hadoux<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMR ITAP, Irstea - SupAgro, 361 rue J.F. Breton, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5, France ([nathalie.gorretta@irstea.fr](mailto:nathalie.gorretta@irstea.fr), [sylvain.jay@irstea.fr](mailto:sylvain.jay@irstea.fr), [xavier.hadoux@irstea.fr](mailto:xavier.hadoux@irstea.fr))

**Résumé** : l'intégration de contraintes spatiales dans le processus de discrimination d'images hyperspectrales est connue comme un moyen efficace d'augmenter la précision de la classification. Nous proposons ici une nouvelle approche spectrale-spatiale de classification utilisant la régularisation anisotropique sur des images de dimension spectrale réduite (images scores) obtenues par moindres carrés partiels (PLS).

Le schéma de l'approche développée comprend trois étapes réalisées successivement :

- La première étape consiste en une réduction de la dimension des données réalisée via une approche supervisée i.e. la PLS. Cette dernière permet d'obtenir un espace de dimension réduite en maximisant la covariance entre les variables descriptives (des pixels spectraux de l'image) et les variables prédictives (les classes). On obtient ainsi un ensemble d'images scores correspondant à la projection de l'image de départ sur un espace de dimension réduite.
- La deuxième étape consiste en une régularisation spatiale à partir d'un filtrage anisotropique. Le filtrage est réalisé sur chacune des images scores obtenues lors de l'étape 1. L'utilisation d'un tel filtrage a pour objectif d'augmenter l'homogénéité des régions tout en préservant leurs contours. La PLS permettant d'obtenir des scores indépendants (orthogonaux), chaque plan score peut être ainsi traité indépendamment. Cette étape de régularisation permet ainsi d'obtenir un nouvel ensemble d'images scores régularisés.

- La troisième étape consiste à réaliser la carte de classification finale à partir des images scores régularisées. Les nouvelles classes obtenues étant non convexes (multi modales), un classifieur de type k-plus proche voisin a été utilisé.

L'approche a été testée sur 3 images hyperspectrales de télédétection (scènes agricoles et urbaines) et présentant diverses résolutions spatiales et spectrales. Les résultats de classification obtenus avec notre approche ont été comparés à ceux obtenus avec d'autres approches de classification spectrale-spatiale déjà publiées pour un nombre variable et croissant d'échantillons d'apprentissage. Ces résultats montrent des potentialités certaines pour l'approche proposée.

### **Classification automatique par propagation d'affinité de plantes invasives à partir d'images hyperspectrales de grande taille (22, poster)**

M. Soltani<sup>1</sup>, K. Chehdi<sup>1</sup> & C. Cariou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire TSI2M, ENSSAT - Université de Rennes 1, 6 rue de Kérampont, BP 80518, 22305 Lannion Cedex, France  
([kacem.chehdi@univ-rennes1.fr](mailto:kacem.chehdi@univ-rennes1.fr), [claudio.cariou@univ-rennes1.fr](mailto:claudio.cariou@univ-rennes1.fr))

**Résumé** : les images hyperspectrales suscitent un intérêt croissant depuis une quinzaine d'années. Elles fournissent une information plus détaillée des propriétés spectrales d'une scène et permettent une discrimination plus précises des objets que les images RVB ou même les images multispectrales. Bien que les potentialités de la technologie hyperspectrale apparaissent relativement grandes, l'analyse et le traitement de ces données restent des procédures complexes et difficiles. En effet, exploiter ces quantités de données importantes présente un défi et la plupart des méthodes d'analyse et d'interprétation sont encore en développement.

Pour pouvoir exploiter les données hyperspectrales, l'opération de classification constitue une étape incontournable. Cette opération, peut être menée de manière supervisée ou non supervisée. La classification non-supervisée présente plusieurs avantages par rapport à l'approche supervisée, dont la non nécessité pour l'utilisateur de préciser à l'avance les classes à discriminer et les échantillons d'apprentissage (relevés de terrain) dont l'accès pour certaines applications est très difficile.

C'est pourquoi, nous nous intéressons ici au partitionnement des images par une approche de classification non supervisée et non paramétrique. Le caractère non paramétrique permet d'éviter les erreurs introduites lors de l'estimation du modèle du mélange ou l'estimation des paramètres qui peuvent fausser la classification et plus particulièrement dans le cas des données de grande dimension.

Les classifieurs non paramétriques les plus connus sont : K-means, FCM (*fuzzy c-means*), ISODATA et l'AP (*affinity propagation*). Pour les 3 premières méthodes le nombre de classes doit être fixé à l'avance. Dans une étude comparative que nous avons menée, la supériorité de l'AP par rapport aux méthodes citées a été démontrée. Malgré son bon taux de classification, cette méthode, présente deux inconvénients majeurs. D'une part, la version complètement non supervisée donne une surestimation du nombre de classes. D'autre part, lorsqu'il s'agit de partitionner des images hyperspectrales de grande taille, sa complexité de calcul est quadratique. Par conséquent, son application sur des données réelles de grande taille spatiale comme les images aériennes hyperspectrales reste impossible.

Dans cette présentation, nous proposons une approche qui apporte des solutions à ces deux problèmes. Elle consiste tout d'abord à réduire le nombre d'individus à classer avant l'application de l'AP en introduisant une étape de pré-classification qui agrège automatiquement les pixels à très forte similarité. L'image hyperspectrale est divisée en blocs puis l'étape de réduction est appliquée indépendamment sur chacun des blocs. Cette étape nécessite moins d'espace mémoire, puisque le calcul de la matrice de similarité complète n'est pas requis. L'AP est ensuite appliquée sur un nouvel ensemble de pixels constitué cette fois-ci des représentants de chaque groupe formé et les individus non agrégés.

Pour estimer le nombre de classes, la méthode de l'AP utilise de manière implicite un paramètre de préférence  $p$  dont la valeur initiale correspond à la médiane des valeurs de la matrice de similarité. Comme cette valeur conduit souvent à une sur-segmentation des images, nous avons introduit une étape calculant la valeur optimale de ce paramètre en maximisant un critère lié à la variance interclasse.

L'application de cette approche, sur plusieurs images tests a montré que les résultats de l'AP sont indépendants par rapport au choix de la taille des blocs. Elle a été également appliquée avec succès pour la détection des plantes invasives et non invasives à partir d'images aériennes hyperspectrales de grande taille spatiale acquises par notre plate-forme dans la région de Murcia (Espagne) en octobre 2010 : 62 bandes avec une résolution spatiale au sol de 0.50 m, 8075 × 9748 pixels.

## ***Hyperspectral and multispectral images fusion using ARSIS: the spatial resolution improvement by structures injection (24, poster)***

D. Sylla<sup>1</sup>, A. Minghelli-Roman<sup>1</sup> & A. Mangin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire LSIS, UMR-CNRS 7296, SeaTech, avenue Georges Pompidou, BP 56, 83162 La Valette du Var Cedex, France ([diogone.sylla@lsis.org](mailto:diogone.sylla@lsis.org), [roman@univ-tln.fr](mailto:roman@univ-tln.fr))

<sup>2</sup>ACRI-ST, 260 route du Pin Montard, BP 234, 06904 Sophia Antipolis Cedex, France ([antoine.mangin@acri-st.fr](mailto:antoine.mangin@acri-st.fr))

**Résumé** : the spectral resolution of hyperspectral data are useful for accurate detection and identification of minerals, vegetation, and materials. In marine domain, hyperspectral data lead also to obtain several parameters such as the water components, the depth and the seabed reflectance in coastal areas. Nevertheless, the spatial resolution of hyperspectral sensors is often limited by the signal weakness in each thin spectral band. The spatial resolution of hyperspectral images is then often lower than that those of multispectral sensors with a low spectral resolution.

By merging these 2 kinds of image, it is possible to generate a hyperspectral image with a high spatial resolutions that no existing sensor is able to provide at this time. The fusion of hyperspectral and multispectral images will also lead to a better interpretation of the scene for instance in coastal water quality monitoring.

The Spatial Resolution Improvement by Structures Injection (ARSIS) basically developed for multispectral image sharpening using the spatial information from a panchromatic image were adapted for our purpose. We compare the ARSIS image to an existing reference method.

In this conference, we will present the ARSIS method applied to a synthetic data set: The multispectral image (Landsat) and a hyperspectral image from the Hyperspectral Imaging for Coastal Waters (HICO). The two synthetic data set is obtained from a HICO image (90 bands with 90m resolution), spectrally degraded to obtain the multispectral image and spatially degraded to obtain the hyperspectral image. A ratio 3 is kept between the 2 resolutions (30m for Landsat and 90m for HICO). A reference image (high spatial and spectral resolution) is also obtained to compare ARSIS implementation and other reference method. In order to assess the quality of the resulting fusion images, certain parameters such as ERGAS, RASE, SAM, SD and RB are calculated and presented.

