



11^e colloque scientifique du Groupe Hyperspectral de la Société Française de Photogrammétrie et de Téledétection

Toulouse, 24-25 juin 2026



EDITO

Au cours des dernières décennies, la télédétection hyperspectrale a connu un essor considérable dans des domaines aussi variés que l'observation de la Terre, la planétologie ou l'industrie. Les avancées méthodologiques permettent d'accéder à de nombreux paramètres géophysiques, géochimiques ou biochimiques par l'étude des spectres de réflectance continus caractéristiques des surfaces et objets observés dans le domaine optique. En parallèle, les avancées technologiques ont permis le développement de capteurs allant du visible à l'infrarouge thermique ou miniaturisés permettant l'utilisation de drones. Plusieurs missions spatiales sont d'ores et déjà en orbite ou en préparation dans les agences spatiales, permettant de diversifier et d'étendre les applications, tout en lançant de nouveaux défis.

La communauté hyperspectrale française s'est structurée au sein du Groupe Hyperspectral de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection (<https://www.sfpt.fr/hyperspectral/>), dont les objectifs sont de fédérer cette communauté à l'échelle nationale, d'assurer sa visibilité sur le plan international et de faciliter les échanges scientifiques. Elle se réunit régulièrement depuis 2011 pour faire le point sur les avancées de l'ensemble de la filière : futurs projets spatiaux nationaux et internationaux, nouveautés en matière d'instruments et de capteurs, progrès des méthodes et des algorithmes pour l'exploitation des données, et validité des résultats.

Après Paris (2011, 2023), Toulouse (2012, 2019), Porquerolles (2014), Grenoble (2016), Brest (2017), Montpellier (2018), Rennes (2024) et Grasse (2025), nous sommes heureux d'accueillir la 11^e édition du colloque SFPT-GH les 24 et 25 juin 2026 à Toulouse. Nous remercions chaleureusement nos sponsors institutionnels (CEA, CNES, SFPT) et les exposants (Bonsai Advanced Technologies, Magellium, NV5 Geospatial Software, ORUS, Pro-Lite Technology, Quantum Design) pour leur soutien financier, ainsi que l'Ecole d'ingénieurs de Purpan qui nous accueille dans ses locaux et qui nous a permis d'organiser cet évènement dans des conditions optimales. Cette année, nous partageons une journée commune d'échanges et de présentations avec les [27e rencontres HélioSPIR](#) qui se dérouleront les 23 et 24 juin (réseau scientifique de spectroscopie proche infrarouge, <https://www.heliospir.net/>).

Le comité d'organisation

Sponsors institutionnels



<https://www.cea.fr/>



<https://cnes.fr/>



<https://www.sfpt.fr/>

Exposants et sponsors industriels



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



<https://www.magellium.com/>



<https://www.nv5geospatialsoftware.com/>



<https://www.orus.space>



<https://www.pro-lite.fr/>



<https://qd-europe.com/>

Comité d'organisation

Cécile Levasseur, école d'ingénieurs PURPAN

Karine Adeline, ONERA

Camille Desjardins, CNES

Jean-Baptiste Féret, INRAE

Stéphane Jacquemoud, IPGP-UPC

Rodolphe Marion, CEA

Accès au colloque

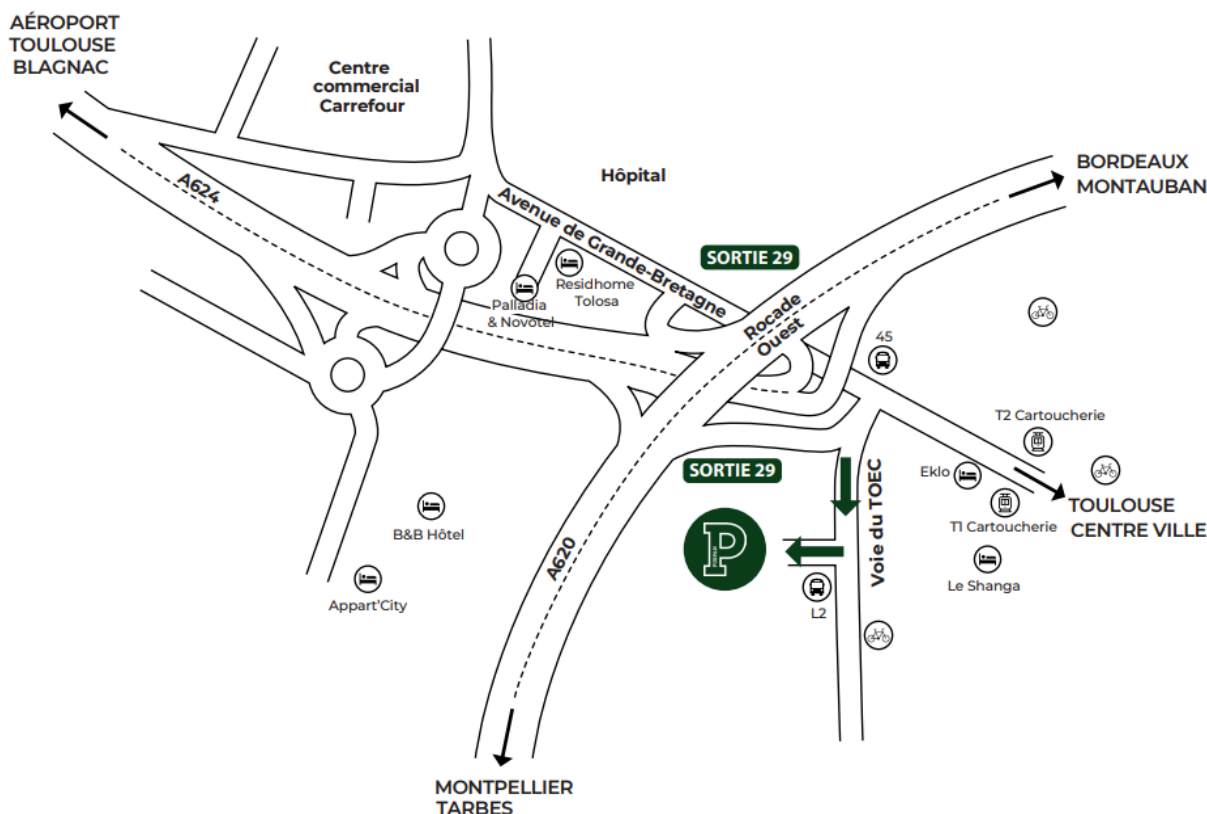
Ecole d'Ingénieurs de Purpan

75 voie du T.O.E.C.

31000 TOULOUSE

<https://www.purpan.fr/>

L'école est située à 25 min de l'aéroport de Toulouse-Blagnac, 30 min de la gare SNCF de Toulouse-Matabiau et 17 min du centre-ville en transport public. Des arrêts de tramway et de bus ainsi que des hôtels sont à une courte distance de marche. Il est possible de se garer sur place.



Programme

Mercredi 24 juin 2026

09h00-09h10 Ouverture du colloque

09h00 Discours de bienvenue

Frédéric Violleau, Directeur de la recherche de l'Ecole d'ingénieurs Purpan

Comité d'organisation

9h10-10h00 Session 1 : Institutionnels-exposants (1/2)

Animatrices : Karine Adeline (ONERA) et Camille Desjardins (CNES)

9h10 Présentation de la SFPT et du Groupe Hyperspectral

Michael Tonon (Airbus), Karine Adeline (ONERA) et Camille Desjardins (CNES)

9h20 Présentation de l'association HélioSPIR

Gilles Chaix et Jean-Michel Roger (CIRAD-Montpellier)

9h35 Présentation du PNTS

Karine Adeline (ONERA)

9h45 Présentation du CNES

Philippe Maisongrande (CNES) et Vincent Costes (CNES)

10h00-10h30 Pause-café

10h30-11h30 Session 1 : Institutionnels-exposants (2/2) (8 min/sponsors)

Animatrice : Karine Adeline (ONERA)

Bonsai Advanced Technologies

Magellium

NV5 Geospatial Solutions

ORUS

Pro-Lite

Quantum Design Europe / SPECIM

11h30-12h20 Session 2 : Présentation orale des posters non étudiants (3 min/poster)

Animatrice : Camille Desjardins (CNES)

1. Un imageur codé embarqué pour l'observation environnementale hyperspectrale (ICE-OEH)

Antoine Monmayrant (LAAS-CNRS)

2. Embedded hyperspectral–multispectral image fusion for Earth observation using Raspberry Pi

Salah Eddine Brezini (LARES, USTO-MB)

3. Spectral variability-aware hypersharpening via a parametric mixing model

Salah Eddine Brezini (LARES, USTO-MB)

4. Multiresolution fusion of hyperspectral and panchromatic images with dual-tree complex wavelets

Salah Eddine Brezini (LARES, USTO-MB)

5. Evaluation de l'apport de la revisite en imagerie spatiale hyperspectrale : application à la détection de changements

Florian Mouret (ONERA)

6. Rapid, non-destructive assessment of bioactive compounds for cosmetic applications using hyperspectral imaging

Souhaieb Aouayeb (Farm3)

