UNIVERSITE DE STRASBOURG

ECOLE DOCTORALE MATHEMATIQUES SCIENCES DE L'INFORMATION ET DE L'INGENIEUR

RESUME DE LA THESE DE DOCTORAT

Discipline : Signal, image, automatique, robotique et télédétection

Spécialité (facultative) : Télédétection

Présentée par : SI Menglin
(*Nom Prénom du candidat)*

Titre : Dynamique spatio-temporelle et facteurs déterminants des îlots de chaleur urbains à l'échelle globale

Unité de Recherche : UMR 7357, Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (ICube)

Directeur de Thèse : NERRY Françoise, Directeur de Recherche, CNRS

Localisation : ICube (UMR 7357), CNRS, UdS, 300 bd Sébastien Brant, CS10413, F-67412 Illkirch Cedex, France

Thèse confidentielle : ☒ NON ☐ OUI

Depuis le début du XXIe siècle, l'urbanisation rapide a exercé une pression considérable sur l'environnement urbain. La population urbaine ne cesse d'augmenter et devrait passer de 50 % actuellement à 70 % d'ici 2050. L'expansion urbaine et les activités anthropiques qui lui sont associées influencent les propriétés de surface des sols et les conditions climatiques urbaines, perturbant ainsi le bilan énergétique de surface (Grimm et al., 2008). Dans le contexte de l'accélération de l'urbanisation et du réchauffement climatique, l'effet d'îlot de chaleur urbain (UHI) est devenu un problème environnemental thermique urbain qui a été largement pris en compte par les scientifiques et même par l'ensemble de la société. L'effet de l'UHI peut menacer le développement durable de l'humanité ; par conséquent, la caractérisation scientifique des modèles UHI mondiaux dans un cadre de recherche systématique est requise de toute urgence (Bai et al., 2018).

Avec le développement de la télédétection, de nombreuses études sur les modèles spatio-temporels, les mécanismes d'entraînement et les stratégies d'atténuation de surface de l'UHI (SUHI), allant de l'échelle locale et régionale à l'échelle mondiale, ont été rapportées sur la base de données satellitaires de température de surface terrestre (LST). Le phénomène SUHI dans les pays en développement ou développés d'Asie, d'Amérique du Nord et d'Europe a reçu plus le plus d'attention, tandis que celui des pays sous-développés d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Océanie a rarement été étudié (Zhou et al., 2019). En outre, la plupart des études de SUHI se sont concentrées sur une seule ville ou sur des villes représentatives et des grappes urbaines à l'échelle nationale ou régionale, tandis que les quelques recherches mondiales sur le SUHI à long terme n'ont généralement pas analysé complètement l'évolution à long terme des changements d'utilisation des sols (Chakraborty et Lee, 2019). Pour mieux comprendre la dynamique globale du SUHI, il est nécessaire d'approfondir les enquêtes sur le changement d'utilisation des sols à l'aide de données satellitaires et d'une période de temps plus étendue. En outre, l'analyse de corrélation et la régression par les moindres carrés ordinaires sont les méthodes analytiques les plus couramment utilisées pour révéler les facteurs moteurs cruciaux du SUHI. Néanmoins, les mécanismes moteurs du SUHI global sont susceptibles de varier dans l'espace, ce qui est difficilement détecté par les modèles statistiques traditionnels. La non-stationnarité spatiale des mécanismes moteurs doit être davantage mise en évidence grâce aux progrès de la technologie des statistiques spatiales. Généralement, l'intensité du SUHI (SUHII) est quantifiée par la différence de LST dans les zones urbaines et rurales, dans lesquelles le type de terrain rural est déterminant pour le résultat de la quantification. L'effet de l'arrière-plan rural avec divers types de sols sur la méthode de différence urbaine-rurale pour révéler le modèle spatial et temporel du SUHII régional est incertain.