## ***Détection et estimation conjointe de modèles de mélange non-linéaires en imagerie hyperspectrale (32, poster)***

T. Imbirida<sup>1</sup>, J.-C.M. Bermudez<sup>1</sup>, C. Richard<sup>2</sup> & J.-Y. Tournet<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université Fédérale de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brésil ([bermudez@lpds.ufsc.br](mailto:bermudez@lpds.ufsc.br))

<sup>2</sup> Laboratoire Lagrange, UMR CNRS 7293, Observatoire de la Côte d'Azur, Université de Nice Sophia-Antipolis, Boulevard de l'Observatoire, 06304 Nice ([cedric.richard@unice.fr](mailto:cedric.richard@unice.fr))

<sup>3</sup> IRIT - UMR 5505, INP - ENSEEIHT Toulouse, 2 rue Charles Camichel, BP 7122, 31071 Toulouse Cedex 7, France ([jean-yves.tourneret@irit.fr](mailto:jean-yves.tourneret@irit.fr))

**Résumé** : the analysis of hyperspectral images has been recognized as an important tool to infer about the materials present in a scene and about their relative contribution to the scene. Most unmixing techniques rely on parametric mixing models, from which the parameters must be estimated. The simplest of these models assumes linear mixing of the endmember contributions (Linear Mixing Model - LMM). However, it has been recognized that the mixing in some pixels of a region is actually nonlinear. This finding has triggered a plethora of techniques for analyzing nonlinearly mixed pixels. Though nonlinear unmixing permits a better understanding of the endmember contributions, the corresponding analysis techniques are necessarily more complex than linear unmixing. In this presentation, we propose a new robust nonlinearity mixing test. It consists of modeling the contribution of the endmembers to the observations using nonlinear regression. The nonlinearity is estimated from the estimated nonlinear regression function, and compared to the linear least squares LMM estimator for the same data. A hypothesis test is then proposed based on the linear and nonlinear estimation errors.

## ***Démélange non-linéaire d'images hyperspectrales : mythe ou réalité ? (33)***

J. Chen<sup>1</sup>, N. Dobigeon<sup>2</sup>, A. Halimi<sup>2</sup>, P. Honeine<sup>3</sup>, C. Richard<sup>1</sup> & J.-Y. Tournet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Lagrange, UMR CNRS 7293, Observatoire de la Côte d'Azur, Université de Nice Sophia-Antipolis, Boulevard de l'Observatoire, 06304 Nice ([jie.chen@unice.fr](mailto:jie.chen@unice.fr), [cedric.richard@unice.fr](mailto:cedric.richard@unice.fr))

<sup>2</sup> IRIT - UMR 5505, INP - ENSEEIHT Toulouse, 2 rue Charles Camichel, BP 7122, 31071 Toulouse Cedex 7, France



([nicolas.dobigeon@irit.fr](mailto:nicolas.dobigeon@irit.fr), [abderrahim.halimi@irit.fr](mailto:abderrahim.halimi@irit.fr), [jean-yves.tourneret@irit.fr](mailto:jean-yves.tourneret@irit.fr))

<sup>3</sup> LM2S, Institut Charles Delaunay, UMR 6279, Université Technologique de Troyes, 12 rue Marie Curie, CS 42060, 10004 Troyes Cedex ([paul.honeine@utt.fr](mailto:paul.honeine@utt.fr))

**Résumé** : cet exposé présentera quelques modèles de mélange utilisés en imagerie hyperspectrale ainsi que les algorithmes de démixage spectral associés. Outre le traditionnel modèle de mélange linéaire, une attention particulière sera apportée aux modèles de mélange bilinéaires et post non-linéaires, et aux modèles à base de noyaux reproduisants. Les modèles bilinéaires permettent de prendre en compte les interactions entre les composants purs contenus dans l'image et ont montré leur utilité en présence de multi-trajets. Les modèles post non-linéaires ont été beaucoup considérés dans le domaine de la séparation de sources. Ils permettent de capturer les déviations par rapport au modèle linéaire et également de construire des tests de détection de non-linéarités. Enfin, en l'absence de connaissance sur la nature des non-linéarités affectant les images hyperspectrales, la théorie des noyaux reproduisants fournit un cadre intéressant avec lequel on peut formuler le problème de démixage spectral non-linéaire.

### ***Hyperspectral image classification using sparse representations of morphological attribute profiles (37)***

M. Dalla Mura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GIPSA-lab, 11 rue des Mathématiques, Grenoble Campus, BP46, 38402 Saint Martin d'Herès Cedex, France ([mauro.dalla-mura@gipsa-lab.grenoble-inp.fr](mailto:mauro.dalla-mura@gipsa-lab.grenoble-inp.fr))

**Résumé** : in recent years, sparse representations have been widely studied in the context of remote sensing image analysis, in particular for the thematic classification of hyperspectral images. In this work, we propose to exploit sparse representations of morphological attribute profiles for remotely sensed image classification. Specifically, we use extended multi-attribute profiles (EMAPs) to integrate the spatial and the spectral information contained in the data. EMAPs provide a multilevel characterization of an image created by the sequential application of morphological attribute filters that can be used to model different kinds of structural information. The information conveyed by EMAPs can be extremely high, and may appeal for efficient forms of (sparse) representation in order to avoid increasing the dimensionality of the problem, which can have a negative impact in supervised classification due to the (generally limited) number of training samples available a priori. Here, we develop a new strategy based on sparse representation and classification based on EMAPs for remote sensing data. Our experiments reveal that the proposed approach, which combines the advantages of sparse representation and the rich structural information provided by EMAPs, can exploit the inherent sparsity present in EMAPs to provide state-of-the-art classification results for different multi/hyperspectral data sets.

### ***Fusing multispectral and hyperspectral images through pansharpening (38, poster)***

M. Dalla Mura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GIPSA-lab, 11 rue des Mathématiques, Grenoble Campus, BP46, 38402 Saint Martin d'Herès Cedex, France ([mauro.dalla-mura@gipsa-lab.grenoble-inp.fr](mailto:mauro.dalla-mura@gipsa-lab.grenoble-inp.fr))

**Résumé** : HyperSpectral (HS) sensors are characterized by a very high spectral resolution (i.e., a large number of bands), but their spatial resolution is inadequate for many applications. A method for tackling this issue consists of taking advantage of the spatial information contained in PANchromatic (PAN) images through the utilization of data fusion techniques. Several pansharpening approaches have been proposed for the fusion of multispectral (MS) and PAN image. However, they reveal to be inadequate when dealing with HS images. Indeed they are prone to introduce significant spectral distortions and may result computationally prohibitive due to the increased number of bands. Here we will analyze the quality of enhanced HS images, in terms of spectral distortion and spatial coherence, obtained by using different classical pansharpening approaches to evidence the peculiarities emerging from their applications to HS data.

### ***Comparison between wavelet-based and unmixing-based techniques for the fusion of hyperspectral and panchromatic images (40)***

R. Marion<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CEA/DAM/DIF, 91297 Arpajon Cedex, France ([rodolphe.marion@cea.fr](mailto:rodolphe.marion@cea.fr))

**Résumé** : image fusion is a widely used technique in remote sensing. It combines high spatial resolution images with high spectral resolution images, in order to obtain an image with the best possible spatial and spectral characteristics for an accurate description of the observed scene. An abundant literature exists on the subject,



and many methods are now available to perform this task.

In this study, we consider the fusion between a hyperspectral image and a panchromatic image. The performances of two kinds of methods, namely wavelet-based and unmixing-based, are evaluated and compared to each other using visual analysis (qualitative) and standard quality indexes (quantitative). For this purpose, we have implemented several methods based on the ARSIS concept (Ranchin and Wald, 2000) and compared them to the Unmixing-based Constrained Nonnegative Matrix Factorization (UCNMF) method (Zhang et al., 2013).

In the ARSIS concept, it is assumed that the missing information is linked to the high frequencies in the hyperspectral and panchromatic images. The relationship between the high frequencies in both images is modeled and then used for the injection of the spatial details. For the multi-scale description of the images, we have used the "A Trous" Wavelet Transform (ATWT) (Dutilleux 1989). The UCNMF method uses a spectral unmixing of the hyperspectral image and a fusion of the abundance matrix with the panchromatic image following a projected gradient algorithm to add a spectral preservation constraint.