7. Accuracy of centimetric-resolution UAV image simulations from hyperspectral/LiDAR datasets using the DART 3D radiative transfer model: application for orchard trees

Kassem Dia (ONERA)

8. Mediterranean forest traits retrieval from hybrid inversion: comparison between multi-spectral and multi-scale sensors and 1D versus 3D radiative transfer modelling

Karine Adeline (ONERA)

9. Mission FLEX : processus de validation des algorithmes et résultats avant lancement

Théo Paccoud (Magellium)

10. Cartographie des récifs coralliens par télédétection hyperspectrale depuis 2009 à La Réunion : de LITTO3D à TELCOAST

Pascal Mouquet (UMR Espace-Dev / IRD)

11. MIWARE (MIne WAste REcovery), un projet R&D collaboratif pour réduire les impacts environnementaux des mines

Audrey Bertrand et Sarah Laroui (AKKODIS Research)

12. Deciphering surface properties of the Jovian icy moons using radiative transfer modelling and NIR data

François Andrieu (GEOPS, Université Paris-Saclay)

12h20-12h30 Photo de groupe

12h30-14h00 Déjeuner

14h00-15h25 Session 3 : Spéciale étudiants, commune avec HélioSPIR (1/2)

Animateurs : Karine Adeline (ONERA - SFPT-GH) et Gilles Chaix (CIRAD - HélioSPIR)

Posters étudiants (3 min / poster)

- 13. Concentrations en macro éléments (P, K, Ca, Mg) et micro éléments (Mn, Fe, Cu, Zn, B) dans les feuilles et les baies de Vitis vinifera à l'aide de la SPIR**
HélioSPIR: Sébastien Lemetter Cuq (FUI VITI 2.0/PURPAN)
- 14. Impact marginal des distorsions en imagerie hyperspectrale codée**
SFPT-GH: Léo Paillet (IRAP / LAAS)
- 15. Transfert d'étalonnages du diagnostic foliaire du palmier à huile pour le déploiement d'un réseau de μ spectro NIR au champs**
HélioSPIR: Sophie Kamgaing-Simo (CIRAD-ABSYS/AGAP)
- 16. Développement de méthodes de machine learning pour le phénotypage haut-débit de l'huile de palme rouge en Afrique de l'Ouest**
HélioSPIR: Matéo Rosa (IRD-DIADE/INRAE-AGAP)
- 17. Télédétection hyperspectrale et multi-échelle de minéralisations polymétalliques (MPM) : constitution d'une base de données minéralogique et spectrale pour l'identification des minéralisations des bassins permien. Cas d'étude du bassin permien de Lodève**
SFPT-GH: Théo Rubio (ONERA / GEOPS / BRGM)
- 18. NIR spectroscopy for species discrimination and cardanol binder detection in biomass pellets**
HélioSPIR: Luiza Mendonça Bonfim Tavares (UFLA)
- 19. Pan-sharpening of hyperspectral imagery over coral reef environments: Evaluation using radiative transfer inversion and downstream task validation**
SFPT-GH: Antoine Lavrard-Meyer (GIPSA-LAB / CNES / Magellium)
- 20. NIR spectroscopy for species discrimination and cardanol binder detection in biomass pellets**
HélioSPIR: Nathália Cardoso Pereira (USP-ESALQ/CIRAD-AGAP)

Oraux étudiants (10 min / oral)

- 21. Distinction de maladies de conservation par Nirs sur pommes**
HélioSPIR: Amandine Arnal (ABSOGGER/PURPAN)
- 22. Au-delà de l'optimisation : une méthode multi-solutions pour le démélange spectral parcimonieux**
SFPT-GH: Nils Foix-Colonier (Nantes Université, École Centrale Nantes, CNRS)
- 23. Amélioration de l'identification des arbres sur pied en Amazonie française par spectroscopie proche infrarouge**
HélioSPIR: Max Hildebrandt (CIRAD-ECOFOG)
- 24. De la réflectance à la luminance : comment la grandeur physique impacte la performance du pansharpening et les critères de qualité**
SFPT-GH: Sacha Neiger (ONERA)

15h25-15h55 Pause-café

15h55-17h30 Session 3 : Spéciale étudiants, commune avec HélioSPIR (2/2)

Animatrices : **Vincent Baeten** (CRA-W - HélioSPIR) et **Camille Desjardins** (CNES - SFPT-GH)

Oraux étudiants (10 min / oral)

25. Comment réduire la dépendance des réseaux de neurones aux valeurs de référence ? Les auto-encodeurs masqués, un cas appliqué d'apprentissage auto-supervisé

HélioSPIR: **Ivy Tumoine** (Pellenc ST/INRAE-ITAP)

26. Détection et identification de la pollution par les plastiques sur les surfaces continentales

SFPT-GH: **Florian Cavernes** (ONERA / CEFREM)

27. Développement d'un réseau de μ spectromètres NIR pour la discrimination d'espèces forestières malgaches

HélioSPIR: **Tiavina Randriaminintsoa** (ESSA-FORETS/CIRAD-AGAP)

28. Leaf chlorophyll estimation of orchard trees from UAV hyperspectral imagery, radiometric correction and lab-to-UAV transfer

SFPT-GH: **Nathan Sikora** (ONERA)

29. Développement de modèles prédictifs basés sur l'intelligence artificielle couplée à l'analyse des données spectrales

HélioSPIR: **Mohamed-Amine Antar** (Univ. Mohamed 1er)

30. Correction atmosphérique d'images EnMAP L1C acquises sur le rift d'Asal-Ghoubbet (République de Djibouti) : comparaison de plusieurs méthodes

SFPT-GH: **Robin Langouet** (IPGP / IPAG)

31. Fusion hyperspectrale-multispectrale pour le JWST : super-résolution, déconvolution et débruitage par apprentissage profond

SFPT-GH: **Pierre-Laurent Cristille** (ACRI-ST / INCLASS / IAS)

32. L'assimilation des luminances spectrales IASI et IASI-NG pour les poussières minérales

SFPT-GH: **Etienne Gruet** (CNRM)

17h30-19h00 Discussions autour des posters et des stands des exposants

19h00-22h00 Cocktail dînatoire à Eklo

Jeudi 25 juin 2026

09h00-10h30 Tutoriels par les sponsors industriels (2 sessions de 30 min)

Le SciAps ReveNIR, un spectromètre portable pour l'exploration minérale, avec applications en géologie, sols et agriculture

Bonsai Advanced Technologies - Eric Becourt

Imagerie hyperspectrale en milieu aquatique par les missions EnMAP et PRISMA : correction atmosphérique avec l'outil hGRS et classification des types optiques d'eau

Équipe Qualité de l'eau de Magellium - Tristan Harmel, Zoé Besnard et Antoine Lavrard-Meyer

ENVI et l'hyperspectral : un duo pour comprendre l'invisible puis L'hyperspectral augmenté par l'IA

NV5 Geospatial Solutions - Imanol Echave

Acquisition de spectres VIS-SWIR sur le terrain et visualisation de la zone de mesure en direct – Nouvelle sonde SensaProbe de Spectral Evolution

Pro-Lite - Nicolas Marlet et Nicolas Venjean

Collecte d'images hyperspectrales par drone et analyse

Quantum Design Europe/SPECIM - Séverine Dubroecq

10h30-11h00 pause café

11h00 - 12h20 Session 4 : Modélisation du transfert radiatif et corrections atmosphériques

Animateur : **Mathieu Compiègne** (HYGEOS)

TARTATIN : un modèle analytique de transfert radiatif pour milieux turbides à deux couches avec interfaces

François Andrieu (GEOPS, Université Paris-Saclay)

Activités de corrections atmosphériques pour capteurs hyperspectraux au CNES

Sophie Coustance (CNES)

Hyperspectral Glint-Removal-System (hGRS) algorithm for aquatic environment monitoring

Tristan Harmel (Magellium)

Radiative transfer model inversion and machine learning: two approaches for mapping seagrass distribution

Touria Bajjouk (IFREMER)

12h20-14h00 Déjeuner (buffet)

14h00-14h40 Session 5 : Méthodes avancées et applications en imagerie hyperspectrale

Animatrice : **Sophie Fabre** (ONERA)

Modélisation de panaches de méthane à haute résolution à partir d'images satellites

Jeanne Tison et **Rakesh Yuvaraj** (Université de Reims Champagne-Ardenne)

Realistic hyperspectral scene generation from Sentinel-2 using spectral libraries and PCA for end-to-end space mission simulations

Camille Salazar (Magellium)

14h40-15h40 Session 6 : Simulation, validation et missions hyperspectrales

Animateur : **Damien Rodat** (CNES)

Présentation invitée : HiBiDiS: Development of a Biodiversity SCOUT Mission

Maria J Santos (University of Zurich)

Mission FLEX : contenu des produits & status des activités L2 en vue du lancement

Théo Paccoud (Magellium)

The OPT-MPC cal/val assessment of the emerging hyperspectral Copernicus contributing missions

Fanny Larue (ACRI-ST)

15h40-16h00 Clôture du colloque

Synthèse et annonce des lauréats des prix étudiants

Comité d'organisation

Recueil des résumés

Un Imageur Codé Embarqué pour l'Observation Environnementale Hyperspectrale (ICE-OEH)

Antoine MONMAYRANT¹, Julien ROUL¹, Harold MURCIA¹, Jérôme MANHÈS¹,
Léo PAILLET², Hervé CARFANTAN³

¹ LAAS-CNRS

² LAAS-CNRS et IRAP-UT/CNRS/CNES

³ IRAP-UT/CNRS/CNES

Mots-clés : instrument, co-conception, imageur hyperspectral, masque codé, algorithme de reconstruction

L'acquisition d'images hyperspectrales est classiquement effectuée par balayage spatial, et génère un grand volume de données.

