

## Analyse multitemporelle des températures urbaines sur la ville de Madrid : automatisation de la chaîne de traitement et vérification d'hypothèses pour le démélange des températures de surface dans le cadre de la préparation de la future mission TRISHNA

Les villes concentrent 54% de la population mondiale et les estimations prévoient une hausse de la densité de la population urbaine à 66 % pour 2050 [1]. Qui plus est, une étude récente prévoit dans un de ses scénarios critiques une hausse des températures dans les villes de 7°C d'ici la fin du siècle [7]. Cette hausse de température est non seulement liée au réchauffement climatique mais est surtout accentuée dans les villes par la présence de ce que l'on appelle l'effet d'Ilot de Chaleur Urbain (ICU), qui est défini comme la différence de température de l'air entre la zone urbaine et la zone rurale environnante. En effet, les spécificités du climat urbain sont dues à de nombreux facteurs : structure 3D et très hétérogène (présence de hauts bâtiments, quartiers résidentiels ou industriels, parcs ...), large abondance de matériaux imperméables à forte inertie thermique, réduction des surfaces végétalisées, trafic routier, dispositifs de chauffage et de climatisation ... [17, 24, 6]. En termes de conséquences, cette haute variabilité climatique au sein de la ville et ces températures urbaines élevées entraînent notamment une hausse de la pollution atmosphérique, une variation du climat à l'échelle régionale et des enjeux de santé publique (troubles du sommeil, mortalité) [10, 8, 5, 3]. Une étude parue en 2017 stipule que 30% de la population mondiale est actuellement exposée au risque de mortalité lié aux vagues de chaleur et présente une hausse de ce risque de 48 % à 74% d'ici 2100, avec une exposition au risque plus importante dans les zones urbaines [16].

En télédétection, on parle plutôt d'Ilot de Chaleur Urbain de Surface (ICUS) car ce n'est pas la température de l'air qui est mesurée mais la température de surface (LST pour *Land Surface Temperature*). Ce paramètre clé dans l'étude des ICUS est indirectement mesurable par télédétection optique aéroportée et/ou satellite à travers des mesures de luminances dans le domaine spectral de l'infrarouge thermique (LWIR pour *Long Wave InfraRed* [8-14] $\mu\text{m}$ ) [23, 25]. Des études montrent la contribution de la télédétection pour caractériser les ICUSs et les algorithmes appropriés pour effectuer la correction atmosphérique et estimer la LST tels que le *Split-Window* et le *TES* (*Temperature Emissivity Separation*) [22, 25, 11].

TRISHNA est une future mission multispectrale spatiale franco-indienne (collaboration CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*) ISRO (*Indian Space Research Organization*)) qui aura notamment comme objectif la détection et le suivi des ICUSs. Sa résolution spatiale sera de l'ordre de 50 m en infrarouge thermique avec trois ou quatre bandes spectrales et sa période de revisite de 1 à 3 jours [9].

Le projet CATUT initié en 2016 (*Cartographie des Températures Urbaines avec TRISHNA*) a déjà permis d'évaluer la précision des méthodes *Split-Window* et *TES* pour estimer la température de surface selon la résolution spatiale et la configuration instrumentale [2, 15]. À partir de mesures aéroportées issues du capteur *AHS* (*Airborne Hyperspectral Scanner*) durant la campagne DESIREX [21] sur la ville de Madrid en journée et durant la nuit (1er juillet 2008), des données multispectrales satellites TRISHNA ont été simulées à 60m et à 4m. Les produits de LSTs et d'émissivité ont été comparés avec des mesures terrain et aéroportées déjà traitées pour la caractérisation de l'ICUS de Madrid [4].