First, the methods have been applied on simulated datasets obtained from an airborne high spatial resolution hyperspectral image. It allows a direct comparison of their performances for various spatial resolution ratios independently of other error sources, in particular the registration.

Then, we made a study on real images. The first test case is a pair Hyperion/Ikonos of the city of New-Orleans in the United States and the second one is a pair Hyperion/QuickBird of the uranium mine of Ranger in Australia. Fusion results have been compared qualitatively and quantitatively. First results seem to indicate that UCNMF provides quite better results in terms of the spatial quality of the fused image. But in the spectral domain, ARSIS methods seem more accurate. During the symposium, we will describe these results in more details.

## **SESSION 7 : végétation (9, 16, 19, 21, 26, 46)**

### ***Estimation de la biodiversité des forêts tropicales par imagerie hyperspectrale : Revue des avancées permises par imagerie aéroportée et défis associés à l'acquisition spatiale (9)***

J.-B. Féret<sup>1,2</sup>, J.-P. Gastellu-Etchegorry<sup>1</sup>, M.-J. Lefèvre-Fonollosa<sup>2</sup>, C. Proisy<sup>3</sup> & G.P. Asner<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CESBIO, 18 avenue E. Belin, 31401 Toulouse Cedex 9, France ([feretjb@cesbio.cnes.fr](mailto:feretjb@cesbio.cnes.fr), [jean-philippe.gastellu@cesbio.cnes.fr](mailto:jean-philippe.gastellu@cesbio.cnes.fr))

<sup>2</sup> CNES, 18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9, France ([marie-jose.lefevre@cnes.fr](mailto:marie-jose.lefevre@cnes.fr))

<sup>3</sup> IRD / UMR AMAP, Boulevard de la Lironde, 34398 Montpellier Cedex 5, France ([christophe.proisy@ird.fr](mailto:christophe.proisy@ird.fr))

<sup>4</sup> Department of Global Ecology, Carnegie Institution for Science, 260 Panama Street, Stanford CA 94305, USA ([gpa@stanford.edu](mailto:gpa@stanford.edu))

**Résumé** : l'érosion de la biodiversité est actuellement un enjeu environnemental majeur qui, sur les terres émergées, touche particulièrement les écosystèmes tropicaux. Ceux-ci sont menacés par 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). La surveillance et la conservation de ces écosystèmes fragiles nécessite la mise au point de méthodes adaptées à leurs dimensions, la difficulté d'accès et permettant 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. Ces techniques ont été validées à l'aide de mesures aéroportées, notamment par le Carnegie Airborne Observatory Airborne Taxonomic Mapping System (CAO ATOMS) suite à une série de campagnes réalisées entre 2011 et 2013 en forêt amazonienne péruvienne. Les résultats obtenus et validés à l'aide d'un réseau de parcelles inventoriées des plaines aux écosystèmes de montagne démontrent la possibilité de cartographier avec fiabilité différents indicateurs de biodiversité tels que les indices de Shannon et Fisher ( $\alpha$ -diversité) mais aussi les changements de communautés d'espèces ( $\beta$ -diversité) au sein du paysage.

La possibilité d'appliquer de telles méthodes à des données issues d'observations spatiales est actuellement étudiée afin de préparer la mise au point opérationnelle d'outils de surveillance focalisés sur l'ensemble des régions tropicales (y compris mangroves) à l'aide des missions satellites en préparation, notamment HYPXIM. La première phase accompagnant ce changement de conditions d'observations est réalisée 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 spatiales et temporelles, directions solaire et d'observation, etc.) et expérimentale (architecture de la canopée, topographie, atmosphère,...). Une adaptation

du schéma de simulation a été réalisée afin de prendre en compte la biodiversité à travers la variation de la chimie foliaire, de la structure de canopée et de combinaisons d'espèces, ainsi que l'influence de l'atmosphère. Des campagnes de terrain sont en préparation en Guyane française afin d'affiner les simulations et déterminer leur sensibilité aux différents facteurs pris en compte par le modèle ainsi qu'au niveau de précision requis au niveau des variables d'entrée.

### **Visible and near-infrared hyperspectral imaging to describe some properties of conventionally and ecologically grown vegetables (16, poster)**

G. Masaitis<sup>1</sup>, D. Šileikienė<sup>1</sup>, G. Mozgeris<sup>1</sup>, J. Lekaviciute<sup>2</sup> & S. Gadal<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Aleksandras Stulginskis University, Kaunas, Lithuania ([gediminas.masaitis@asu.lt](mailto:gediminas.masaitis@asu.lt), [daiva.sileikiene@asu.lt](mailto:daiva.sileikiene@asu.lt), [gintautas.mozgeris@asu.lt](mailto:gintautas.mozgeris@asu.lt))

<sup>2</sup> Klaipeda University, Klaipeda, Lithuania ([jlekaviciute@gmail.com](mailto:jlekaviciute@gmail.com))

<sup>3</sup> Université Aix-Marseille, UMR CNRS 7300 ESPACE, Aix-en-Provence, France ([sebastien.gadal@univ-amu.fr](mailto:sebastien.gadal@univ-amu.fr))

**Résumé** : recently, a lot of interest has been paid on the usage of hyperspectral imaging (HSI) as a technique to evaluate the quality of industrially processed food products. Ecologically grown food products usually have higher prices thus the consumers may expect more sophisticated solutions to guaranty the quality of products they purchase. The HSI is expected to reduce the time and costs spent in samples processing as it can provide a rapid, non-destructive and reagent-less analysis of investigated samples.

This study discusses the opportunities to predict the amount of nitrates (NO<sub>3</sub>) as well as pH, reduction potential (ORP), and electrical conductivity ( $\sigma$ ) of potatoes (*Solanum tuberosum*) and carrots (*Daucus carota* var. *sativa*) using HSI approach. Discrimination ability between the ecologically and conventionally grown carrots was also investigated applying HSI technique.

140 carrot samples, representing four carrot varieties ("Garduolės", "Skalsa", "Svalia", and "Šatrija") and 160 potato samples, representing four potato varieties ("Melody", "Laura", "Vineta", and "Valor"), grown in experimental plots of Aleksandras Stulginskis University, Lithuania, were analysed in the study. Carrot samples for all varieties represented ecologically and conventionally grown vegetables. Although four different varieties represented the potatoes, only two of them were available as ecologically grown ("Vineta" and "Valor"), while the other ones ("Melody" and "Laura") were available only as conventionally grown.

The hyperspectral reflectance data of the vegetables samples was recorded under laboratory conditions using Themis Vision Systems VNIR 400H portable scanning hyperspectral imaging camera, operating in the 400-1000 nm range with a sampling interval of 0.6 nm. Methods of principal component and linear discriminant analysis were used to classify the carrots samples into groups of conventionally and ecologically grown ones. The partial least squares regression was used to predict the NO<sub>3</sub>, pH, ORP,  $\sigma$  of potatoes' and carrots' samples. Chemical properties of vegetables were estimated using standardized chemical tests.

Spectral reflectance data was found to moderately discriminate (overall classification accuracy 70 %, kappa statistic 0.40) the conventionally and ecologically grown carrots samples when carrot variety was not taken into account. However, the classification of conventionally and ecologically grown carrots was very precise (overall classification accuracy 94.4 % to 100 %, kappa statistic 0.89 to 1.00) when carrot variety was taken into account.

Very strong prediction potential was found for NO<sub>3</sub> (determination coefficient between actual and predicted values, estimated using the cross-validation,  $R^2 = 0.92$ ), strong for ORP, ( $R^2 = 0.74$ ), moderate for pH ( $R^2 = 0.46$ ), and poor for  $\sigma$  ( $R^2 = 0.18$ ) in potato samples. Very strong prediction potential was found for  $\sigma$  ( $R^2 = 0.88$ ), strong for NO<sub>3</sub> ( $R^2 = 0.77$ ), moderate for ORP ( $R^2 = 0.36$ ), and poor for pH ( $R^2 = 0.27$ ) in carrot samples.