De plus, ces instruments classiques doivent régler un compromis entre résolution spectrale, résolution spatiale et temps d'intégration (ou rapport signal sur bruit).

Une nouvelle génération d'imageurs hyperspectraux à masques codés (de type CASSI - Coded Aperture Snapshot Spectral Imaging) ont été proposés, permettant de relâcher les contraintes d'un tel compromis tout en réduisant le volume des données. Le prix à payer est la nécessité de développer des algorithmes pour exploiter les acquisitions afin d'analyser la scène observée.

Nous présentons des outils développés dans notre équipe pour la co-conception de tels instruments hyperspectraux à masques codés et des algorithmes associés. Nous présentons également le prototype en cours de développement qui a pour objectif :

- de sortir du laboratoire un tel DD-CASSI (CASSI à double disperser) pour effectuer des acquisitions de données dans un environnement réel ;
- d'acquérir simultanément des données hyperspectrales codées avec ce dispositif et des données avec un dispositif classique à balayage (dans le visible et le proche infrarouge) ;
- de confronter les méthodes et outils développés pour de de tels dispositif avec des données obtenues par un imageur classique à balayage ;
- de mettre les données obtenues à la disposition de la communauté et d'envisager des cas d'applications pratiques.

Embedded Hyperspectral–Multispectral Image Fusion for Earth Observation Using Raspberry Pi

Salah Eddine BREZINI¹, Mohammed KADIRI², Fethi Abdelatif DALI³, Wassim LOUCHENE³,
Abdelkrim MECHE⁴, Mohammed DAHMANI⁴

¹ LARESI, USTO-MB

² LSI, USTO-MB

³ USTO-MB

⁴ LSI,USTO-MB

Mots-clés : remote sensing, hyperspectral/multispectral images, image fusion, raspberry pi

Remote sensing sensors provide essential information for understanding physical phenomena occurring on the Earth's surface. In particular, hyperspectral imagery, characterized by its high spectral resolution, provides detailed spectral signatures that enable accurate characterization and discrimination of materials in an observed scene. These properties make hyperspectral data suitable for many Earth observation applications such as environmental monitoring, land-cover mapping, and natural hazard assessment.

However, hyperspectral sensors suffer from inherent physical limitations. The high spectral resolution is generally achieved at the expense of spatial resolution, resulting in images with relatively coarse spatial details. Moreover, the large number of spectral bands generates a significant data volume, increasing storage requirements and computational complexity. These constraints limit the use of hyperspectral imagery in applications requiring efficient or real-time processing.

To address these issues, this work investigates the implementation of a lightweight hyperspectral–multispectral fusion method on a low-cost embedded platform based on Raspberry Pi 3. The objective is to evaluate the feasibility of processing hyperspectral data on resource-constrained hardware for future embedded and real-time Earth observation applications.

Spectral Variability-Aware Hypersharpener via a Parametric Mixing Model

Salah Eddine BREZINI¹, Wassim LOUCHENE²

¹ LARES,USTO-MB

² USTO-MB

Mots-clés : hyperspectral/multispectral images, spectral unmixing, spectral variability, hypersharpening, blind source separation.

Spectral variability significantly affects hyperspectral images, as the spectral signatures of pure materials can change due to illumination, topography, atmospheric effects, or intrinsic material properties. Ignoring this phenomenon can introduce errors in analysis and interpretation, especially for applications requiring accurate material identification. Hyperspectral images also suffer from low spatial resolution, limiting their use in tasks requiring detailed spatial information.

To address these challenges, this work proposes a hypersharpening technique that explicitly accounts for spectral variability during fusion. The approach relies on a parametric linear mixing model, where spectral variability is represented as an additive fluctuation around reference spectra, enabling a more realistic representation of spectral signatures. The model is integrated within an optimization framework based on nonnegative matrix factorization, jointly exploiting the spectral richness of hyperspectral images and the higher spatial resolution of multispectral data.

Experiments on two synthetic datasets demonstrate the method's ability to produce fused images with enhanced spatial resolution while preserving high spectral fidelity, highlighting its potential for accurate hyperspectral image analysis

Multiresolution Fusion of Hyperspectral and Panchromatic Images with Dual-Tree Complex Wavelets

Mohammed KADIRI¹, Salaheddine BREZINI¹, Abdelkrim MECHE¹, Mohammed DAHMANI¹

¹ LSI, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran - Mohamed Boudiaf

Mots-clés : remote sensing, multiresolution analysis, hyperspectral pansharpening, wavelet-based fusion rules

Hyperspectral imaging is widely used in remote sensing because it records detailed spectral information across hundreds of contiguous wavelength bands, enabling accurate material identification and applications. However, hyperspectral sensors have limited spatial resolution, which often produces coarse spatial structures and mixed pixels.

Hyperspectral pansharpening aims to combine the spectral richness of hyperspectral images with the spatial detail of panchromatic images, but this process is difficult because differences in spectral coverage can introduce distortions.

The discrete wavelet transform is used to address this problem but suffers from limited directional selectivity, lack of shift invariance and possible artifacts. To overcome these issues, the dual-tree complex wavelet transform (DT-CWT) provides better directional representation and approximate shift invariance.

In the proposed method, hyperspectral bands and the panchromatic image are decomposed using the DT-CWT. Low-frequency components preserve spectral information while high-frequency coefficients inject spatial details from the panchromatic image. Experiments on several datasets show improved spatial detail while maintaining good spectral fidelity, demonstrating the effectiveness of the proposed fusion approach.

Evaluation de l'apport de la revisite en imagerie spatiale hyperspectrale : application de la détection de changements

Florian MOURET¹, Sophie FABRE¹, Philippe DELIOT¹, Clémence PICARD²,
Frédéric CLAUDEL², Anne CHANIE²

¹ ONERA

² Airbus Defense and Space

Mots-clés : hyperspectral (HS), détection de changement, répétitivité temporelle, spécification mission spatiale

La détection de changements à partir d'images hyperspectrales (HS) constitue un enjeu majeur pour la surveillance dynamique de la surface terrestre, mais les capteurs HS actuels (ex. EnMAP) sont limités par leurs résolutions spatiales ($\geq 30\text{m}$) et leurs fréquences de revisite. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'apport de la revisite temporelle élevée sur la capacité à détecter des changements rapides dans des environnements complexes et à différentes résolutions spatiales. Nous avons réalisé une campagne de mesures au sol avec différentes répétitivité temporelle : très haute (~minute); haute (~heure); classique (jour). La campagne a couvert divers scénarios plus ou moins complexes (de semi-rural à urbain). Les moyens utilisés étaient une caméra HS AISAFENIX 1K (380–2500 nm) et un appareil photo numérique très haute résolution, placés sur un point haut et orientés vers des cibles situées à différentes distances pour avoir des résolutions spatiales variées (30 cm – 2 m GSD). Les images ont fait l'objet d'un prétraitement (corégistration, réduction de dimension) suivi d'analyses de changements basées sur des méthodes de l'état de l'art. Les premiers résultats confirment l'intérêt d'une revisite temporelle élevée et montrent que : (i) les acquisitions très rapprochées permettent une détection fiable (ii) la qualité de la détection diminue progressivement avec l'allongement de l'intervalle de revisite et (iii) les scénarios urbains nécessitent une corégistration de qualité.

Rapid, Non-Destructive Assessment of Bioactive Compounds for Cosmetic Applications Using Hyperspectral Imaging

Clara GAMBARDELLO¹, Souhaieb AOUAYEB¹, Henri NICOD¹, Romain SCHMITT¹

¹ Farm3

Mots-clés : hyperspectral imaging, bioactive compounds, cube, predictive modeling

The discovery of plant-derived bioactive compounds for cosmetic applications often relies on destructive techniques, limiting rapid screening. Hyperspectral imaging in the visible–near infrared (VNIR, 400–1000 nm) provides a non-destructive alternative, although establishing robust correlations between spectral signatures and bioactive compound concentrations remains challenging, as their influence on optical properties is generally indirect and context-dependent.

In this study, aromatic plants were grown in the Cube, a Total Controlled Environment Agriculture (TCEA) chamber equipped with an integrated VNIR hyperspectral camera, allowing precise control of environmental conditions. Different growth regimes were applied to boost compound accumulation.

