

**PROPOSITION DE SUJET DE THESE**

**Intitulé : Amélioration de la résolution spatiale d'indices de confort en milieu urbain par hybridation de données thermiques, optiques et 3D**

Référence : **PHY-DOTA-2023-19**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse** : Octobre 2023

**Date limite de candidature** : 01/03/2023

**Mots clés :**

Télé-détection, désagrégation, îlot de chaleur, multimodal, milieux urbains, TRISHNA, CO3D, vulnérabilité

**Profil et compétences recherchées :**

Master 2 ou diplôme d'ingénieur-e

Télé-détection, traitement du signal, machine learning, géostatistiques, programmation Python

**Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :**

Avec le réchauffement climatique, les vagues de chaleur sont attendues pour être plus fréquentes et plus intenses, à l'image des mois de juin et juillet 2022 [Insee, 2022]. Dans les villes, ces événements sont amplifiés par l'effet d'îlot de Chaleur Urbain (ICU), entraînant des risques de mortalité, de dégradation de la qualité de l'air et de l'eau ou encore une augmentation de la consommation d'énergie. Il est donc nécessaire de fournir un suivi d'indicateurs caractérisant l'impact de l'ICU pour proposer des stratégies d'adaptation des villes. La télé-détection satellitaire optique réflective et thermique permet de dériver des informations telles que l'occupation du sol, l'albédo, la structure 3D (hauteur, densité du bâti), la fraction de végétation ou encore la température de surface (LST, Land Surface Temperature) qui interviennent dans la génération d'indicateurs de confort et de vulnérabilité [Hulley et al. 2019]. Au sein du projet THERMOCITY dans le cadre du Space Climate Observatory, différents indicateurs ont été générés à partir de données dérivées de Pléiades et Sentinel-2 ainsi que des données thermiques acquises par l'instrument multispectral ASTER sur la plateforme spatiale Terra (NASA) et de la caméra multispectrale ECOSTRESS à bord de la station spatiale internationale (ISS) [Lonjou et al. 2022, Michel et al. 2022]. De plus, la mission TRISHNA, fruit d'une collaboration entre le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) et l'ISRO (Indian Space Research Organization) et dont le lancement est prévu en 2025, fournira des données dans l'IRT (InfraRouge Thermique) avec une combinaison de résolution spatiale et revisite inédite (57m nadir et 2-3 jours [Lagouarde et al. 2019]).

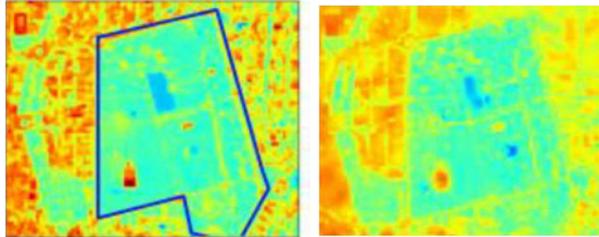
Néanmoins, les objets urbains ayant une taille d'environ 10 m, il est primordial d'améliorer la résolution spatiale des cartes de LST pour construire des indicateurs utiles aux gestionnaires de territoires à l'échelle du bâti ou du quartier. Dans ce but, des méthodes de désagrégation statistiques ont été appliquées sur des données simulées TRISHNA et des données réelles ASTER pour améliorer leur résolution d'un facteur 3 [Granero-Belinchon, 2019ab, Michel et al. 2022] en se basant sur une relation empirique linéaire entre un indice estimé dans le VNIR (Visible and Near InfraRed) et la LST. Mais des limitations persistent : 1/ l'apport d'images VNIR à 10 m de résolution spatiale n'a pas été évaluée, 2/ les traitements ont été appliqués en supposant que les images VNIR et IRT sont enregistrées et acquises au même moment, 3/ les méthodes de désagrégation reposent sur l'utilisation d'indices spectraux ne prenant pas en compte la structure 3D de la ville, 4/ les méthodes actuelles de désagrégation introduisent un flou sur des zones très rugueuses comme les milieux urbains.

L'objectif de cette thèse est donc de développer une méthode de désagrégation en fusionnant des données optiques, 3D et thermiques pour proposer des indicateurs de confort et de vulnérabilité à fine échelle.

Le travail est organisé en plusieurs étapes.

Tout d'abord, une mise à jour de l'état de l'art sera réalisée afin d'inventorier les paramètres morphologiques et physiques les plus pertinents pour expliquer la variabilité spatiale de la LST à différentes échelles spatiales. Une analyse statistique sera alors menée à partir d'images thermiques et réflectives acquises quasi simultanément sur différentes villes et différents tissus urbains pour relier les données optiques et 3D à la LST. Le ou la candidat-e s'appuiera sur différents jeux de données aéroportées disponibles qui seront utilisés pour synthétiser des images TRISHNA en haut de l'atmosphère : campagne AI4GEO (Toulouse, images multispectrales thermiques, images hyperspectrales réflectives et modèle numérique de surface), campagnes d'acquisitions JPL (villes nord-américaines, images hyperspectrales thermiques HyTES, images hyperspectrales réflectives AVIRIS).