Néanmoins, les objets urbains font en moyenne entre une dizaine et une vingtaine de mètres de large [19] et une résolution spatiale d'au plus 50m est nécessaire pour retirer des informations pertinentes à l'échelle du quartier sur la ville de Madrid [20]. Cette considération implique l'utilisation de méthodes pour retrouver plusieurs températures et matériaux ainsi que leur proportion (abondance) au sein d'un même pixel (températures et émissivités subpixelliques) : c'est ce que l'on appelle des méthodes de démélange thermique. En particulier, au LSCE, Mechri et al, 2014, 2016 ont développé une méthode basée sur un lisseur particulière : *GPS* pour *Genetic Particle Smoother* [18, 13, 14]. Cette méthode a été testée sur des données Meteosat8 de résolution spatiale d'environ 3 kilomètres avec l'utilisation d'un modèle dynamique (SETHYS) pour contraindre le changement d'échelle. Pour adapter cette méthode à nos données, le modèle *TEB* (*Town Energy Balance*) est disponible ([12]), mais une hypothèse majeure doit être vérifiée : la variance interclasses de la température de surface au sein du pixel est expliquée par les différences d'occupation des sols (en d'autres termes, la variance intraclasses est beaucoup plus faible que la variance interclasses). Bien que cette hypothèse soit admise pour les matériaux naturels, elle

reste à évaluer sur les données DESIREX pour les matériaux urbains dans la ville de Madrid.

Par conséquent, l'objectif de ce stage est de vérifier que l'hétérogénéité d'un pixel de 4m et/ou de 60m est essentiellement due à la variabilité des matériaux. Pour cela nous procéderons en deux étapes : dans un premier temps, toutes les images acquises sur la ville de Madrid doivent être traitées : géoréférencement, calcul de la luminance au niveau satellite, aggrégation spatiale et application du *TES* et du *Split-Window*. Ces outils existent déjà mais mériteraient d'être automatisés afin de ne fournir qu'une image en luminance en entrée et obtenir une carte de température de surface en sortie. Dans un second temps, une fois les cartes de température de surface générées à 4m et 60m et avec l'aide de la carte de classification des matériaux DESIREX, une analyse doit être effectuée afin d'évaluer la variabilité spatiotemporelle des températures de surface et analyser la relation avec l'occupation des sols selon la résolution spatiale. Si cette hypothèse est vérifiée, il sera possible de mettre en place une analyse de sensibilité sur un modèle dynamique spécifique aux zones urbaines tels que *TEB* et de tester la méthode GPS (hors cadre du stage).

Le stage se fera à l'ONERA de Toulouse, dans le département DOTA (Département Optique Théorique Appliquée) au sein de l'équipe POS (Propriétés Optiques des Scènes) en collaboration avec l'INRA-ISPA de Bordeaux (Jean-Pierre Lagouarde) et le LSCE de Paris (Catherine Ottlé).

**Profil** : Etudiant-e en M2R (Master 2 Recherche) ou M2I (Master 2 Indifférencié) ou école d'ingénieur-es en traitement du signal (séparation aveugle de sources, estimation, classification, optimisation ...) et une solide maîtrise des langages de programmation (Python, Matlab, IDL...). Des connaissances en télédétection et transfert radiatif seront un plus appréciable.

**Contact** : Aurélie Michel : [aurelie.michel@onera.fr](mailto:aurelie.michel@onera.fr) , 05 61 33 25 02.

**Durée** : 4 à 6 mois

## Références

- [1] World urbanization prospects. Technical report, United Nations, 2014.
- [2] K. Adeline, A. Michel, X. Briottet, J. P. Lagouarde, and J.A. Sobrino. Challenges of the franco-indian multispectral thermal spatial mission for urban heat islands monitoring. RAQRS : Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, September 2017.
- [3] G Brucker. Populations vulnérables : les leçons de la canicule de l'été 2003 en europe. *Eurosurveillance*, 10(2), 7 2005.
- [4] Rosa Oltra Carrio. *Thermal Remote Sensing of Urban Areas. The case study of the Urban Heat Island of Madrid*. PhD thesis, Universitat de Valencia, 2013.
- [5] P. J. Crutzen. New Directions : The growing urban heat and pollution "island" effect impact on chemistry and climate. *Atmospheric Environment*, 38 :3539–3540, 2004.
- [6] Catherine Dubois. *Adapter les quartiers et les bâtiments au réchauffement climatique : une feuille de route pour accompagner les architectes et les designers urbains québécois*. PhD thesis, Universitat de Laval, 2014.
- [7] Francisco Estrada, W. J. Wouter Botzen, and Richard S.J. Tol. A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7(6) :403–406, 6 2017.
- [8] Huff. Urban, topographic and diurnal effects on rainfall in the st. louis region. *Journal of Applied Meteorology*, 17(5) :565–577, 1978.
- [9] J. P. Lagouarde, B. K. Bhattacharya, S. S. Sarkar, B. Boissin, P. Crebassol, and P. Gamet. Trishna : A new high resolution thermal infrared indo-french mission concept. September 2017.
- [10] Landsberg. Concerning possible effects of air pollution on climate. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 57(2) :213–218, 1976.
- [11] Zhao-Liang Li, Bo-Hui Tang, Hua Wu, Huazhong Ren, Guangjian Yan, Zhengming Wan, Isabel F. Trigo, and José A. Sobrino. Satellite-derived land surface temperature : Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131(Supplement C) :14 – 37, 2013.