### **Potentiel de l'imagerie hyperspectrale de proxy-détection pour l'estimation et la cartographie de la teneur en azote dans les feuilles de betteraves sucrières (19)**

S. Jay<sup>1</sup>, X. Hadoux<sup>1</sup>, N. Gorretta<sup>1</sup> & G. Rabatel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR ITAP, Irstea - SupAgro, 361 rue J.F. Breton, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5, France ([sylvain.jay@irstea.fr](mailto:sylvain.jay@irstea.fr), [xavier.hadoux@gmail.com](mailto:xavier.hadoux@gmail.com), [nathalie.gorretta@irstea.fr](mailto:nathalie.gorretta@irstea.fr), [gilles.rabatel@irstea.fr](mailto:gilles.rabatel@irstea.fr))

**Résumé** : dans un contexte marqué par une tendance à aller vers une agriculture plus verte et plus compétitive, la création et la sélection de nouvelles variétés consommant moins d'eau, d'azote ou de pesticides sont devenues des préoccupations majeures au cours des dernières années. En particulier, l'amélioration du rendement de la betterave sucrière (*Beta vulgaris*) est aujourd'hui largement étudié afin de pouvoir concurrencer la canne à sucre. Des méthodes efficaces de phénotypage sont ainsi nécessaires afin de comprendre les relations existant entre génotypes et phénotypes. Etant donné que ces relations doivent être

caractérisées au cours du temps, des techniques non-destructives doivent être mises en oeuvre. En ce sens, l'imagerie hyperspectrale apparaît donc comme un moyen très intéressant d'avoir accès au contenu biochimique de la plante. Elle est ici utilisée afin d'estimer et de cartographier la teneur en azote dans les feuilles de plants de betterave.

Le jeu de données utilisé a été collecté à deux stades de développement de la plante. Pour chaque stade, quatre dosages d'azote, deux variétés et trois rangs de betteraves ont été considérés. Pour chacune de ces 48 combinaisons, la teneur en azote moyenne a été mesurée à partir d'environ cinq plants de betterave. Les valeurs mesurées étaient comprises entre 34 g et 50 g pour 1 kg de matière sèche. Dans le même temps, des images hyperspectrales de radiance de ces mêmes plants de betterave ont été acquises à un mètre au-dessus des rangs pour des longueurs d'onde variant entre 400 nm et 1000 nm (résolution spatiale de 0.2 mm, résolution spectrale FWHM de 4.5 nm). Une fois convertis en réflectance, les spectres ont été prétraités, notamment afin de neutraliser les différences d'éclaircissement liés à l'inclinaison variable des feuilles. Les spectres moyens évalués sur ces plants de betterave ont été alors associés aux teneurs en azote mesurées afin de construire un modèle de régression. Celui-ci a été obtenu par régression des moindres carrés partiels (PLS-R). Etant donné le faible nombre d'échantillons disponibles, les performances du modèle ont été évaluées par validation croisée. Le nombre de variables latentes ainsi que la gamme spectrale ont été choisis en observant l'évolution de l'erreur de validation croisée (RMSECV), du biais et du coefficient de détermination ( $R^2$ ).

Le meilleur modèle de régression a été obtenu avec trois variables latentes et une gamme spectrale comprise entre 410 nm et 800 nm. La teneur en azote est ainsi retrouvée indirectement via l'influence de la chlorophylle, dont l'absorption est forte dans cette partie du domaine spectral. Cette teneur a été prédite avec une RMSECV de 1.9 g/kg et un  $R^2$  de 0.85. Par ailleurs, l'application de ce modèle aux spectres individuels des images hyperspectrales permet d'obtenir une cartographie haute-résolution cohérente de la teneur en azote dans les feuilles. Ces résultats montrent ainsi l'intérêt d'utiliser l'imagerie hyperspectrale comme un outil d'évaluation non-destructif et non-invasif de la distribution de l'azote dans les feuilles.

### **Analyse en composantes principales (ACP) d'images hyperspectrales PIR de grains de blé : étude de la dureté et de la vitrosité (21)**

E. Lancelot<sup>1</sup>, V. Lullien-Pellerin<sup>2</sup> & B. Jaillais<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA, UR1268 Biopolymères Interactions Assemblages, rue de la Géraudière, 44316 Nantes Cedex 3, France ([benoit.jaillais@nantes.inra.fr](mailto:benoit.jaillais@nantes.inra.fr))

<sup>2</sup> INRA, UMR 1208 Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes (IATE), 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex 1, France ([valerie.lullien-pellerin@supagro.inra.fr](mailto:valerie.lullien-pellerin@supagro.inra.fr))

**Résumé** : le blé est l'une des céréales les plus cultivées au monde qui constitue la base de l'alimentation humaine et des calories ingérées en fournissant des hydrates de carbone et des protéines et des micronutriments. La qualité des grains, incluant leur aptitude au fractionnement pour produire des farines ou semoules, représente un enjeu fondamental pour la filière céréalière. Cette qualité est influencée à la fois par des facteurs génétiques et/ou environnementaux. En particulier, les propriétés mécaniques des grains qui régissent leur aptitude au fractionnement dépend de leurs caractéristiques de dureté et de vitrosité. La dureté est définie comme le degré de résistance à la déformation et est contrôlée par des facteurs génétiques qui régissent l'adhésion entre granules d'amidon et réseau protéique au sein du grain, tandis que la vitrosité, attribuée au degré de compacité de l'albumen, est une propriété optique du matériau influencé par les conditions de développement du grain.

Ces paramètres ont été étudiés en Spectroscopie Proche InfraRouge (SPIR) mais plus rarement en imagerie hyperspectrale PIR et encore jamais simultanément. Cette technique qui suscite un intérêt grandissant pour la recherche agronomique combine l'information spectrale à une forte résolution spatiale et, permet ainsi la détermination et la localisation des constituants chimiques dans l'échantillon sans préparation ni destruction.

Dans cette étude, un système d'imagerie hyperspectrale (HyperPro, BurgerMetrics), a été utilisé pour analyser la structure de grains de blé répartis en quatre lots de 15 grains issus de lignées de blés quasi-isogéniques qui ne diffèrent que par le caractère de dureté et de lieux de culture différents qui permettent l'obtention de vitrosité contrastées. Une image a été acquise pour chaque grain entier et en coupe transversale dans la gamme 950-2500 nm. Les hypercubes de taille 231 × 318 × 212 ainsi obtenus ont ensuite été traités par deux traitements chimiométriques spécifiquement développés sous Matlab: une ACP classique réalisée sur des pixels de chaque image échantillonnés aléatoirement d'une part, et une variante: une ACP concaténée appliquée à tous les pixels des images. Cette dernière conduit à l'obtention d'images en fausses couleurs, communes à toutes les images, pouvant être visuellement comparées.

Les résultats obtenus par l'ACP classique montrent une bonne séparation des quatre lots de grains en fonction de leur vitrosité et de leur dureté. Les images obtenues par ACP concaténée permettent de mettre en évidence les différents tissus du grain et d'estimer une variabilité au sein d'un lot.

D'autre part, l'étude montre des résultats cohérents entre les échantillons en coupe et les grains entiers. L'imagerie hyperspectrale PIR combinée à une ACP s'avère donc être un outil très prometteur pour l'exploration de données et la classification de grains de blé en fonction de leur dureté et de leur vitrosité.

### **Potentiel de la spectro-imagerie pour l'estimation quantitative de variables biophysiques des couverts végétaux dans le domaine MWIR (26)**

C. Bacour<sup>1</sup>, S. Jacquemoud<sup>2</sup>, R. Marion<sup>3</sup> & D.M. Tratt<sup>4</sup>

<sup>1</sup> NOVELTIS, 153 rue du Lac, 31670 Labège, France ([cedric.bacour@noveltis.fr](mailto:cedric.bacour@noveltis.fr))

<sup>2</sup> IGGP/Université Paris Diderot, Planétologie et Sciences Spatiales, 35-39 rue Hélène Brion, 75013 Paris, France ([jacquemoud@igpp.fr](mailto:jacquemoud@igpp.fr))

<sup>3</sup> CEA/DAM/DIF, 91297 Arpajon Cedex, France ([rodolphe.marion@cea.fr](mailto:rodolphe.marion@cea.fr))

<sup>4</sup> The Aerospace Corporation, Space Science Applications Laboratory, P.O. Box 92957, Los Angeles, CA 90009-2957, USA ([david.m.tratt@aero.org](mailto:david.m.tratt@aero.org))

**Résumé** : traditionnellement, l'estimation de variables biophysiques caractéristiques de l'état physiologique d'un couvert végétal (contenu en chlorophylle et en eau, indice de surface foliaire, etc.) repose sur l'exploitation de données de télédétection acquises dans le domaine solaire des longueurs d'onde allant du visible à l'infrarouge ondes courtes (VNIR-SWIR entre 0.4 et 2.5  $\mu\text{m}$ ). La réflectance du couvert végétal est en effet sensible aux variations de sa composition biochimique et de sa structure ; l'analyse des variations spectrales et directionnelles de la réflectance permet donc d'accéder aux variables caractéristiques du couvert. Dans l'infrarouge moyen (MWIR) au delà de 3.0  $\mu\text{m}$ , le déterminisme de la réflectance est moins établi dans la littérature scientifique en raison d'une faible disponibilité des mesures et d'un manque de modèles de transfert radiatif permettant de les interpréter. D'autre part, la contribution de la réflectance de surface au signal radiométrique mesuré est plus faible dans ce domaine en raison de la contribution croissante du rayonnement thermique.