Bien qu'un grand nombre d'études se soient concentrées sur le phénomène SUHI à de multiples échelles temporelles et spatiales dans le monde, la recherche systématique sur le SUHI global fait défaut. De plus, la quantification du SUHII a généralement ignoré le changement dynamique de l'utilisation des sols et doit être unifiée. De plus, comme le climat urbain et le processus d'urbanisation ont un impact significatif sur le mécanisme de fonctionnement du SUHI, leur non-stationnarité spatiale n'a pas encore été pleinement explorée. Enfin, pour soutenir les études SUHI à grande échelle, l'effet des multiples types de sols ruraux sur la quantification de SUHII doit être vérifié. Compte tenu de ces problèmes, les objectifs de cette thèse sont les suivants :

(1) Premièrement, une base de données SUHII à l'échelle globale et à long terme est construite pour analyser sa distribution spatiale et sa dynamique temporelle à différentes échelles.

(2) Deuxièmement, les facteurs déterminants potentiels sont utilisés pour analyser le mécanisme du SUHII global. Parallèlement, le modèle statistique spatial multi-échelle est adopté pour analyser quantitativement la non-stationnarité spatio-temporelle des facteurs multiples.

(3) Enfin, les indices permettant de quantifier le SUHI avec différents types d'utilisation des sols ruraux doivent être construits pour vérifier la faisabilité de la méthode de la différence de température urbaine-rurale dans les études régionales du SUHI.

Pour atteindre les objectifs de recherche, le contenu principal de cette thèse est organisé en six chapitres comme suit.

Le premier chapitre donne une brève introduction sur le contexte, les objectifs généraux de la recherche et les objectifs de cette thèse.

Le chapitre deux présente les informations sur la zone d'étude et les principales sources de données. Tout d'abord, les principes de la détermination de la zone d'étude, ainsi que le modèle spatial et la taille de la population des villes cibles sont présentés. Ensuite, les données de télédétection, météorologiques, démographiques, etc., utilisées dans cette étude sont décrites en détail.

Dans le troisième chapitre, la portée annuelle urbaine et rurale des agglomérations urbaines mondiales a été identifiée sur la base de l'algorithme de regroupement des villes à l'aide de la plateforme informatique Google Earth Engine (GEE). Les modèles spatiaux et temporels du SUHII mondial de 2003 à 2019 sont présentés à des échelles annuelles, estivales, hivernales et mensuelles. Ensuite, les effets régionaux de SUHII sont montrés en fonction des zones latitudinales et climatiques. Enfin, les tendances interannuelles du SUHII global ont été révélées à différentes échelles temporelles. Les résultats ont montré que le SUHII diurne et nocturne annuel global est de 0,97 °C et 0,94 °C, respectivement ; le SUHI global a une variabilité latitudinale, des différences climatiques et des variations saisonnières significatives ; le SUHII diurne annuel et estival a une tendance significative à l'augmentation au cours des années 2003 et 2019 avec un taux de changement de 0,05 °C/décennie et 0,11 °C/décennie, respectivement. Le SUHII diurne d'hiver a une tendance à la baisse avec une pente de -0,03 ℃/décennie alors que la nuit, seul le SUHII d'été a une tendance significative à l'augmentation avec une pente discrète de 0,02 ° C/décennie.

Dans le chapitre quatre, sur la base de l'équation du bilan énergétique de surface, l'indice de végétation de surface, l'albédo de surface, les précipitations, la vitesse du vent, la densité de population et la taille des villes ont été sélectionnés comme facteurs potentiels pouvant affecter le SUHII aux échelles de moyenne annuelle, de moyenne estivale et de moyenne hivernale et diurne. La contribution de plusieurs facteurs a été étudiée de l'échelle globale à l'échelle régionale. Les résultats montrent que la différence d'indice de végétation de surface entre les zones urbaines et rurales est négativement corrélée avec le SUHII diurne ; la différence d'albédo du ciel blanc entre les zones urbaines et rurales est positivement corrélée avec le SUHII diurne et négativement

corrélée avec le SUHII nocturne ; les précipitations moyennes sont positivement corrélées avec le SUHII diurne et négativement corrélées avec le SUHII nocturne ; la vitesse moyenne du vent a principalement une contribution négative au SUHII, et la corrélation positive entre la densité de population et la taille de la zone urbaine et le SUHII est plus significative la nuit. La corrélation positive entre la densité de population, la taille de la zone urbaine et l'indice SUHII est plus importante la nuit. Sur la base du modèle de régression multi-échelle géographiquement pondéré, la non-stationnarité spatiale de ces facteurs sur l'indice SUHII a été étudiée.