A l'issue de cette étape, une nouvelle méthode de désagrégation sera proposée et comparée en s'appuyant sur les travaux précédents effectués à l'ONERA [Granero-Belinchon et al., 2019]. Elle sera appliquée également sur des données ASTER et ECOSTRESS. Les images dans le domaine réflectif seront issues des capteurs actuellement en opération : Pléiades, Pléiades-NEO, Sentinel-2 et CO3D (lancée en 2024). Un bilan de performances sera réalisé ainsi qu'une évaluation du coût de calcul. Le résultat escompté est une carte de température de surface à haute résolution spatiale.



*Désagrégation de données simulées TRISHNA de 60m à 20m et illustration des artefacts de flous (gauche : référence, droite : LST désagrégée).*

Dans une troisième étape, à partir des cartes de température de surface et de cartes de paramètres liés à la géométries (angle de vue du ciel, hauteur de bâtiment, carte d'ombre...), des indicateurs géo-spatialisés à destination des décideurs et aménageurs seront développés, en combinant ces cartes avec des données socio-économiques. Une première famille d'indicateurs concerne la vulnérabilité à la chaleur. Par exemple, la vulnérabilité de jour pourra être calculée par hybridation de LST, caractéristiques de la population et cartes d'ombres. Ces dernières sont des produits dérivés du 3D et de l'occupation du sol (végétation haute) à très haute résolution. Des indicateurs d'adaptabilité seront aussi envisagés afin de répondre à la capacité d'adaptation d'une ville, identifier les zones vulnérables et les aménagements appropriés pour mieux appréhender les effets d'une politique d'adaptation dans la réduction de la vulnérabilité.

Ces travaux se feront en étroite collaboration entre le LabOT (Laboratoire d'Observation de la Terre) du CNES, l'ONERA-DOTA et l'IRAP/SISU avec une participation du LISST/CIEU (Université Jean Jaurès) pour l'analyse géographique des résultats.

Ces travaux permettront de définir des méthodologies adaptées à la future mission TRISHNA et des outils pour fournir des produits thermiques et indicateurs dérivés qui pourront être implémentés dans les documents d'urbanisme.

#### **Bibliographie succincte :**

Granero-Belinchon, C.; Michel, A.; Lagouarde, J.-P.; Sobrino, J.A.; Briottet, X. Multi-Resolution Study of Thermal Unmixing Techniques over Madrid Urban Area: Case Study of TRISHNA Mission. *Remote Sens.* 2019, 11, 1251.

Granero-Belinchon, C.; Michel, A.; Lagouarde, J.-P.; Sobrino, J.A.; Briottet, X. Night Thermal Unmixing for the Study of Microscale Surface Urban Heat Islands with TRISHNA-Like Data. *Remote Sens.* 2019, 11, 1449.

Lagouarde, J.-P., Bhattacharya, B. K., Crébassol, P., Gamet, P., Adlakha, D., Murthy, C. S., Singh, S. K., Mishra, M., Nigam, R., Raju, P. V., Babu, S. S., Shukla, M. V., Pandya, M. R., Boulet, G., Briottet, X., Dadou, I., Dedieu, G., Gouhier, M., Hagolle, O., Irvine, M., Jacob, F., Kumar, K. K., Laignel, B., Maisongrande, P., Mallick, K., Olioso, A., Ottlé, C., Roujean, J.-L., Sobrino, J., Ramakrishnan, R., Sekhar, M., and Sarkar, S. S.: INDO-FRENCH HIGH-RESOLUTION THERMAL INFRARED SPACE MISSION FOR EARTH NATURAL RESOURCES ASSESSMENT AND MONITORING – CONCEPT AND DEFINITION OF TRISHNA, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-3/W6, 403–407, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W6-403-2019>, 2019.

Lonjou Vincent, Bergsma Erwin, Michel Aurélie, Roupioz Laure, Briottet Xavier, Sabre Maeva and Goret Marine, THERMOCITY: urban thermography from space TRISHNA DAYS 2022, 22-24 March 2022, Toulouse, France

Michel Aurélie, Lonjou Vincent, Bergsma Erwin, Gide- Damien, Leturgie Quentin, Roupioz Laure, Briottet Xavier, Sabre Maeva and Goret Marine. THERMOCITY : satellite thermal imagery for urban planning. RAQRS VI, 19-23 September 2022, Valencia, Spain.

Hulley, G.; Shivers, S.; Wetherley, E.; Cudd, R. New ECOSTRESS and MODIS Land Surface Temperature Data Reveal Fine-Scale Heat Vulnerability in Cities: A Case Study for Los Angeles County, California. *Remote Sens.* 2019, 11, 2136.

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/6522912>, consulté le 17/09/2022

#### **Collaborations envisagées**

CNES/LabOT, Toulouse

LISST/CIEU Université Toulouse Jean Jaurès, Toulouse

**Laboratoire d'accueil à l'ONERA**

Département : Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

**Contact** : Aurélie Michel

Tél. : 0561652608

Email : [aurelie.michel@onera.fr](mailto:aurelie.michel@onera.fr)

**Directeur/Directrice de thèse**

Nom : Hervé Carfantan

Laboratoire :

Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie, Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse

Tél. : 0561332866

Email : [Herve.Carfantan@irap.omp.eu](mailto:Herve.Carfantan@irap.omp.eu)

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>