L'extension récente du modèle de propriétés optiques des feuilles PROSPECT au MWIR (PROSPECT-VISIR) et son couplage avec le modèle de réflectance des couverts végétaux 4SAIL (PROSAIL-VISIR) offre l'opportunité de mieux comprendre le déterminisme de la réflectance de surface dans l'infrarouge moyen, et permet d'envisager l'exploitation quantitative de mesures de télédétection acquises dans la fenêtre atmosphérique 3-5  $\mu\text{m}$  pour l'estimation de l'état physiologique de la végétation, et en particulier son contenu en eau.

Nous présentons dans cette étude le travail réalisé sur l'estimation de variables biophysiques du couvert par inversion du modèle PROSAIL-VISIR sur des mesures hyperspectrales acquises dans le MWIR. Nous évaluons les performances théoriques (sur un jeu de données synthétique) et opérationnelles (sur des données aéroportées acquises par l'instrument SEBASS) d'une approche reposant sur la combinaison de modèles de transfert radiatif et d'une méthode de séparation émissivité/température de surface.

### **Propriétés spectrales d'un couvert de blé : relations entre l'architecture 3D et la réflectance du couvert (46, poster)**

P.-A. Jean<sup>1</sup>, M. Ecarnot<sup>1</sup>, N. Gorretta<sup>2</sup>, G. Rabatel<sup>2</sup> & P. Roumet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR AGAP INRA, 2 place Viala, 34090 Montpellier, France ([pierre-antoine.jean@supagro.inra.fr](mailto:pierre-antoine.jean@supagro.inra.fr), [martin.ecarnot@supagro.inra.fr](mailto:martin.ecarnot@supagro.inra.fr), [pierre.roumet@supagro.inra.fr](mailto:pierre.roumet@supagro.inra.fr))

<sup>2</sup> UMR ITAP, Irstea - SupAgro, 361 rue J.F. Breton, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5, France ([nathalie.gorretta@irstea.fr](mailto:nathalie.gorretta@irstea.fr), [gilles.rabatel@irstea.fr](mailto:gilles.rabatel@irstea.fr))

**Résumé** : la spectroscopie visible et proche infrarouge couplée à l'imagerie hyperspectrale permet le traitement du signal de réflectance à l'échelle d'un couvert végétal et le développement de relations de calibration destinées à déduire la composition chimique de ce couvert comme l'azote foliaire. Un modèle mathématique de détermination de l'azote a été mis en place à l'échelle du couvert en se basant sur l'imagerie hyperspectrale. Toutefois les interactions possibles entre données de réflectance du couvert et les propriétés architecturales (taille et angle d'insertion des feuilles) interrogent sur la robustesse du modèle obtenu. Pour préciser l'impact de ces variations architecturales sur les propriétés spectrales du couvert, nous avons modélisé différentes maquettes de couverts de blé (modèle architecturé ADEL) à différents stades phénologiques avec un modèle de radiativité imbriqué (calcul de la quantité d'énergie d'une feuille reçue par ses voisines) nommé Caribu. Ces deux modèles sont disponibles sur la plate forme Open Alea.

L'analyse en composantes principales a été utilisée pour représenter les données issues de Caribu. Les deux premiers axes de cette ACP (> 99 % de la variabilité expliquée) représentent respectivement l'exposition de la feuille et les réflexions multiples. Le modèle azote a été appliqué à ces données spectrales. Pour une maquette donnée, nous avons pu observer que les organes soumis à des expositions fortes et ne présentant pas de réflexions multiples avaient une teneur en azote foliaire conforme à l'attendu alors que les triangles situés dans la partie basse du couvert, très soumise à des réflexions multiples, avaient une teneur en azote foliaire sous-estimée (- 0.4 points). Ces résultats sont présentés dans différents contextes architecturaux ; leurs implications sont discutées dans le cadre du développement de la technologie hyperspectrale pour l'estimation de la teneur en azote foliaire de couverts de blé.

## **SESSION 8 : sols (7, 8, 11, 13, 27, 28)**

### ***Observation des sols dans le visible : colorimétrie et télédétection hyperspectrale, exemple de sols des régions arides (7)***

R. Escadafal<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CESBIO, 18 avenue E. Belin, 31401 Toulouse Cedex 9, France ([richard.escadafal@cesbio.cnes.fr](mailto:richard.escadafal@cesbio.cnes.fr))

**Résumé** : la couleur est un critère très utilisé depuis la naissance de la science des sols pour caractériser les sols observés sur le terrain, inférer certaines de leurs propriétés et déterminer leur type ou leur classification pédologique.

La détermination de la couleur est ainsi classiquement réalisée depuis les années 1950 en utilisant un atlas, grâce auquel un très grand nombre de publications sur les sols, en particulier les cartes, contiennent des données de couleur basées sur le système Munsell. Le développement récent d'appareils portables en particulier les spectrocolorimètres permet maintenant des déterminations bien plus précises de la couleur à partir de la mesure de spectres de réflectance continus.

Cette communication explore les relations entre couleur Munsell des sols et télédétection hyperspectrale, à partir d'une revue sommaire des concepts de colorimétrie applicables aux sols et des résultats d'une expérience d'intercomparaison des méthodes de mesures de la couleur sur une série d'échantillons de sols des régions arides.

La discussion permet de passer en revue l'intérêt des différents modes d'acquisition de l'information colorimétrique sur les sols (atlas, photographie numérique, colorimètre, spectroradiomètre, spectroimageur). L'estimation de leurs avantages et inconvénients respectifs est basée sur la prise en considération des problèmes inhérents aux conversions entre estimations visuelles et mesures spectrales, en particulier liés au phénomène du métamérisme. Leur utilisation potentielle est ensuite discutée: estimation des propriétés optiques des sols d'après les données de couleur disponibles dans les cartes, inférence du 'soil background' dans les indices de végétation, cartographie des sols à l'aide de leur couleur, détection de variations de couleur et leur signification éventuelle.

En conclusion, sachant que des instruments dédiés permettent maintenant d'obtenir également des spectres de réflectance de sols depuis les plateformes aéroportées et spatiales, les conséquences de ces résultats pour la télédétection hyperspectrale sont discutés, notamment dans le contexte du projet HYPXIM et de son apport potentiel à la caractérisation des sols.

### ***Analyse des incertitudes associées aux prédictions de la teneur en argile obtenues par imagerie hyperspectrale Vis-NIR aéroportée (0.4-2.5 µm) (8, poster)***

C. Gomez<sup>1</sup>, A. Drost<sup>1,2</sup> & J.-M. Roger<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UMR LISAH (INRA-IRD-SupAgro), Campus AGRO, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France ([cecile.gomez@ird.fr](mailto:cecile.gomez@ird.fr))

<sup>2</sup> Centre for Geo-Information, Wageningen University, 6708 PB Wageningen, The Netherlands  
([arthur.drost@supagro.inra.fr](mailto:arthur.drost@supagro.inra.fr))

<sup>3</sup> UMR ITAP, Irstea - SupAgro, 361 rue J.F. Breton, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5, France ([jean-michel.roger@irstea.fr](mailto:jean-michel.roger@irstea.fr))

**Résumé** : depuis quelques années, un nombre croissant d'études ont montré que l'imagerie spectroscopique Visible Proche-Infrarouge (0.4-2.5µm) aéroportée peut fournir une estimation géo-localisée de plusieurs propriétés de sol telles que l'Argile, la matière Organique, le Carbonate de Calcium ou encore le Fer. Ces estimations sont généralement réalisées par le biais de modèles de régression multi-variés, construit en Cross-validation sur des bases de données d'étalonnage, puis validées sur des bases de données indépendantes. La performance globale de ces modèles est étudiée à travers l'analyse d'indices tels que l'Erreur Standard de



Prédiction (SEP), le coefficient de détermination ( $R^2$ ), ou encore l'Erreur quadratique moyenne (RMSEP).

Au-delà de ces indices reflétant la performance globale des modèles, l'analyse de l'erreur et de l'incertitude affectant chaque nouvelle prédiction reste un enjeu. On peut définir l'erreur de prédiction comme « l'écart entre la valeur prédite et la valeur vraie ». Et on peut définir l'incertitude comme « la variance des prédictions ». Cette étude s'intéresse à l'estimation et l'interprétation de l'incertitude associée à chaque nouvelle prédiction.