Reference concentrations were measured by high-performance liquid chromatography (HPLC) and used to train predictive models from spectral features and vegetation indices. These preliminary results suggest that VNIR data can reliably predict the levels of the target bioactive compound ($R^2 \approx 0.87$, RMSE ≈ 0.09), and that optimized conditions increased these compounds, demonstrating hyperspectral imaging as a rapid, real-time monitoring tool for tracking and enhancing bioactive compound production.

Accuracy of centimetric-resolution UAV image simulations from hyperspectral/LiDAR datasets using the DART 3D radiative transfer model: application for orchard trees

Kassem DIA¹, Nathan SIKORA¹, Yingjie WANG², Nicolas LAURET²,
Jean-Philippe GASTELLU-ETCHEGORRY², Sophie FABRE¹, Karine ADELINÉ¹

¹ DOTA, ONERA, Université de Toulouse, Toulouse, 31000, France

² CESBIO, Université de Toulouse, CNES/CNRS/INRAE/IRD/UT3, 18, Avenue Edouard Belin, Toulouse, 31401, France

Mots-clés : UAV hyperspectral, lidar, 3D modelling, radiative transfer, orchards

UAV imaging spectroscopy is increasingly used for precise monitoring in orchards, such as the estimation of vegetation biochemical traits for the optimization of agricultural inputs and the selection of resilient cultivars. The development of canopy-scale hybrid-based vegetation traits estimation relying on radiative transfer and deep learning models is still emerging for very high spatial resolution imagery. At centimetric resolution, accounting for directional effects is required, as they could have a large impact (optical property anisotropy, tree crown morphology), influencing the choice of scene modelling, which is a prerequisite for 3D canopy radiative transfer model parameterization. This study assesses the accuracy of UAV image simulations using the DART model combined with radiometric and geometric directional factors. The first step consists of the 3D reconstruction of orchard trees from terrestrial LiDAR acquisitions, accounting for photosynthetic and non-photosynthetic vegetation, and tree geometries variability. The second step consists of simulating UAV hyperspectral images and comparing them with measurements performed at different times of the day in September 2024 over orchards at 1.3/2.7cm spatial resolutions (VNIR/SWIR). The results provide insights into the benefit of coupling hyperspectral/LiDAR data and physical interpretation of radiometric intra-crown variability captured at centimetric resolution (ANR CANOP, ANR-22-CE04-0002).

Mediterranean forest traits retrieval from hybrid inversion: comparison between multi- spectral and multi-scale sensors and 1D versus 3D radiative transfer modelling

Karine ADELIN¹, Jean-Baptiste FÉRET², Florian DE BOISSIEU², Samuel ALLEAUME², Jean-Philippe GASTELLU-ETCHEGORRY³, Yingjie WANG³, Grégoire VINCENT⁴, Jean-Marc LIMOUSIN⁵

¹ DOTA, ONERA, Université de Toulouse, Toulouse, 31000, France

² TETIS, INRAE, AgroParisTech, CIRAD, CNRS, Université Montpellier, Montpellier, France

³ CESBIO, Université de Toulouse, CNES/CNRS/INRAE/IRD/UT3, 18, Avenue Edouard Belin, Toulouse, 31401, France

⁴ AMAP – Botanique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des Végétations, CNRS, CIRAD, INRAE, IRD, Montpellier University, CIRAD, Montpellier, France

⁵ CEFE – Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CNRS, EPHE, IRD, Montpellier University, 34090 Montpellier, France

Mots-clés : airborne/satellite hyperspectral, sentinel-2, radiative transfer, inversion, mediterranean forest

For the estimation of Mediterranean forest traits that are useful to determine fire risk prevention, the structure and functioning condition, hybrid inversion methods rely on the combination of radiative transfer model (RTM) simulations and machine learning regressions. However, the influence of the spatial resolution and spectral richness of the sensor (number of spectral bands, sampling, resolution), the choice of the RTM (1D or 3D) and its input parameterization (related to the observed landscape) still remain key challenges. Thus, this study aims at comparing the performance of vegetation trait estimations from (1) a homogeneous and simple representation with PROSAIL and (2) a simplified forest representation using geometric objects with DART by using PLSR and SVR with a multi-sensor dataset. Two oak Mediterranean forests are studied with traits such as plant area index, leaf pigments, water and dry matter content. The data comes from the MEDOAK/Hypersense campaigns in June 2021, with the collection of field/lab measurements (spectroscopy, trait measurements and inversions with PROSPECT) in parallel of airborne hyperspectral acquisitions at 1m and 3m spatial resolutions led by NASA, ESA and University of Zurich. These datasets were complemented with Sentinel-2, PRISMA and DESIS acquisitions. These results will contribute to assess the complementarity of remote sensing data (multi- vs hyperspectral, airborne vs satellite) to map and monitor vegetation traits.

Mission FLEX: processus de validation des algorithmes et résultats avant lancement

Théo PACCOUD¹, Jorge Vicent SERVERA¹, Pekka KOLMONEN², Neus SABATER², Sergio COGLIATI³, Pietro CHIERICHETTI³, Christiaan VAN DER TOL⁴, Antonio Ruiz VERDU⁵, Claudia ISOLA⁶, Marin TUDOROIU⁷, Marco CELESTI⁶, Gwennaël MATOT¹, Brice MORA¹

¹ Magellium

² FMI

³ UNIMIB

⁴ UTC/IT

⁵ UVEG

⁶ ESA/ESTEC

⁷ ESA/ESRIN

Mots-clés : télédétection, mission spatiales, fluorescence, végétation, hyperspectral

La mission FLEX (FLuorescence EXplorer) est une mission de l'ESA dont le but principal est l'étude de l'activité photosynthétique de la végétation à l'échelle globale, par la mesure de la Solar Induced Fluorescence (SIF), ainsi que des paramètres biophysiques indispensables à son interprétation. La chaîne de traitement L2 est divisée en 3 modules ou étapes: la caractérisation et la correction atmosphérique (L2A), la mesure de la fluorescence (L2B), et l'obtention de paramètres liés à l'activité photosynthétique (L2C).

Cette chaîne de traitement a été intégrée au sein d'un simulateur End-2-End intégrant la simulation du transfert radiatif et de la géométrie ainsi que les traitements L1 & L2, permettant à la fois de mesurer rigoureusement la précision des algorithmes, mais aussi d'étudier l'influence des nombreuses sources d'erreur (caractérisation atm., bruits instrumentaux, défauts de calibration). A quelques mois du lancement, les résultats de validation permettent d'avoir une bonne idée de la qualité des produits qui seront proposés et des challenges rencontrés.

Cette présentation a pour objet la validation scientifique des produits de niveau 2 FLEX au sein de l'E2E, depuis le fonctionnement des algorithmes et aperçu des jeux de données utilisés, aux derniers résultats de validation et leçons à en tirer. Elle est complémentaire avec une autre présentation soumise, dont le but est une présentation plus globale des produits L2 ainsi que des activités qui y sont associées.

Cartographie des récifs coralliens par télédétection hyperspectrale depuis 2009 à La Réunion : de LITTO3D à TELCOAST

Pascal MOUQUET¹, Touria BAJJOUK², Lionel BIGOT³,
Rodolphe DEVILLERS¹, Gwenaëlle PENNOBER⁴

¹ UMR ESPACE-DEV / IRD

² UR DYNECO-LEBCO / Ifremer

³ UMR ENTROPIE / Université de La Réunion

⁴ UMR ESPACE-DEV / Université de La Réunion

Mots-clés : cartographie, récifs coralliens, état de santé, couverture corallienne

Des images aériennes hyperspectrales à haute résolution spatiale et spectrale ont été acquises sur les zones récifales de La Réunion lors des 2 campagnes Litto3D / Spectrhabent-OI (2009-2010) et Hyscores (2015). Elles ont permis de développer des méthodes performantes et originales pour cartographier les principaux constituants des fonds marins et estimer leur état de santé, produire des informations bathymétriques fines dans les petits fonds, et générer des images corrigées des effets de la colonne d'eau révélant les détails des fonds marins jusqu'à plus de 30m de profondeur. Des analyses diachroniques ont mis en évidence des changements importants, avec notamment une tendance au développement algal au détriment des coraux. Des actions plus récentes, menées lors des projets Renovrisk-Transferts et SCO BioEOS ont montré la complémentarité de ces approches hyperspectrales avec l'imagerie multispectrale Pléiades à haute fréquence temporelle (10 ans de données Kalideos Réunion entre 2013 et 2023), pour suivre l'évolution spatiale de la couverture corallienne sur les plateformes récifales. Le volet hyperspectral du projet INTERREG TELCOAST (2026-2029) va permettre une actualisation des jeux de données de référence historiques et de suivre les tendances précédemment identifiées, plus de 10 ans après la dernière campagne aérienne.