Dans le chapitre cinq, 34 grandes villes de Chine ont été sélectionnées pour analyser les changements de leur forme urbaine et de leur échelle entre 2003 et 2019. Les résultats montrent que la plupart des villes ont une tendance significative à l'expansion urbaine. Ils confirment la nécessité de définir l'étendue dynamique urbaine-rurale dans la quantification du SUHI. Par la suite, le SUHII a été quantifié pour différents types d'utilisation des terres rurales afin de vérifier la faisabilité de la méthode de la différence de température urbaine-rurale. Enfin, l'analyse multi-échelle du SUHII dans les sous-régions de la Chine révèle que le SUHII quantifié avec l'ensemble du type d'utilisation des terres rurales n'est pas affectée par la diversité de l'utilisation des terres lors de l'exploration des modèles temporels et spatiaux régionaux.

Le chapitre six présente les conclusions et les prospectives de la thèse. Sur la base de la plateforme de « cloud computing » GEE, un ensemble de données SUHII mondiales à long terme a été construit pour enrichir le système mondial de recherche sur les îlots de chaleur urbains. Avec cela, les facteurs moteurs de l'îlot de chaleur urbain global ont été explorés à différentes échelles spatiales et temporelles pour découvrir la non-stationnarité spatiale de ses facteurs moteurs. En outre, la faisabilité de la méthode traditionnelle de différence de température entre les zones urbaines et rurales dans la quantification de l'îlot de chaleur urbain a été vérifiée. Pour les travaux futurs, l'effet de l'absence de données en conditions nuageuses sur la cohérence à long terme des SUHII annuels ou saisonniers devrait être spécifiquement étudié. Pour garantir l'exactitude des données, une résolution spatiale et temporelle adéquate des produits LST dans l'étude de la SUHI est également un des points clés sur lesquels il faut se concentrer. Les mécanismes d'entraînement de la SUHI globale à plusieurs échelles doivent être étudiés plus en détail sur la base du bilan énergétique de surface.

Références

Bai, X., Dawson, R. J., Ürge-Vorsatz, D., Delgado, G. C., Salisu Barau, A., Dhakal, S., Dodman, D., Leonardsen, L., Masson-Delmotte, V., Roberts, D. C., and Schultz, S., 2018. Six research priorities for cities and climate change. Nature. 555, 23-25.

Chakraborty, T. and Lee, X., 2019. A simplified urban-extent algorithm to characterize surface urban heat islands on a global scale and examine vegetation control on their spatiotemporal variability. Int J Appl Earth Obs. 74, 269-280.

Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J. G., Bai, X. M., and Briggs, J. M., 2008. Global change and the ecology of cities. Science. 319, 756-760.

Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., Frolking, S., Yao, R., Qiao, Z., and Sobrino, J. A., 2019. Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. Remote Sens. 11, 1-36.

TRAVAUX PUBLIES

Articles publiés et en cours:

M. Si, Z.-L. Li, F. Nerry, B.-H. Tang, P. Leng, H. Wu, X. Zhang, G. Shang (2021). "Spatiotemporal dynamics and associated driving factors for long-term global surface urban heat islands observed by MODIS data," soumis à ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing

M. Si, B.-H. Tang, Z.-L. Li, F. Nerry, X. Zhang, and G. Shang (2021). "An artificial neuron network with parameterization scheme for estimating net surface shortwave radiation from satellite data under clear sky--Application to simulated GF-5 data set," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 59(5): 4262-4272.

Z.-L. Li, M. Si, P. Leng (2020). "A review of remotely sensed surface urban heat islands from the fresh perspective of comparisons among different regions (Invited Review),", Progress In Electromagnetics Research C, 102: 31-46.

Proceedings:

M. Si, B.-H. Tang, R. Tang, H. Wu, Z.-L. Li, and G. Shang. "Estimation of net surface shortwave radiation from simulated Chinese Gaofen-5 satellite data," 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2019: 1978-1981.

M. Si, B.-H. Tang, Z.-L. Li. "Estimation of land surface temperature from unmanned aerial vehicle loaded thermal imager data," 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2018: 1210-1213.