Les données spectrales considérées dans cette étude sont des données aéroportées acquises par le capteur AISA-DUAL (280 bandes spectrales entre 0.4-2.5 $\mu$ m), sur le Bassin Versant du Lebna (300 km<sup>2</sup>, Tunisie), avec une résolution spatiale de 5 m. Un modèle de régression PLS (*Partial Least Square*) a été construit à partir d'une base de données de 96 individus afin de prédire le taux d'Argile et validé par une base de données indépendante de 32 individus. Trois expressions de l'incertitude associée aux prédictions d'Argile, développées initialement par Fernandez-Ahumada et al. (2012) pour des modèles de régression calés sur des données spectrales de Laboratoire, ont été testées sur nos données aéroportées : i) un 1er terme exprime l'incertitude liée au modèle de régression, ii) un 2ème terme exprime l'incertitude liée au spectre permettant la prédiction, et iii) un 3ème terme exprime la dépendance des deux premiers. De plus des expressions d'incertitude plus communément employées telles que le Leverage, la distance de Mahalanobis et la variance de prédiction par Bootstrap, ont également été testées. La dimension spatiale de nos données a été prise en compte dans l'étude de cette incertitude associée aux prédictions.

Une analyse de ces différentes expressions d'incertitude a permis de mieux comprendre l'origine des différentes sources d'incertitude et de mettre en évidence des zones à fort risque de mauvaises prédictions.

### ***Sensitivity of soil property prediction obtained from hyperspectral VIS-NIR imagery to atmospheric effects and degradation in image spatial resolutions (11)***

C. Gomez<sup>1</sup>, R. Oltra-Carrió<sup>2</sup>, S. Bacha<sup>3</sup>, P. Lagacherie<sup>1</sup> & X. Briottet<sup>4</sup>

<sup>1</sup> UMR LISAH (INRA-IRD-SupAgro), Campus AGRO, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France ([cecile.gomez@ird.fr](mailto:cecile.gomez@ird.fr), [lagacherie@supagro.inra.fr](mailto:lagacherie@supagro.inra.fr))

<sup>2</sup> CESBIO, 18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9, France ([rosa.oltra\\_carrio@onera.fr](mailto:rosa.oltra_carrio@onera.fr))

<sup>3</sup> Centre national de la cartographie et de la télédétection, BP 200, Route de Marsa, 1080 Tunis, Tunisie ([cnct@defense.tn](mailto:cnct@defense.tn))

<sup>4</sup> ONERA/DOTA, BP 4025, 2 avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse Cedex 4, France ([xavier.briottet@onera.fr](mailto:xavier.briottet@onera.fr))

**Résumé** : visible and near infrared (VIS-NIR, 350-2500 nm) hyperspectral satellite imaging is one of the most promising tools for soil property mapping because i) it is derived from a lab technique that has proven to be a good alternative to costly physical and chemical laboratory soil analysis for estimating a large range of soil properties; ii) it can benefit from the increasing number of methodologies developed for Vis-NIR hyperspectral airborne imaging; and iii) it provides a synoptic view of the area under study. Despite the great potential of Vis-NIR hyperspectral airborne data for soil property mapping, the transposition to satellite data must be evaluated. The objective of this study was to test the sensitivity of soil property prediction results to atmospheric effects and to degradation in image spatial resolutions. This may offer a first analysis of the potential of future hyperspectral satellite sensors (HYPXIM, PRIMSA, ENMAP and HypIRI) for Soil applications. This study employed Vis-NIR AISA-DUAL hyperspectral airborne data acquired in the Mediterranean region over a large area (300 km<sup>2</sup>) with an initial spatial resolution of 5 m. These airborne data were simulated at the top of atmosphere, aggregated at 7 spatial resolutions (5, 10, 15, 20, 30, 60 and 90m) and then atmospherically corrected, to fit with future hyperspectral satellite sensors. The predicted soil property maps were obtained using the partial least squares regression method, and the studied soil property was the clay content. The large area of the studied region allows us to analyze different pedological patterns in terms of soil composition and spatial structures. Our results showed that (i) the PLSR had robust performance for all cases; (ii) when a correct compensation of the atmosphere effects was done, no differences were detected between the clay maps retrieved from airborne imagery and the ones from spaceborne imagery; (iii) the spatial aggregation of the images meant a loss of the variance of the clay prediction from 15 m of spatial resolution and a loss of pedological information from 30 m of spatial resolution.

### ***Identification de procédés industriels à l'aide des caractéristiques spectrales (VNIR) de leurs rejets (13)***

M. Lothodé<sup>1</sup>, V. Carrère<sup>1</sup> & R. Marion<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Planétologie et de Géodynamique de Nantes, UMR 6112, Université de Nantes, 2 rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes Cedex 3, France ([maiwenn.lothode@etu.univ-nantes.fr](mailto:maiwenn.lothode@etu.univ-nantes.fr), [veronique.carrere@univ-nantes.fr](mailto:veronique.carrere@univ-nantes.fr))

**Résumé** : les procédés industriels rejettent d'importantes quantités de déchets qui ont un impact direct sur l'environnement ou la santé humaine. La caractérisation de ces déchets est importante pour l'estimation de la qualité des eaux et des sols ainsi que pour l'identification des procédés utilisés dans l'usine. Certaines combinaisons minéralogiques sont spécifiques à un procédé particulier. Le stockage à l'air libre est une pratique courante permettant l'utilisation de l'imagerie hyperspectrale pour la caractérisation des surfaces. Plusieurs études ont montré que la spectroscopie est un outil puissant pour détecter les minéraux polluants comme les minéraux issus de l'industrie minière ou les minéraux abestiformes. Cependant, peu a été fait concernant les caractéristiques spectrales des déchets industriels. L'objectif de cette étude est d'effectuer des mesures de réflectance spectrale (VNIR-SWIR), en laboratoire et in-situ, de rejets industriels afin d'identifier les minéraux dominants, les caractéristiques optiques et spectrales des sites étudiés. Ces résultats seront ensuite utilisés pour l'interprétation d'images hyperspectrales acquises au-dessus de sites test.

Dans ce travail, nous nous sommes consacrés à l'étude de deux sites en raison de leur ressemblance dans le visible-proche infrarouge. Le premier site étudié est l'usine Séché-Ecoservice de Thann (Haut-Rhin, France, 47°47'N-7°08'E). Cette usine neutralise l'acide sulfurique qui est un déchet de l'usine Cristal, située quelques kilomètres à l'est et produisant du dioxyde de titane. La neutralisation de cet effluent à l'aide de calcaire et de chaux produit du gypse rouge qui est stocké sur un teruil où nous avons prélevé 16 échantillons. Ces échantillons ont ensuite été mesurés en laboratoire à l'aide du spectromètre ASD Fieldspec®FR3. Ils peuvent être divisés en trois produits : gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), gypse rouge (Gypse, oxydes/hydroxydes de titane et de fer (ilménite  $\text{FeTiO}_3$ , rutile  $\text{TiO}_2$ , hématite  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et goethite  $\text{FeO}(\text{OH})$ )) et calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ).

Le deuxième site étudié est l'aire de stockage de Mangergarri situé près de la ville de Gardanne (Bouches-du-Rhône, France, 43°27'N-5°26'E). L'usine Altéo-Environnement, située au sud-est, est une raffinerie de bauxite produisant de l'alumine. Les résidus sont appelés boues rouges ou Bauxaline® (hématite, goethite, cancrinite  $\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}] \cdot [2\text{NaOH}, \text{Na}_2\text{SO}_4] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , boehmite  $\text{AlO}(\text{OH})$ , rutile et gibbsite  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). L'aire de stockage peut-être divisée en deux parties, au nord : stockage des résidus et au sud : stockage du minerai de bauxite (gibbsite  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , boehmite  $\text{AlO}(\text{OH})$ , hématite, goethite, quartz, kaolinite, etc.) et du produit de l'usine, l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Nous avons échantillonné les deux zones et acquis des spectres de terrain avec le spectromètre ASD Fieldspec®FR3. Cette étude nous a permis de conclure qu'il est possible de différencier les minéraux marqueurs de chacun de ces sites à l'aide de la spectroscopie visible infrarouge et donc que la télédétection hyperspectrale peut-être utilisée afin de caractériser ce type de rejets industriels.

