

Visite ONERA-DOTA

17 octobre 2023

TUTELLE

Sous tutelle du ministère des Armées

THÈMES DE RECHERCHE

6 Thématiques scientifiques

- Optoélectronique : photodétection et nanophotonique
- Capteurs optiques et imageurs hyperspectraux
- Lasers fibrés , lidars et imageurs 3D
- Maîtrise de la surface d'onde , optique adaptative
- Environnement et signatures pour les senseurs optroniques
- Télédétection active et passive

PERSONNES PRÉSENTES

ONERA

Pierre-Yves Foucher
Françoise Viallefont
Laurent Poutier
Philippe Déliot
Ahmed Moussous
Paul-Edouard Dupouy
Yannick Boucher
Stéphane Minisclou
François Lemaître
Xavier Briottet
Karine Adeline
Théo Le Saint
Mathilda Porterie
Aurélie Michel

Hors ONERA

Audrey Sauffroy (CEREMA)
Caroline Badouel (Université de Toulouse)
Najla Touati (LISST/Université Toulouse Jean Jaurès)
Serge Faraut (LRA)
Juan-Carlos Rojas Arias (ENSA LRA)
Jean-Louis Roujean (CESBio/OMP)
Dominique Le Quéau (CNRS)
Etienne Gondet (OMP)

Initié et soutenu par



Porté par



Déroulé

- **Présentation du Défi-Clé O3T et du GT Milieux Urbanisés par Caroline Badouel, Najla Touati, Aurélie Michel**

- **Présentation du DOTA par Stéphane Minisclou :**

L'ONERA est un EPIC (Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial) créé en 1946, et dont la tutelle est le Ministère des Armées. Il est réparti sur 8 sites en France métropolitaine.

Le DOTA (Département d'Optique et Techniques Associés) est un des laboratoires de l'ONERA dont les missions sont de :

1. réaliser des études et recherches liées à l'utilisation du domaine optique, pour le domaine Aéronautique, Espace et Défense mais aussi pour l'environnement, la sécurité, l'astronomie et l'imagerie médicale,
2. réaliser une recherche prospective et finalisée en amont des industriels et au service notamment du CNES, de la DGA, pour les ANR, l'ESA, l'UE entre autres. Le DOTA a donc comme grand thème la maîtrise de l'ensemble de la chaîne optique, depuis la source jusqu'aux traitements des signaux issus des systèmes optiques afin de réaliser des produits. Ceci passe par : la modélisation, la conception et la réalisation de nouveaux instruments et la mise en œuvre d'instruments en laboratoire et sur le terrain. Ses activités couvrent alors la maîtrise de technologie pour les capteurs, la conception et la caractérisation des systèmes optiques, la mise en place de campagnes de mesures et l'implémentation de modèles, de méthodes de traitements et de bases de données. Le DOTA se divise en 8 équipes (unités) de recherche localisées sur trois sites en France Métropolitaine (Île-de-France, Toulouse, Salon-de-Provence). A Toulouse les thèmes de recherche concernent l'Imagerie laser 3D et Lidar Multispectraux, la Télédétection optique active et passive et la physique de la mesure. En 2022, 35 personnes sont permanentes au centre de Toulouse, en tant qu'ingénieur-es et chercheur-es, technicien-nes et personnel administratif, 16 personnes sont en doctorat, 1 en CDD, 1 en contrat d'apprentissage, et 8 sont stagiaires.

- **Présentation Thématique Télédétection Active et Passive par Pierre-Yves Foucher : Télédétection optique pour l'étude de l'environnement aux échelles fines en lien avec l'activité anthropique**

Le périmètre scientifique et l'objectif qui anime la thématique est la caractérisation de l'activité anthropique pour les besoins de la Défense, de la sécurité et de l'environnement que ce soit en milieux végétalisés et avec sols nus, maritimes, artificialisés et ce en utilisation la télédétection optique de 0.4 à 12 micromètres, active et passive, avec une résolution spatiale de l'ordre du centimétrique au décimétrique, et même kilométrique pour le satellitaire, et sur tout type de plateforme (terrain, avion, drone, satellite).