MIWARE (MIne WAste REcovery), un projet R&D collaboratif pour réduire les impacts environnementaux des mines

Audrey BERTRAND¹, Sarah LAROUJ¹, Martial CLAVIER¹

¹ AKKODIS Research

Mots-clés : déchets miniers, gestion durable, biodiversité, multi-échelle, traitement d'images hyperspectrales

Dans le cadre de la relance de l'activité minière en France pour sécuriser l'approvisionnement en matières premières critiques, le projet MIWARE-HYP vise à réduire l'impact environnemental des exploitations et à optimiser la gestion des déchets grâce à l'imagerie hyperspectrale sur l'ensemble du cycle de vie des sites. Le projet développe notamment des indicateurs de biodiversité pour caractériser l'état initial des milieux, suivre leur évolution durant l'exploitation et orienter la réhabilitation après-mine. Les principaux verrous concernent: la discrimination fiable du minerai, des stériles et altérations dans des matrices complexes; la transférabilité des méthodes à des contextes miniers français encore peu étudiés; la robustesse des chaînes de traitement face à la variabilité des capteurs, des conditions d'acquisition et de la couverture végétale.

L'approche adoptée est multi-échelle, combinant des données hyperspectrales acquises en laboratoire, par drone et satellite couplées à des données géologiques, géochimiques et environnementales géoréférencées. Une bibliothèque spectrale est en cours de constitution à partir des bases USGS et RELAB. Les premiers résultats incluent la mise en place d'un SIG et la validation d'un pipeline de traitement démontrant la faisabilité de l'identification de minéraux et d'indicateurs environnementaux. Ces travaux posent les bases de l'intégration de l'imagerie hyperspectrale dans des stratégies de gestion et réhabilitation minière durables

Deciphering surface properties of the Jovian icy moons using radiative transfer modelling and NIR data

Guillaume CRUZ-MERMY¹, Frédéric SCHMIDT², François ANDRIEU²,
Thomas CORNET¹, Inès BELGACEM¹

¹ European Space Agency

² Université Paris-Saclay

Mots-clés : transfert radiatif, lunes de glace, surface, proche-infrarouge

The Galilean moons are witnesses to unique physical processes and exhibit active phenomena over a wide range of timescales. These moons are strongly influenced by the intense electromagnetic environment generated by Jupiter and display strong coupling between their surfaces, exospheres, and the Jovian magnetosphere. The surface morphologies observed appear to result from a competition between external processes, such as space weathering and micrometeorite bombardment, and internal processes, such as the upwelling of deep material.

The study of surface properties is facilitated by the large volume of data obtained from both ground-based observations and spacecraft missions. In particular, near-infrared data are available at a range of spatial and spectral resolutions. In this study, we focus on observations acquired by Galileo/NIMS. To robustly estimate the microphysical surface properties, realistic radiative transfer models are required to account for the highly nonlinear scattering interactions occurring within complex surfaces. Here, we present results obtained using the Hapke model. To retrieve volumetric abundances and grain sizes we employ a Bayesian inversion approach that has demonstrated its effectiveness in previous surface characterisation studies.

We present results obtained from several distinct observations of Europa's trailing hemisphere. The derived results enable the production of maps of surface microphysical properties.

Impact Marginal des Distorsions en Imagerie Hyperspectrale Codée

Léo PAILLET*^{1,2}, Antoine ROUXEL¹, Hervé CARFANTAN², Simon LACROIX¹,
Antoine MONMAYRANT¹, Julien ROUL¹

¹ LAAS-CNRS

² IRAP-UT/CNRS/CNES

Mots-clés : co-conception, imageur hyperspectral, masque codé, algorithme de reconstruction, distorsions

Les imageurs hyperspectraux classiques, fonctionnant généralement par balayage, produisent des volumes de données importants.

Ils sont contraints par un compromis entre résolution spectrale, spatiale et temps d'intégration (ou rapport signal sur bruit).

Les imageurs hyperspectraux à masques codés (CASSI : Coded Aperture Snapshot Spectral Imager) offrent une alternative tout en réduisant la quantité de données acquises.

Des algorithmes spécifiques sont nécessaires pour exploiter les données, comme des algorithmes de reconstruction.

L'obtention de hautes performances nécessite de concevoir conjointement les imageurs et les algorithmes.

Pour cela nous avons développé un modèle différentiable par tracé de rayons, offrant des simulations réalistes de la formation des acquisitions codées.

Ce modèle est intégré dans des réseaux de neurones de reconstruction, qui combinent données et modèle pour améliorer les performances.

Grâce à ce modèle, nous avons pu démontrer sur les jeux de données CAVE et KAIST la grande robustesse des performances de ces systèmes vis à vis des distorsions et des désalignements optiques, du moment qu'ils sont connus et pris en compte dans le modèle.

Nous pouvons ainsi concevoir des systèmes imageurs hyperspectraux codés plus simples, induisant de fortes distorsions, et offrant de hautes performances.

Téledétection Hyperspectrale et multi-échelle de minéralisations polymétalliques (MPM) : constitution d'une base de données minéralogique et spectrale pour l'identification des minéralisations des bassins permien. Cas d'étude du bassin permien de Lodève

Théo RUBIO*^{1,2,3}, Hugo DORBES², Sophie FABRE², Aurélien BORDENAVE³, Antonio BENEDICTO¹

¹ GEOPS

² ONERA

³ BRGM

Mots-clés : télédétection, hyperspectral, ressources polymétalliques, permien, lodève

Une base de données multi-sources regroupant à la fois des données spectrales et des données minéralogiques a été construite en laboratoire pour cartographier les minéralisations polymétalliques (MPM) du bassin permien de Lodève par télédétection hyperspectrale. Cette base de données repose sur l'analyse systématique de 80 échantillons représentatifs de 4 types de MPM identifiées. Elle combine des mesures minéralogiques DRX (12 groupes identifiés), MEB-EDS (minéraux porteurs : galène, chalcopryrite, malachite/azurite) et XRF (traces d'or, argent, terres rares) avec des mesures spectrales VNIR-SWIR acquises en laboratoire. L'originalité de cette base de données réside dans la détermination minéralo-chimique précise couplée à l'acquisition spectrale en laboratoire (via un ASD FieldSpec 4 et un banc HySpex) de chaque échantillon collecté et représentatif des MPM. Différentes méthodes de clustering ont été utilisées pour relier les spectres aux familles minéralogiques identifiées. Le travail d'analyse réalisé révèle des associations spectrales diagnostiques : bandes d'absorption des sulfates (barytines), signatures des carbonates altérés (ankérite à malachite), ou pics caractéristiques de l'azurite permettant ainsi de répertorier des proxys de télédétection hyperspectrales des MPM. Cette base de données multi-échelle et multi-sources permettra de tester des méthodes de détection pour classifier les spectres et ainsi déterminer la famille minéralogique à laquelle il appartient.

Pan-sharpening of Hyperspectral Imagery over Coral Reef Environments: Evaluation Using Radiative Transfer Inversion and downstream task Validation

Antoine LAVRARD-MEYER^{*1}, Lucas DRUMETZ², Audrey MINGHELLI³,
Mauro Dalla MURA⁴, Malik CHAMI⁵, Pascal MOUQUET⁶,
Nicolas GASNIER⁷, Touria BAJJOUK⁸

¹ GIPSA-LAB, CNES, Magellium

² IMT Atlantique

³ Université toulon

⁴ GIPSA-LAB

⁵ Sorbonne Université

⁶ IRD

⁷ CNES

⁸ IFREMER

Mots-clés : hyperspectral, pansharpening, evaluation, radiative transfer model

With the emergence of hyperspectral missions such as PRISMA and EnMAP, and the perspective of future systems like CHIME, improving the spatial resolution of hyperspectral imagery has become a key challenge. Pan-sharpening aims to address this limitation by injecting high-resolution spatial information into hyperspectral data. While the evaluation of pansharpening algorithms has been extensively studied, assessments for hyperspectral data over aquatic environments remain relatively limited. Leveraging off-the-shelf pansharpening methods, we evaluate the performance of existing algorithms on a set of representative images. In addition to traditional image-based metrics, we use radiative transfer models to invert hyper-spectral data over coral reef environments, enabling the retrieval of bathymetry and bottom composition. Comparisons with reference bathymetric data (e.g., Litto3D and photogrammetry) and bottom composition (Pléiades derived), further provide a qualitative assessment of the pansharpening results. The results show that image-based detail enhancement does not necessarily translate into meaningful improvements in the derived products. When details are injected, they are often physically inconsistent and may exhibit inverse correlations; in particular, darker pixels corresponding to coral structures appear to be inversely correlated with the reference bathymetric data.