### ***Cartographie des argiles gonflantes en milieux tempérés à partir de données hyperspectrales aéroportées couplées à des données in situ et laboratoire (27)***

A. Hohmann<sup>1</sup>, A. Bourguignon<sup>1</sup> & G. Grandjean<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2, France ([a.hohmann@brgm.fr](mailto:a.hohmann@brgm.fr), [a.bourguignon@brgm.fr](mailto:a.bourguignon@brgm.fr), [g.grandjean@brgm.fr](mailto:g.grandjean@brgm.fr))

**Résumé** : l'objectif du projet AGEOTHYP (2013-2014) est d'étudier une méthodologie d'exploitation des images hyperspectrales couplées à des connaissances locales en vue d'affiner la cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles. Pour cela, l'approche proposée demande l'exploitation des ensembles de données de différentes natures (bases de données géotechniques, mesures de spectroscopie infrarouge terrain et imagerie hyperspectrale) pour les intégrer dans une méthode opérationnelle de localisation et de quantification des zones riches en argiles de type gonflant en apportant une information homogène et continue aux différentes échelles intéressant les décideurs locaux.

Les images hyperspectrales ont été acquises par la société ACTIMAR. Les mesures ont été réalisées à l'aide de capteurs hyperspectraux imageurs visible et proche-infrarouge de type Hypspec VNIR 1600 et SWIR 320m-e. Les caractéristiques principales des données acquises par les capteurs sont les suivantes : résolution spatiale de 1 mètre (VNIR) et 2 mètres (SWIR), gamme spectrale de 400-2500 nm, les données converties en réflectance sont corrigées géométriquement et géoréférencées. Le vol a eu lieu en période hivernale pour laquelle un maximum de sols nus sont exposés.

Des données spectrales et géotechniques, acquises sur le terrain dans la zone d'étude ou en conditions de laboratoire, ont également été utilisées :

- 23 spectres de réflectance mesurés avec un spectroradiomètre ASD FieldSpec® portable aux mêmes dates que le vol aéroporté,
- 332 spectres mesurés en conditions laboratoire avec le spectromètre sur des échantillons de sols argileux prélevés dans la totalité de la zone d'étude,



- Une base de données géotechniques spatialisées comprenant des mesures issues d'essais en laboratoire permettant la caractérisation des sols argileux comme la valeur au bleu de méthylène (VBS) ou encore l'indice de plasticité (IP).

Des évaluations de teneur en montmorillonite ont été réalisées à partir des spectres laboratoire et calculées à l'aide d'un modèle physique déterminé par des paramètres spectraux tels que la profondeur et l'asymétrie des pics d'absorption, la valeur de réflectance pour des longueurs d'onde choisies... Ainsi, en se basant sur des mélanges synthétiques et connus en minéraux argileux, une estimation de la proportion d'argile de type montmorillonite (smectite) a pu être déterminée dans les échantillons de sols prélevés (Chabrilat et al., 2002 ; Dufréchoy, 2013).

Dans un premier temps des méthodes d'observation et de traitement d'image hyperspectrale classiquement utilisées dans la littérature (Chabrilat & Goetz, 1999 ; Bourguignon et al., 2007) ont été opérées sur les images hyperspectrales acquises pour identifier et cartographier la présence d'argiles dans les sols nus. Toutefois, le bruit trop important dans le SWIR, et les pics d'absorption significatifs des argiles aux environs de 2200 nm n'étant pas identifiables, les méthodes classiques se sont révélées insatisfaisantes. Une méthode moins conventionnelle permettant de classer ces images par rapport au contenu argileux des sols a été essayée. En se basant sur des études montrant une relation exponentielle décroissante entre la valeur de réflectance à 2200 nm et la teneur en eau volumique (Lobell & Asner, 2002), l'hypothèse selon laquelle la teneur en montmorillonite augmente avec l'humidité a été testée pour cette relation et le paramètre teneur en eau est remplacé par la teneur en montmorillonite estimée. Un modèle de classification des images hyperspectrales a ainsi été calibré et appliqué à l'image à partir des valeurs de réflectance de l'image mais également à partir des mesures acquises sur le terrain et en condition de laboratoire. Une décroissance exponentielle a été observée pour les trois types de mesures avec des valeurs de réflectance d'autant plus élevées que la teneur en montmorillonite est faible.

L'étape suivante du projet est de valider cette carte de valeurs de réflectance réalisée à partir du modèle d'estimation des teneurs en montmorillonite par des mesures de laboratoire complémentaires : analyses DRX, limites d'Atterberg, VBS...

### ***Estimation of surface soil moisture using hyperspectral data: from laboratory to field experiments (28)***

R. Oltra-Carrió<sup>1</sup>, F. Baup<sup>1</sup>, S. Fabre<sup>2</sup>, R. Fieuzal<sup>1</sup> & X. Briottet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CESBIO, 18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9, France ([rosa.oltra\\_carrio@onera.fr](mailto:rosa.oltra_carrio@onera.fr), [frederic.baup@iut-tlse3.fr](mailto:frederic.baup@iut-tlse3.fr), [remy.fieuzal@cesbio.cnes.fr](mailto:remy.fieuzal@cesbio.cnes.fr))

<sup>2</sup> ONERA/DOTA, BP 4025, 2 avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse Cedex 4, France ([sophie.fabre@onera.fr](mailto:sophie.fabre@onera.fr), [xavier.briottet@onera.fr](mailto:xavier.briottet@onera.fr))

**Résumé :** soil moisture content (SMC) is a key parameter in many environmental applications involved in soil-vegetation-atmosphere processes. The objective of this work is to study the constraints and performances of SMC retrieval methodologies in the VNIR and SWIR regions (from 0.4 to 2.5  $\mu\text{m}$ ) when passing from controlled laboratory conditions to field conditions. Five different approaches of signal processing were considered. Four "local" methods are spectral indexes (WISOIL, NSMI, NINSOL and NINSON) found in literature or developed at the ONERA. These indexes are normalized ratio of spectral reflectances acquired at two specific wavelengths characterizing moisture content in soil. The last method, defined as "global", consists in analysing the full spectral signature of the soil (convex hull area method).

The reference database was composed of 464 spectra measured in laboratory using an ASD from 57 soil texture samples at different SMC and known clay content. The samples were extracted over a study site located in the south west of France, during the MCM'10 experiment conducted by the CESBIO laboratory. The spectra database was divided in two parts: 50% for calibration, and 50% for validation of the SMC methods. The calibration part was used to define the empirical relation between SMC and SMC retrieval approaches, with correlation coefficients ( $R^2$ ) of calibration comprised between 0.72 for the NINSON case to 0.92 for the WISOIL case. These well-marked correlations were also obtained during the validation step with  $R^2$  between 0.76 for the NINSON case to 0.92 for the WISOIL case. The validation root mean square error (RMSE) obtained ranged from 4.8% for the WISOIL case to 8.3% for the NINSON case, both values referred to volumetric SMC. Results also showed a dependence of NINSOL and NINSON with the clay content of the samples: the SMC of samples with high values of clay content was underestimated, while the SMC of samples with low values of clay content was overestimated.

Once validated, the five methodologies were used to retrieve the SMC from spectral reflectances measured in-

situ during a field experiment performed in April, 2013 (campaign realized in the frame of the HUMPER - Mission HYPXIM project) in the same site were reference samples were collected. In-situ reflectance and SMC were measured respectively with an ASD and a calibrated TDR (Time Domain Reflectometer) dielectric probe. Finally, the retrieved SMC values were compared with the in-situ measured SMC values. Statistical values of the comparison showed a RMSE ( $R^2$ ) of 6.6%, 8.5%, 8.8%, 10.2% and 9.7% (0.90, 0.87, 0.91, 0.89 and 0.67) for respectively WISOIL, NSMI, NINSOL, NINSON and convex hull. To improve the results obtained for NINSOL and NINSON methods and to take into account their clay content dependence, the SMC relationships were recalibrated using only the reference spectra with clay content values between 35% and 60%. SMC comparison showed in those cases the best results with respectively a RMSE of 5.2% and 5.0%.