L'équipe est donc dotée d'une pluralité d'outils utilisés pour la détection et caractérisation de différents objets d'intérêt, que ce soit en termes d'instruments, de mesures et de traitements, par approche multi modale, différentes résolutions spatiales, et différentes échelles temporelles pour effectuer du suivi. L'équipe a aussi une expertise dans la correction radiométrique, géométrique des instruments et la spécification de capteurs amenant à un parc instrumental varié avec des caméras comme SIMAGAZ ou SIELETTERS fabriquées à l'ONERA ou des capteurs commerciaux opérés et étalonnés par l'ONERA (Fenix, Telops IR, Lidar 3D). Plusieurs membres sont impliqués dans des groupes missions pour des missions spatiales avec le CNES tels que HYSP, BIODIVERSITY, TRISHNA, IRIS...

Exemples d'applications scientifiques :

1. Caractérisation de pollutions anthropique en friche industrielle (collaborations avec TotalEnergies et le LEFE grâce à l'utilisation notamment de données aéroportées hyperspectrales et mesures laboratoires : quantification du taux d'hydrocarbure dans le sol en étudiant les effets sur la végétation, estimation du taux de métaux foliaire, lien entre biodiversité et impact anthropique grâce à une carte de classification des espèces obtenue par imagerie hyperspectrale, lidar 3D ou fusion des 2 menant à une identification des zones contenant des sols pollués
2. Contamination chimique des sites miniers en vue de leur remédiation, grâce à notamment l'utilisation d'images satellitaires Sentinel-2 permettant le suivi temporel d'une zone phytostabilisée entre 2016 et 2020 ou encore le projet Horizon Europe EDAPHOS débuté en 2023 sur l'estimation du taux de polluants dans le sol par analyse hyperspectrale de la signature du Pin pour voir l'efficacité de renouvellement de la biodiversité.

3. Détection des plastiques à haute résolution spatiale sur les surfaces continentales et côtières. Début d'une thèse avec le CEFREM sur la caractérisation des plastiques sur les surfaces continentales et côtières, estimation du taux de plastique à l'échelle sub pixelique
4. Caractérisation de rejets de produits chimiques liquides en mer grâce à la fusion de caméras VNIR-SWIR et thermiques (LWIR) utilisées lors de campagnes eau sol sur un navire et aéroportées. Quantification grâce au domaine thermique notamment de la nappe du bateau et l'identification d'un panache de gaz provenant du produit déversé sur le bateau, collaboration sur une thèse prochainement avec l'IMT Mines d'Alès.
5. Utilisation de la donnée satellite pour l'estimation de débit de méthane, thèse de N. Nesme soutenue en 2023 sur la détection automatique et cartographie des concentrations avec des images hyperspectrales de PRISMA. Grâce au traitement de séries temporelles de ce satellite, les débits de méthane peuvent être estimés.
6. Caractérisation des rejets industriels de particules fines dans l'air depuis l'espace : fusion Sentinel-2 et PRISMA (hyperspectral) pour l'estimation du débit d'aérosols industriels avec séparation débit total et débit dû aux particules fines en milieu urbain, semi-urbain, désertique (thèse de G. Calassou soutenue en 2022, collaboration CNES et OMP/LAERO). Thèse en collaboration avec LAERO et le CEA début en 2023. Collaborations, guichets de financement, responsabilités scientifiques présentes dans les slides.

Conclusions :

- Maîtrise de l'ensemble de la chaîne d'acquisition, de pré traitement et de traitement
- Propositions de produits innovants par télédétection liés à la caractérisation de l'activité anthropique dans des environnements variés et complexes souvent à double usage
- Nombreuses collaborations pour l'identification des paramètres bio/géo/chimique d'intérêt et la caractérisation des processus bio/géo/physiques des milieux Apprentissage des méthodes et validation des produits de télédétection
- L'accès accru à un ensemble de données multimodales à différentes échelles spatiales et temporelles (drone, aéroporté, satellite) ouvre de nombreuses perspectives applicatives et de collaborations.

• Présentation sur les activités sur les milieux urbains par Xavier Briottet

15 ans de recherche sur les milieux urbanisés motivée par la maîtrise de la physique de la mesure pour la caractérisation de l'activité anthropique.