- [12] Valéry Masson. A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Boundary-Layer Meteorology*, 94(3) :357–397, Mar 2000.
- [13] Rihab Mechri, Catherine Ottlé, Olivier Pannekoucke, and Abdelaziz Kallel. Genetic particle filter application to land surface temperature downscaling. *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, 119(5) :2131–2146, 2014.
- [14] Rihab Mechri, Catherine Ottlé, Olivier Pannekoucke, Abdelaziz Kallel, Fabienne Maignan, Dominique Courault, and Isabel F. Trigo. Downscaling Meteosat Land Surface Temperature over a Heterogeneous Landscape Using a Data Assimilation Approach. *Remote Sensing*, 8(7), July 2016.
- [15] A. Michel, K. Adeline, X. Briottet, J.A. Sobrino, L.Poutier, V. Achard, C. Ottlé, T. corpetti, and J. Nabucet. Catut 2017 report, 2017.
- [16] C. Mora, B. Dousset, I. R. Caldwell, F. E. Powell, R. C. Geronimo, C. R. Bielecki, C. W. W. Counsell, B. S. Dietrich, E. T. Johnston, L. V. Louis, M. P. Lucas, M. M. McKenzie, A. G. Shea, H. Tseng, T. W. Giambelluca, L. R. Leon, E. Hawkins, and C. Trauernicht. Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, 7 :501–506, July 2017.
- [17] T. R. Oke. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455) :1–24, 1982.
- [18] S. Rémy, O. Pannekoucke, T. Bergot, and C. Baehr. Adaptation of a particle filtering method for data assimilation in a 1d numerical model used for fog forecasting. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 138(663) :536–551, 2012.
- [19] C. Small. Multiresolution analysis of urban reflectance. In *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas (Cat. No.01EX482)*, pages 15–19, 2001.
- [20] J.A. Sobrino, R. Oltra-Carrió, G. Sòria, R. Bianchi, and M. Paganini. Impact of spatial resolution and satellite overpass time on evaluation of the surface urban heat island effects. *Remote Sensing of Environment*, 117 :50 – 56, 2012. Remote Sensing of Urban Environments.
- [21] J.A. Sobrino, G. Sòria, R. Oltra-Carrió, J.C. Jiménez-Muñoz, M. Romaguera, J. Cuenca, V. Hidalgo, B. Franch, C. Mattar, Y. Julien, R. Bianchi, M. Paganini, J.F. Moreno, L. Alonso, A. Fernández-Renau, J.A. Gómez, E. de Miguel, O. Gutiérrez, M. Jiménez, E. Prado, R. Rodríguez-Cantano, I. Ruiz, F. Nerry, G. Najjar, P. Kastendeutch, M. Pujadas, F. Molero, A. Martilli, F. Salamanca, F. Fernández, E. Galán, R. Cañada, E. Hernández, J. Hidalgo, J.A. Acero, J.M. Romero, F. Moya, and L. Gimeno. Desirex 2008 final report, 3 2009.
- [22] José A. Sobrino, Juan C. Jiménez-Muñoz, Pablo J. Zarco-Tejada, Guadalupe Sepulcre-Cantó, and Eduardo de Miguel. Land surface temperature derived from airborne hyperspectral scanner thermal infrared data. *Remote Sensing of Environment*, 102(1â2) :99 – 115, 2006.
- [23] J.A Voogt and T.R Oke. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3) :370 – 384, 2003. Urban Remote Sensing.
- [24] James Voogt. *Urban Heat Islands*, volume 3, pages 660–666. John Wiley & Sons, 2000.
- [25] Qihao Weng. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies : Methods, applications, and trends. *{ISPRS} Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4) :335 – 344, 2009.