Au-delà de l'optimisation : une méthode multi-solutions pour le démélange spectral parcimonieux

Nils FOIX-COLONIER^{*1}, Sébastien BOURGUIGNON¹, Frédéric SCHMIDT^{2,3}

¹ Nantes Université, École Centrale Nantes, CNRS, LS2N, UMR 6004, F-44000 Nantes, France

² Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS Orsay, 91405, France

³ Institut Universitaire de France, Paris, France

Mots-clés : démélange spectral, parcimonie, optimisation

Le démélange spectral sous contrainte de parcimonie vise à décomposer un spectre mesuré en une combinaison linéaire de spectres de référence, en limitant explicitement le nombre de composantes non-nulles. Nous proposons d'aborder ce problème sous un angle inédit, au travers d'une formulation mathématique ayant pour finalité l'obtention de l'ensemble exhaustif des solutions parcimonieuses (contraintes via la pseudo-norme L_0) et physiquement admissibles (seuil de tolérance d'écart aux données). Contrairement à la grande majorité des autres méthodes, qui fournissent une unique solution, cette approche multi-solutions permet de caractériser les solutions d'intérêt. Le problème proposé est résolu au moyen d'un algorithme de séparation-évaluation (Branch-and-Bound), construit sur mesure. Une contrainte optionnelle d'abondance minimale permet d'améliorer l'interprétabilité des solutions, tout en réduisant la taille de l'ensemble des solutions et la complexité numérique. L'approche proposée, ainsi que des variantes, sont évaluées au travers de simulations approfondies, surpassant systématiquement les méthodes classiques et parvenant fréquemment à obtenir la solution oracle dans l'ensemble de solutions renvoyé. Enfin, une surcouche algorithmique d'analyse de l'ensemble des solutions permet l'extraction d'informations de haut niveau : abondances minimales/maximales de chaque élément possiblement présent, absence/présence garantie. Un code Python est librement mis à disposition.

De la réflectance à la luminance : comment la grandeur physique impacte la performance du pansharpening et les critères de qualité

Sacha NEIGER^{*1}, Xavier BRIOTTET¹, Sophie FABRE¹, Colin THOMAS²,
Florian MOURET¹, Clémence PICARD²

¹ ONERA

² ADS

Mots-clés : pansharpening, hyperspectral, urban scenes, radiance, reflectance

Remote sensing studies physical properties of a scene using its emission and reflection, with applications to agriculture, environment and urban monitoring. Current optical satellites lack simultaneous high spectral and spatial resolutions. The latter is crucial for the analysis of highly dense urban scenes. Pansharpening addresses this by providing images fused with both high spatial and spectral resolutions. The main limits of the existing methods are linked to the transition areas and mixed pixel monitoring, notably present in urban scenes and inducing spectral ambiguities.

This presentation focuses on the implementation of a processing data chain and on the study of the impact of varying physical quantities on pansharpening methods. The processing chain simulates data from a HS image in BOA reflectance, to images in radiance and reflectance of different spatial and spectral resolutions. Urban airborne HS data is processed through this chain to simulate the entries of different SOTA pansharpening methods. These fusions are applied both in reflectance and radiance, the latter converted back in reflectance in order to inspect the impact on the fusion quality of the unit in which the data is processed.

Experiments highlight varying sensibilities to the type of input data. Strongest approaches remain robust to different physical quantities, compared to the weakest methods. Most of them show a better restitution when applied to radiance images.

Détection et identification de la pollution par les plastiques sur les surfaces continentales

Florian CAVERNES*^{1,2}, Véronique ACHARD¹, Pierre-Yves FOUCHER¹,
Romain JATIAULT², Edouard LAVERGNE³, Wolfgang LUDWIG²

¹ ONERA

² CEFREM

³ Plastic @ Sea

Mots-clés : hyperspectral, pollution plastique, détection, classification

La production de plastique ne cesse d'augmenter, venant de pair avec l'augmentation de la pollution par les plastiques. Sachant que 80% des plastiques observés dans les océans proviennent des continents, il se dessine une nécessité de cartographier ces déchets sur terre avant qu'ils n'atteignent les océans. L'imagerie hyperspectrale combinée à des vecteurs aéroportés tels que les drones offre la possibilité de détecter et d'identifier les déchets plastiques sur de larges zones à de hautes résolution spatiale et spectrale. Nos travaux se concentrent sur l'analyse du potentiel de cette technologie pour l'identification et la classification automatique des types de plastiques sur surfaces continentales. Deux jeux de données hyperspectraux ont été acquis par drone en milieu littoral et végétalisé. Ces jeux de données contiennent une grande variété d'échantillons plastiques (en taille, en type et en état de dégradation) que nous avons caractérisés en laboratoire par mesures FTIR afin de constituer une vérité terrain. Plusieurs méthodes d'identification ont ainsi pu être évaluées (indices, distances, apprentissage). Nous avons ainsi montré qu'un apprentissage optimisé en termes de données d'entraînement (pré traitement des spectres et introduction des indices spectraux) permet une classification automatique des types de plastiques sans a priori avec des performances meilleures qu'un seuillage d'indices spectraux classiques basé sur une connaissance a priori de la vérité terrain.

Leaf chlorophylls estimation of orchard trees from UAV hyperspectral imagery, radiometric correction and lab-to-UAV transfer

Nathan SIKORA*¹, Sylvain JAY², Karine ADELIN¹

¹ DOTA, ONERA, Université de Toulouse, Toulouse, 31000, France

² EMMAH, INRAE, Avignon Université, Avignon, France

Mots-clés : UAV hyperspectral, lidar, spectral invariant theory, illumination correction, cab estimation

Among vegetation biochemical traits, leaf chlorophyll content is directly related to photosynthetic activity and constitutes a key indicator for early detection of tree stress. Centimetric-resolution UAV hyperspectral imagery enables leaf-scale analysis but introduces small-scale directional effects driven by leaf orientation, optical property anisotropy and multiple scattering within the canopy structure, requiring appropriate radiometric correction methods that remain little explored to date. This study evaluates the combination of an illumination correction method with a lab-to-UAV transfer of estimation models to improve chlorophylls retrieval from UAV hyperspectral imagery acquired in June and September 2024 at 1.3 cm resolution over peach and apricot orchards. Laboratory models were first calibrated using PROSPECT-D radiative transfer model inversion and PLSR. An exhaustive search over 8,515 spectral subdomains identified the 700-750 nm range as optimal, yielding RMSE values of 3.5 and 2.8 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ respectively. Then, the physically-based illumination correction of Ihalainen et al. (2023), based on spectral invariant theory, was applied to the UAV images. Without this correction, laboratory models performed poorly, with RMSE reaching 12.4 and 45.3 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$. After correction, performance recovered to 3.5 and 3.8 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$, close to laboratory accuracy, demonstrating that illumination correction is essential for reliable intracrown chlorophyll estimation from UAV imagery.

Correction atmosphérique d'images EnMAP L1C acquises sur le rift d'Asal–Ghoubbet (République de Djibouti) : comparaison de plusieurs méthodes

Robin LANGOUËT^{*1}, Sylvain DOUTÉ², Rodolphe MARION³, Stéphane JACQUEMOUD¹

¹ Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), Université Paris Cité, Paris, France

² Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble (IPAG), Saint-Martin-d'Hères, France

³ CEA/DAM/DIF, Arpajon, France

Mots-clés : correction atmosphérique, enmap, imagerie hyperspectrale, cartographie minéralogique, transfert radiatif dans l'atmosphère

La correction atmosphérique des images hyperspectrales est essentielle en géosciences, car elle conditionne la restitution des signatures spectrales des minéraux. Pourtant, sa performance reste peu évaluée sur des surfaces arides à forte dynamique radiométrique, où les hypothèses classiques (notamment la présence de cibles végétalisées) ne sont pas vérifiées.

Nous comparons neuf méthodes de correction appliquées à des images EnMAP L1C acquises sur le rift d'Asal–Ghoubbet (Djibouti), un site caractérisé par des contrastes radiométriques extrêmes et un relief aride marqué. Les approches testées incluent des inversions physiques, semi-empiriques et empiriques.

L'évaluation des méthodes consiste à comparer les spectres de réflectance BOA (bottom of atmosphere) avec des spectres de sols mesurés en laboratoire et sur le terrain et à comparer les cartes minéralogiques extraites à la carte géologique au 1/50 000 du rift. Les résultats montrent que les méthodes physiques contraignant les paramètres atmosphériques par des données auxiliaires offrent la meilleure restitution spectrale. La correction topographique améliore la cohérence spatiale mais peut induire des artefacts lorsque la pente est forte. Les méthodes empiriques génèrent les distorsions les plus importantes, notamment dans le SWIR.

Cette étude met en évidence le rôle critique de l'estimation des aérosols en l'absence de végétation et fournit des recommandations pour l'imagerie hyperspectrale en milieu aride.

Fusion hyperspectrale-multispectrale pour le JWST : super-résolution, déconvolution et débruitage par apprentissage profond

Pierre-Laurent Cristille^{*1,2,3}, Dan Pineau⁴, Nicolas Monnier^{2,3}, Alain Abergel^{2,3},
Jeronimo Bernard-Salas^{1,2}, Pierre Dell'Ova^{2,3}, and Nick L. J. Cox^{1,2}

¹ ACRI-ST, center d'Études et de Recherche de Grasse (CERGA), France

² INCLASS Common Laboratory, 10 Av. Nicolas Copernic, 06130 Grasse, France

³ Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS), CNRS, UMR 8617, Université Paris-Saclay, 91405 Orsay, France

⁴ Interdisciplinary Centre for Security, Reliability and Trust (SnT), University of Luxembourg, Luxembourg

Mots-clés : hyperspectral, fusion, infrarouge, JWST, deep-learning

Le télescope spatial James Webb (JWST) offre des capacités spectroscopiques sans précédent dans l'infrarouge, mais l'exploitation conjointe de son imageur (MIRIM) et de son spectrographe à intégrale de champ (MRS) se heurte à un obstacle majeur : comment fusionner des données hyperspectrale basse résolution spatiale (plus de 11 000 canaux) avec des images multispectral haute résolution, tout en corrigeant simultanément la PSF instrumentale et le bruit ?