Quatre grandes thématiques :

1. Atmosphère urbaine

Travaux sur la cartographie des aérosols dans les milieux urbains : comprendre la composition de l'atmosphère, utilisation d'images aéroportées, mise en place d'une méthode d'analyse transition ombre/soleil et comparaison des résultats avec ceux issus de MODIS montrant une bonne cohérence, permet d'affiner la correction atmosphérique dans le domaine réflectif et l'étude de la qualité de l'air

Travaux sur la cartographie du contenu en vapeur d'eau intégré grâce à des images aéroportées hyperspectrales de la campagne AI4GEO, étude de l'évolution de la variabilité du contenu et de son impact sur l'estimation de la température de surface. Permet d'affiner la correction atmosphérique dans le domaine thermique. Utilisation du code de transfert radiatif COMANCHE/COCHISE développé à l'ONERA.

Travaux sur la correction atmosphérique grâce au modèle ICARE, permet de corriger la structure 3D dans le domaine 0.4 – 2.5 micromètres, notamment la correction des pentes des toits et les ombres permet d'améliorer la classification, l'imperméabilisation et l'albédo

2. La végétation urbaine

Classifier et cartographier les espèces arborées et permettre le suivi de la végétation : développement de méthode de détection des arbres d'alignement ; notamment sur Toulouse : grâce à de l'imagerie multispectrale aéroportée + données contextuelles + données 3D et de méthodes de classification des espèces avec de la fusion de données aéroportées fournissant des informations spectrales, de texture et de structure.

Suivi multi temporel de la phénologie des essences arborées : classification supervisée et semi-supervisée sur des images satellitaires simulées à partir de données aéroportées hyperspectral acquises sur 9 ans.

La phénologie des essences arborées peut aussi être caractérisée intra-annuellement et inter-annuellement avec des images satellitaires multispectrales comme Sentinel-2 et Venus, application sur les platanes du Canal du Midi à Toulouse. Comparaison de l'échantillonnage temporel adapté et reconstruction des séries temporelles.

Travaux de thèse de Théo Le Saint en cours (collaboration ONERA/LETG) sur la quantification des traits de végétation, puis détection des anomalies dans le profil phénologique, application à la métropole de Rennes : utilisation d'images Sentinel-2 et modélisation 3D avec développement de méthodes d'inversion avec un suivi multi-temporel réalisé.

- **Enjeux majeurs pour la végétation urbaine : Classification des essences arborées.**

Prendre en compte la diversité des essences importantes (public/privé) et parfois peu représentées : méthodes de co-apprentissage et fusion de données optiques multimodales et multiéchelles comme pistes d'amélioration. Pour la phénologie et caractérisation fonctionnelle des essences arborées : apport de la super-résolution, du deep learning et de l'hyperspectral (aéroporté et satellitaire) : projet CNES et ANR MONITREE. En ce qui concerne la détection et la caractérisation des friches urbaines : application de l'approche testée sur les ronces à d'autres espèces : super résolution, deep learning et méthode hyperspectrale

3. Occupation des sols et imperméabilisation

Cartographie avec données hyperspectrales, images Pléiades et images Sentinel-2 : comparaison de leurs performances de classification. Permet le suivi de l'évolution de l'occupation du sol, de l'albédo et de la désimperméabilisation.

Travaux sur l'apport de l'IA (Intelligence Artificielle) dans des méthodes de classification des surfaces imperméables (ANR Permépolis + thèse R. Thoreau) prise en compte des effets de pente de toit dans la classification

Travaux sur le pansharpening : fusion de données très haute résolution spatiale (panchromatique) et de données à très haute résolution spectrale (images hyperspectrales) pour combiner la richesse d'information des deux : travaux de thèse de Y. Constans et nouvelle thèse débutée en 2023.

4. Îlot de chaleur urbain

L'estimation de la température de surface (LST = Land Surface Temperature) en milieux urbanisés est complexe dû à l'hétérogénéité à plusieurs niveaux. Les limitations sont dues notamment à : la résolution spatiale et temporelle insuffisante à l'heure actuelle des capteurs thermiques satellitaires, la diversité des matériaux (en termes de type, de signature spectrale = émissivité), la taille des objets (pixels mélangés), la géométrie complexe de la structure 3D provoquant des effets de cavité et des effets directionnels dans la mesure.