## Divers (25, 35)

### **Présentation du projet ADAM (ESA) pour la simulation réaliste des variations spectro-directionnelles des réflectances des surfaces terrestres à l'échelle globale (25, poster)**

C. Bacour<sup>1</sup>, J.-P. Muller<sup>2</sup>, F.-M. Bréon<sup>3</sup>, L. Gonzalez<sup>4</sup>, I. Price<sup>1</sup>, C. Schlundt<sup>5</sup>, P. Prunet<sup>1</sup>, L. Chaumat<sup>1</sup>, V. Yershov<sup>2</sup>, N. Shane<sup>2</sup>, M. Vountas<sup>5</sup>, P. Lewis<sup>6</sup>, J. Burrows<sup>5</sup>, W. von Hoyningen-Huene<sup>5</sup>, P.R. North<sup>7</sup>, A. Heckel<sup>7</sup>, L. Guanter<sup>8</sup>, J. Fischer<sup>8</sup> & A.-G. Straume-Lindner<sup>9</sup>

<sup>1</sup> NOVELTIS, 153 rue du Lac, 31670 Labège, France ([cedric.bacour@noveltis.fr](mailto:cedric.bacour@noveltis.fr), [pascal.prunet@noveltis.fr](mailto:pascal.prunet@noveltis.fr), [laure.chaumat@noveltis.fr](mailto:laure.chaumat@noveltis.fr))

<sup>2</sup> Mullard Space Science Laboratory, UCL Dept. of Space & Climate Physics, Holmbury St Mary, Surrey, RH5 6NT, UK ([jpm@mssl.ucl.ac.uk](mailto:jpm@mssl.ucl.ac.uk), [vny@mssl.ucl.ac.uk](mailto:vny@mssl.ucl.ac.uk))

<sup>3</sup> Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA/DSM/LSCE, 91191 Gif sur Yvette, France ([breon@lsce.ipsl.fr](mailto:breon@lsce.ipsl.fr))

<sup>4</sup> Laboratoire d'Optique Atmosphérique, UFR de Physique, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France ([louis.gonzalez@univ-lille1.fr](mailto:louis.gonzalez@univ-lille1.fr))

<sup>5</sup> Institute of Environmental Physics and Remote Sensing (IUP/IFE), University of Bremen, 28359 Bremen, Germany ([cornelia@iup.physik.uni-bremen.de](mailto:cornelia@iup.physik.uni-bremen.de), [marco.vountas@iup.physik.uni-bremen.de](mailto:marco.vountas@iup.physik.uni-bremen.de), [burrows@iup.physik.uni-bremen.de](mailto:burrows@iup.physik.uni-bremen.de), [hoyning@iup.physik.uni-bremen.de](mailto:hoyning@iup.physik.uni-bremen.de))

<sup>6</sup> Department of Geography, University College London, Gower St., London WC1E 6BT, UK ([plewis@geog.ucl.ac.uk](mailto:plewis@geog.ucl.ac.uk))

<sup>7</sup> Department of Earth Sciences, Institute for Space Sciences, Freie Universität Berlin, Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10, 12165 Berlin, Germany

<sup>8</sup> Department of Geography, Swansea University, SA2 0LS, UK

<sup>9</sup> ESA-ESTEC, TEC-EEP/EOP-SMA, NL-2200 AG Noordwijk, The Netherlands ([anne.straume@esa.int](mailto:anne.straume@esa.int))

**Résumé** : de nombreuses instruments spatiaux de l'ESA, actifs ou passifs, mesurent le rayonnement électromagnétique réfléchi par la surface terrestre dans le domaine solaire, depuis l'ultra-violet jusqu'au domaine infrarouge long (4  $\mu\text{m}$ ), afin d'estimer des variables et paramètres atmosphériques (gaz traces, nuages, aérosols, etc.). L'exploitation opérationnelle de ces missions d'observation de la Terre, comme la préparation des missions futures, requièrent une connaissance a priori des réflectances de surface. Dans cette optique, et pour répondre aux besoins de l'ESA, une climatologie mensuelle, ADAM (A Surface Reflectance Database for ESA's Earth Observation Missions), a été construite pour simuler des réflectances spectrales-directionnelles réalistes des surfaces terrestres, à la résolution spatiale de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ . Associé à la base ADAM, une "boîte à outils" a été spécifiquement développée pour calculer les variations spectro-directionnelles de la réflectance de surface sur le domaine 300-4000nm (avec une résolution spectrale de 1 nm) et dans n'importe quelle géométrie d'illumination/observation.

La base de données ADAM est constituée 1) pour les terres émergées (sol/végétation et neige) d'une climatologie des valeurs de réflectance normalisées des effets directionnels dans sept bandes spectrales, établies par la chaîne de traitement FondsDeSol à partir des produits MODIS MOD09 pour l'année 2005, et 2) pour les surfaces océaniques, de climatologies de couleur de l'océan (concentration en chlorophylle issue des produits SeaWiFs) et de vitesse de vent (QuickScat).

Pour les pixels de terre (à l'exception de la neige), l'interpolation/extrapolation spectrale des observations MODIS entre 300 et 4000 nm repose sur l'utilisation de fonctions orthogonales préalablement déterminées par une analyse en composantes principales d'une collection de spectres de réflectance obtenus auprès de différents instituts scientifiques. Le modèle semi-empirique de BRDF Ross-Li-Hotspot est ensuite utilisé pour calculer la réflectance dans n'importe quelle géométrie d'observation. Pour les surfaces de neige, une procédure spécifique est utilisée, qui repose essentiellement sur le modèle de Kokhanovsky pour simuler les variations spectrales et directionnelles de la réflectance. Il est en outre possible pour les terres émergées de calculer l'incertitude associée à la réflectance: ce calcul repose sur la matrice de variance-covariance des valeurs

de réflectance entre les sept bandes spectrales MODIS associée à chaque pixel de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ .

Pour les surfaces océaniques, le calcul de la réflectance totale résulte de la somme de trois composantes : i) la contribution de la colonne d'eau qui en gouverne majoritairement la variation spectrale, en fonction de la concentration en chlorophylle, ii) la composante spéculaire et iii) l'écume, qui en déterminent essentiellement la variation directionnelle, en fonction de la vitesse du vent.

Nous présenterons une validation de la base de données et des outils de calcul ADAM : à l'échelle globale, par rapport à une base de données similaire à ADAM mais basée sur le traitement des données MODIS MOD43 selon la chaîne GlobAlbedo, puis par rapport à des produits albédo MISR ; à l'échelle locale, par rapport à des produits MODIS indépendants. L'évaluation de l'impact de l'utilisation de la base de données ADAM et de la prise en compte des effets directionnels sur l'estimation du contenu atmosphérique en dioxyde d'azote sera aussi illustrée.

### ***Online oil presence detection and thickness measurements on steel coils by hyperspectral camera (35, poster)***

M. Ferte<sup>1,2</sup>, C. Carteret<sup>1</sup> & D. Glijer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Chimie Physique et Microbiologie pour l'Environnement, UMR 7564, Université de Lorraine, 405 rue de Vandoeuvre, 54601 Villers-lès-Nancy, France ([morgan.ferte@univ-lorraine.fr](mailto:morgan.ferte@univ-lorraine.fr), [cedric.carteret@univ-lorraine.fr](mailto:cedric.carteret@univ-lorraine.fr))

<sup>2</sup> Arcelor Mittal Maizières Research (AMMR), Voie Romaine, 57280 Maizières-lès-Metz, France ([david.glijer@arcelormittal.com](mailto:david.glijer@arcelormittal.com))

**Résumé** : in steel industry, measuring the thickness of the oil layer on steel strip is of major importance for product quality. Indeed, oil can be used at different steps of the process as coolant and lubricant in the rolling process or as corrosion protection substance in storage and transport. In another part of the process, such as lacquering, the oil film must be maintained beneath specific tolerances. For quality reasons, the deposited layer needs to be homogeneous and for cost reasons, the thickness needs to be as thin as possible.

Oil is an organic compound which has specific signatures in infrared. The most intense vibration modes are located around  $3.5\mu\text{m}$  (i.e.  $2800\text{cm}^{-1}$ ) which correspond to C-H vibrations. It is well known by spectroscopic experts that the absorption intensity due to the vibration mode is proportional to the thickness of the analyzed layer (Beer-Lambert).

To answer to this industrial need in terms of measurement, we can find on the market different sensors working in infrared spectral range and dedicated to oil thickness measurement. Some are dedicated to off-line measurements, and meanly with contact, so not easily implementable in industrial conditions. Others are dedicated to on-line measurements but unfortunately, most of these devices give a punctual measurement and need a travelling system. For quality reasons, oil thickness needs to be controlled on whole strip width (around two meters width).

Due to recent technological developments, it is possible to find measuring devices that could both measure online oil spectral signature and spatial information on steel product, for an affordable cost. By integrating filter wheels or spectrographs, it seems to be possible to measure, with a good sensitivity, the absorption of oil molecular vibrations. Thanks to a specific calibration, it could be possible to get access to oil layer thickness and oil lack detection over the entire width of strip.

The objective of this poster is to give an overview of different techniques answering of the need and to focus on a new potential technique for online detection of lack oil and oil thickness measurement.