Nous présentons MLPSF (Multi-Level Predictive Spline Field), une architecture Transformer innovante qui prédit, pixel par pixel, des coefficients de splines compacts définissant des fonctions de correction spectrale continues. Cette représentation paramétrique réduit drastiquement la dimensionnalité du problème tout en préservant la cohérence globale du spectre. Une branche résiduelle dédiée reconstruit les raies d'émission et d'absorption étroites que les splines lisses ne peuvent capturer.

En l'absence de vérité terrain dans le domaine astronomique, nous développons un pipeline de génération synthétique complet : textures nébuleuses réalistes par bruit de simplex, spectres issus de vraies observations JWST, et modèles d'instruments fidèles (PSF, fonctions de réponse spectrale, bruit de Poisson et gaussien).

L'assimilation des luminances spectrales IASI et IASI-NG pour les poussières minérales

Étienne GRUET*¹, Vincent GUIDARD¹, Olivier COOPMANN¹

¹ CNRM, Météo-France & CNRS

Mots-clés : composition atmosphérique, aérosols, mesures satellitaire

Desert dust are fascinating aerosols because they play an important role in climate and meteorology. They are much studied because of their abundance, ability to form clouds and ability to travel over great distances (several thousands km). It is therefore important to have a good estimate of their space-time distribution. For this purpose, Météo-France uses an atmospheric composition model, MOCAGE (MOdèle de Chimie Atmosphérique de Grande Echelle), which simulates the emissions, transport and sinks of desert dusts, and of other aerosols. Assimilation of observations seems to be a good choice for achieving greater accuracy in their representation.

To do this, we have chosen to use IASI-NG on Metop-SG satellite instrument, which was launched in August 2025 on low-Earth orbit. IASI-NG is a good candidate because it is sensitive to desert aerosols, it allows measurements to be taken day and night (because it's an infrared sounder) over a wide area and it is an extension of the well-known IASI instrument but with a better signal-to-noise ratio and spectral resolution (0.25 cm⁻¹ from 645 to 2760 cm⁻¹). This is why the aim is to assimilate the IASI-NG radiances directly into the MOCAGE model. We also plan to assimilate IASI to assess any potential benefits of IASI compared to IASI-NG. However, the results cannot yet be presented; instead, the key factors involved in the assimilation (instrument sensitivity, optimal channels and observational error) will be presented.

TARTATIN: un modèle analytique de transfert radiatif pour milieux turbides à deux couches avec interfaces

François ANDRIEU¹, Frédéric SCHMIDT^{1,2}

¹ Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, 91405, Orsay, France

² Institut Universitaire de France

Mots-clés : modèle analytique, transfert radiatif, bicouche, deux-flux, milieux turbides

TARTATIN (Two-stream Analytical Radiative Transfer Algorithm for Two-layer-media with INterfaces) est un modèle analytique de transfert radiatif conçu pour les milieux turbides à deux couches comprenant des interfaces. Dans les domaines visible et proche infrarouge, l'épaisseur optique croît rapidement avec l'épaisseur physique. Dans ce cas, seule la couche supérieure influence la réflectance, et l'utilisation de modèles définissant la surface comme monocouche semi-infinie est possible. Pourtant, de nombreux cas exigent une approche bicouche : par exemple, dans l'étude de certaines surfaces planétaires (glace fine amorphisée sur substrat cristallin, lame de glace ou d'eau...), des tissus biologiques (peau), ou encore d'œuvres d'art (vernis sur peinture).

TARTATIN repose sur l'approximation des deux flux, résolvant l'équation du transfert radiatif avec des conditions aux limites inédites, notamment la prise en compte des interfaces. Son caractère analytique permet un calcul numérique extrêmement rapide, facilitant l'exploration d'un large espace de paramètres et l'utilisation de méthodes exigeantes comme les approches Monte-Carlo ou l'inversion bayésienne, et en font ainsi une solution efficace pour l'analyse de cube hyperspectraux.

Activités de corrections atmosphériques pour capteurs hyper-spectraux au CNES

Sophie COUSTANCE¹, Xavier LENOT², Thierry ERUDEL², Mathieu COMPIÈGNE³,
Damien RODAT¹, Bruno LAFRANCE², Camille DESJARDINS¹, Aimé MEYGRET¹

¹ CNES

² CS-Group

³ HYGEOS

Mots-clés : corrections atmosphériques, niveau 2, CORATHYP, CNES

Les corrections atmosphériques permettent de corriger de l'absorption et de la diffusion des gaz et aérosols pour générer des images en réflectances de surface.

Le CNES développe et étudie ces méthodes qui interviennent dans le dimensionnement de missions hyper-spectrales et pour préparer les traitements de niveau 2 opérationnels.

Pour cela, le CNES et CS-Group ont développé CORATHYP, un outil de correction atmosphérique pour capteurs hyper-spectraux, générique et en python. Il utilise la méthode APDA (Atmospheric Pre-corrected Differential Absorption) pour estimer le contenu en vapeur d'eau. L'épaisseur optique des aérosols est calculée avec la méthode Dark Dense Vegetation et les données CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) contraignent le modèle d'aérosol. Les calculs de transfert radiatif sont effectués avec SOS-ABS qui modélise le couplage entre l'absorption et la diffusion des gaz ainsi que la polarisation. Les effets d'environnement et de pente sont également pris en compte.

CORATHYP a été validé avec un large jeu d'images EnMAP disposant de mesures in-situ des réseaux de photomètres AERONET et ROSAS et sera publié en open-source.

Une étude est en cours pour améliorer ses performances en temps de calcul en émulant le transfert radiatif.

D'autre part, le CNES et HYGEOS ont étudié les apports d'une méthodologie d'inversion optimale restituant simultanément les propriétés de l'atmosphère et de la surface en utilisant l'outil open-source du JPL ISOFIT.

Hyperspectral Glint-Removal-System (hGRS) algorithm for aquatic environment monitoring: from atmospheric correction to deep and shallow water assessment

Tristan HARMEL¹, Zoé BESNARD^{1,2}, Antoine LAVRARD-MEYER^{1,3,4},
Soham MUKHERJEE^{1,5}

¹ Magellium

² Nantes Université

³ GIPSA-LAB

⁴ CNES

⁵ Saber-Solution

Mots-clés : atmospheric correction, radiative transfer, aquatic environment, water quality, satellite

The main challenges in satellite monitoring of water quality parameters lie in atmospheric correction (AC) processing to properly retrieve the water-leaving signal, and inversion of this signal into ecological and biogeochemical parameters. As a difference with land remote sensing, optical satellite measurements above water are strongly impacted by sun and sky light reflection (glint) onto the water surface that should be corrected for. Following the launch of high spatial resolution hyperspectral satellite (PRISMA, EnMAP), we developed a novel AC processor named hGRS capable of retrieving the aerosol content, water vapor, sunlint and water-leaving radiance from a non-linear optimization solver. The algorithm is mainly based on pre-computed simulations of the fully coupled water-atmosphere radiative transfer and a constrained non-linear optimization scheme enabling to impose the non-negativity property of the retrieved water reflectances. Results have been validated based on match-up comparisons against in situ data through the ESA/NASA ACIX-III and DLR intercomparison exercises. Finally, the algorithm is exploited in real-world applications to monitor water quality, massive bloom species identification, bathymetry and bottom habitat mapping. This work on PRISMA/EnMAP satellite hyperspectral data is intended as a demonstration for potential global applications to the next operational hyperspectral missions such as CHIME (ESA) and SBG (NASA).

Radiative Transfer Model inversion and Machine Learning: two approaches for mapping seagrass distribution

Touria BAJJOUK¹, Céline CORDIER¹, Marc BLANCHON²

¹ Ifremer, DYNECO/LEBCO, Plouzané, France

² Capgemini Engineering, Computer Vision and Robotics AI Lead, France

Mots-clés : seagrass, hyperspectral, acoustic, radiative transfert model, machine learning

Seagrass meadows provide essential ecosystem services while they are experiencing severe global declines due to global changes. Understanding their spatial structure is therefore critical for informing effective conservation and management strategies.

In this study, we experimented two approaches for mapping meadows of two *Zostera* species, *Z. marina* and *Z. noltii*, which occupy intertidal and subtidal areas, using mainly airborne hyperspectral imagery:

(i) The first approach is physics-based and relies on the inversion of a radiative transfer model. This method models the interactions between light, the water column, and the seafloor, allowing for the simultaneous estimation of optical properties and seabed composition. To improve accuracy in heterogeneous environments, this model is combined with a spectral unmixing approach, which requires, as input, a field-acquired spectral library representing the main seabed types present at the study sites.

(ii) The second approach uses machine learning trained on a combination of in situ observations and acoustic survey data. Model performance was evaluated through cross-validation using standard statistical metrics, ensuring robustness and reliability in the resulting predictions.