Les travaux suivants rentrent principalement dans le cadre de la future mission spatiale TRISHNA, prévue en 2026 et dont l'ONERA est membre du groupe mission urbain :

Estimation de la température de surface à partir de simulations des données de ce capteur à partir de données aéroportées sur la ville de Madrid et implémentation de deux algorithmes d'estimation de la température de surface. Néanmoins les effets de cavité et les matériaux peu émissifs sont des sources d'erreur. Amélioration notamment de l'algorithme de séparation température de surface/émissivité en prenant en compte une classification des sols et en considérant les matériaux artificiels séparément des matériaux naturels. L'impact de la structure 3D et des effets directionnels est aussi en cours d'étude.

Dû à la taille des objets urbains d'environ 10 mètres en moyenne, des méthodes de désagrégation / super-résolution sont nécessaires. Travaux de comparaison de différentes méthodes combinées à différents indices spectraux issus de données simulées TRISHNA en fusionnant donc des données réfléchives et thermiques : sept méthodes et 14 indices différents ont été comparées permettant un RMSE sur la température de surface d'environ 2 K (degrés Kelvin) pour une amélioration de la résolution spatiale d'un facteur 3 (de 60 m à 20 m). Application des méthodes d'estimation et de désagrégation dans le projet à visée opérationnelle THERMOCITY porté par le CNES/Lab'OT avec Météo-France et le CSTB et l'implication de 4 métropoles françaises (Strasbourg, Aix-Marseille, Montpellier et Toulouse plus travail sur Paris) ; Ce projet a permis une meilleure compréhension de l'usage de la donnée thermique satellitaire en ville et une mise en place de produits dérivés de la LST comme les indices de vulnérabilité, les îlots de chaleurs urbains de surface, les anomalies thermiques, le lien LST/végétation et une sensibilisation à la différence température de l'air / température de surface.

Dans le cadre de l'ANR DIAMS en cours, des travaux sont menés pour intégrer la donnée LST dans un modèle microclimatique développé par le CEREMA (collaboration CEREMA de Nantes) pour obtenir une distribution des températures de l'air à l'échelle du quartier pour arriver à estimer le confort thermique, suivre l'effet d'îlot de chaleur urbain et faire de la prévision de risque.

Campagne aéroportée et terrain AI4GEO/CAMCATT en juin 2021 : acquisitions d'images hyperspectrales dans le domaine VNIR-SWIR sur Toulouse et d'images thermiques ainsi que d'un nuage de points lidar/ Mesures terrain comprenant : radiosondages, réflectances et émissivités de surfaces, températures de l'air mesurées lors de transects mobiles. Instrumentation de bâtiments à l'ISAE pour étudier échanges thermiques entre les surfaces urbaines pour la validation des modèles microclimatiques. Les données sont disponibles en open-access sur le serveur SEDOO de l'OMP.

Enjeux majeurs pour cette thématique :

Amélioration des méthodes d'estimation de la LST et LSE (Land Surface Emissivity) : prise en compte des matériaux peu émissifs, des effets directionnels et de la structure 3D dans les estimations, validation et estimation de l'incertitude liée aux approximations.

Amélioration de la résolution spatiale/temporelle : travaux poursuivis en super résolution avec de l'IA = collaboration avec l'IMT Atlantique à Brest et APR CNES 2023-2024 sur le sujet + commencement d'une thèse ONERA/CNES/IRAP en 2023. Pour l'estimation de la température de l'air : à partir de données IRT en s'appuyant sur des modèles microclimatiques = ANR DIAMS en cours

Rappel sur les moyens à disposition à l'ONERA pour l'observation des milieux urbanisés (slides 31, 32 et 33) : bases de données issues de différents projets avec différentes collaborations. Instruments en laboratoire et instruments pour les mesures terrain et moyens aéroportés : différentes caméras pour drones et avions
 Panorama des collaborations (académique, pôles de transfert de connaissances, entreprises), des guichets de financement pour les projets de recherche, des enseignements et des implications dans des comités scientifiques ou groupes missions : slide 34 de la présentation (code couleur : rouge = collaborations avec les entreprises, bleu = collaboration avec d'autres laboratoires, vert = guichets de financement pour les projets, violet = participation à des formations universitaires, noir = implications dans des comités scientifiques).