The methodological framework and results, as well as an example of application for seagrass management, will be illustrated on coastal sites along the French coastline.

Modélisation de panaches de méthane à haute résolution à partir d'images satellites

Jeanne TISON¹, Rakesh YUVARAJ¹, Thomas LAUVAUX², Xiaojuan LIN²

¹ Climate Impacts on Environment Laboratory (CIEL), Université de Reims-Champagne Ardenne, UMR CNRS 7331, Reims, France

² Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay, 91191 Gif sur Yvette Cedex, France

Mots-clés : imagerie hyper spectrale, mesure de la concentration de méthane, turbulence

De nombreux imageurs satellitaires mesurent les fuites de méthane à l'échelle globale (ex. Carbon Mapper, EMIT, GHGSat) avec une résolution croissante (30 m pour PRISMA, 60 m pour EMIT). Ces fuites, d'environ 100 kg/h à plusieurs tonnes par heure, représentent une part importante des émissions anthropiques de méthane et contribuent au réchauffement climatique. La méthode la plus utilisée repose sur le bilan de masse IME (Integrated Mass Enhancement), mais elle dépend d'hypothèses sur le vent et le déplacement du panache entraînant des incertitudes d'environ 50 %.

Afin de mieux comprendre ces incertitudes, nous modélisons des panaches observés au-dessus d'une mine de charbon dont on connaît les émissions (Pniowek V). Cette étude permet de calculer les émissions par IME et d'évaluer sa marge d'erreur. Cette validation met en évidence l'impact des paramètres influençant la dynamique des panaches et améliore la quantification des émissions par télédétection.

Pour cela, nous utilisons le modèle LES (Large Eddy Simulations) FDS (Fire Dynamics Simulator), qui simule le comportement d'un panache en un lieu et un instant donné en incluant plusieurs variables (météorologie, topographie et caractéristiques des fuites). Les simulations FDS sont comparées aux données satellitaires de CarbonMapper. Nos travaux identifient les sources d'erreur des méthodes IME et améliorent la compréhension des comportements turbulents afin de mieux estimer les fuites de méthane à l'échelle mondiale

Realistic Hyperspectral Scene Generation from Sentinel-2 Using Spectral Libraries and PCA for End-to-End Space Mission Simulations

Camille SALAZAR¹, Théo PACCOUD¹, Jorge Vincent SERVERA¹

¹ Magellium

Mots-clés : scene simulation, VIS-SWIR reflectance reconstruction, end-to-end simulator, principal component analysis

End-to-end simulators (E2ES) are essential tools for space agencies, supporting the development and evaluation of processing algorithms, calibration and validation strategies, and ground segment operations. However, the realism of simulated products is often limited by the quality of synthetic input scenes. Existing scene generation methods commonly rely on simplified class-based spectra that fail to capture the spectral variability and spatial complexity of real environments.

This work proposes a generic framework for hyperspectral scene generation that combines Sentinel-2 imagery with hyperspectral spectral libraries to reconstruct spatially coherent hyperspectral surface reflectance. Principal Component Analysis (PCA) projects both library spectra and multispectral observations into a common reduced-dimensional space, enabling hyperspectral reconstruction while preserving the spatial structure of Sentinel-2 data.

The generated scenes are intended as realistic inputs for end-to-end simulation chains used in the preparation and assessment of hyperspectral space missions. The method is trained on more than 2000 reflectance spectra and evaluated with several spectral libraries. Preliminary assessments using PRISMA and EnMAP data show reconstruction errors typically between 1% and 5% in spectral regions not covered by Sentinel-2 bands, while a full Sentinel-2 tile (11000 × 11000 pixels) can be processed in less than ten minutes.

HiBiDiS: Development of a Biodiversity SCOUT Mission

Maria J Santos⁴, Jennifer Adams¹, Stefan Livens², Jonathan Leon Tavares², Iskander Benhadj², Dirk Nuyts², Jochem van der Maas³, Vincent Moreau³, Vincent Lavielle³, Anio Beqiri⁴, Nicola Melega⁴, Anke Schickling⁴, Alessandro Lazzari⁵, Gilles Mariotti⁵

¹ University of Zurich, Department of Geography, Switzerland

² VITO, Belgium

³ AMOS, Belgium

⁴ ESA/ESTEC, The Netherlands

⁵ SITAEL, Italy

Mots-clés : HiBiDiS, Biodiversity, Understorey and Overstorey, Biomes, Imaging Spectroscopy

Imaging spectroscopy has emerged as an important tool for monitoring biodiversity and understanding ecosystem processes. HiBiDiS is a scientific mission which was selected within the 2nd cycle of the ESA SCOUT framework, proposing a biodiversity experiment to gather information on the influence of understorey composition on the biosphere and its response to anthropogenic and natural processes.

The HiBiDiS mission aims to deepen our understanding of biodiversity, its species and functions, scaling to ecosystem functioning, response, and resilience to disturbances. By combining multi-angular observations at very high spatial (GSD=5m) and spectral resolution (12nm) in the VNIR-SWIR range (450nm–1650nm), HiBiDiS will provide detailed multitemporal, multi-angular, imaging spectroscopy observations of the 'whole of canopy' and enhance our understanding of biodiversity in the under- and overstorey.

The measured data of this mission will be relevant for both remote sensing and field researchers who want to perform detailed research at local or regional scales, addressing fundamental research questions on the functioning of the understorey biodiversity and its contribution to ecosystem health and biogeochemical cycling.

Mission FLEX: contenu des produits & status des activités L2 en vue du lancement

Théo PACCOUD¹, Jorge Vicent SERVERA¹, Pekka KOLMONEN², Neus SABATER²,
Sergio COGLIATI³, Pietro CHIERICHETTI³, Christiaan VAN DER TOL⁴,
Marin TUDOROIU⁵, Marco CELESTI⁶, Gwennaël MATOT¹, Brice MORA¹

¹ Magellium

² FMI

³ UNIMIB

⁴ UTC/IT

⁵ ESA/ESRIN

⁶ ESA/ESTEC

Mots-clés : télédétection, missions spatiales, fluorescence, végétation, hyperspectral

La mission FLEX (FLuorescence EXplorer) de l'ESA a comme but principal l'étude de l'activité photosynthétique de la végétation à l'échelle globale, par la mesure de la Solar Induced Fluorescence (SIF), ainsi que des paramètres biophysiques indispensable à son interprétation. Afin de répondre à ces objectifs, un large consortium regroupant des experts scientifiques et industriels a été formé, le FLEX DISC. Il regroupe des activités très diverses allant de la consolidation et industrialisation des algorithmes de niveau 2, à la planification des activités de Cal/Val, ainsi que le développement d'une plateforme pour l'exploitation des données.

A quelques mois du tir, le format des produits est maintenant jugé mature. Le produit L1C consiste en une harmonisation des luminances TOA des instruments de FLEX et Sentinel-3 dans la géométrie de FLORIS. Le produit L2, donnée en géométrie UTM, fournit le spectre de SIF pour chaque pixel, ainsi que la réflectance ayant permis son calcul et les paramètres biophysiques permettant de l'exploiter.

Cette présentation vise à donner un aperçu de ces activités ainsi que des produits de la mission. Elle est complémentaire à une autre présentation soumise, dont le but sera de présenter les algorithmes et leur validation par des données simulées. Ces deux présentations permettront aux participants d'avoir à la fois une bonne idée des produits novateurs proposés par FLEX, ainsi qu'un aperçu de la précision des algorithmes qui seront utilisés.

The OPT-MPC cal/val assessment of the emerging hyperspectral Copernicus Contributing Missions

Fanny LARUE¹, Sébastien CLERC¹, Leonardo DE LAURENTIS²,
Julie VERMERSCH¹, Jérôme BRUNIQUEL¹

¹ ACRI-ST

² ESA

Mots-clés : hyperspectral missions, calibration/validation, assessment, framework, data quality

With the growing number of Earth Observation (EO) hyperspectral missions, the need for systematic evaluation frameworks for commercial satellite data is increasing. Existing guidelines such as JACIE (NASA) and EDAP (ESA/NASA) provide recommendations on documentation, product formats, and image quality assessment, but remain high-level and not fully adapted in operational contexts. There is therefore a need to harmonize standards and metrics used to report image quality and to develop an operational assessment framework for commercial hyperspectral missions.

The Optical Mission Performance Cluster (OPT-MPC) assesses the maturity and data quality of Copernicus Contributing Missions (CCMs), including several emerging European hyperspectral missions. This presentation introduces the OPT-MPC framework developed to evaluate these missions, considering both mission documentation and product quality through independent validation. The evaluation covers L1B and L1C products and includes metrics such as radiometric accuracy, SNR, MTF, FWHM, fixed pattern noise, detector non-linearity, and geometric accuracy.

These OPT-MPC cal/val activities ensure that data from commercial hyperspectral missions delivered to Copernicus Services are fit for purpose and meet quality requirements. In the long term, harmonizing the evaluation framework and performance metrics would benefit both users and data providers.