



## Offre de thèse

**Sujet:** Analyser et prédire les phénomènes de surchauffe sur les territoires dans un contexte de changement climatique.

**Doctorant en** Sciences des données / Sciences de l'Information Géographique

**Laboratoire** Groupe SIG, Equipe DECIDE, Lab-STICC, Vannes

**Encadrement** Erwan Bocher, Baptiste Alglave, Jérémy Bernard

**Lieu** 8 Rue Michel de Montaigne, 56000 Vannes

## Résumé de la thèse

Les territoires, notamment urbains, sont de plus en plus exposés au phénomène de surchauffe avec pour conséquence des impacts sur la population, la faune, la flore et les infrastructures. Aussi, la capacité à comprendre et à anticiper ces processus est un enjeu majeur en vue d'adapter les territoires, les pratiques et d'anticiper les risques. Cette thèse a pour but de développer des outils de modélisation statistique génériques afin d'analyser et de prédire les phénomènes de surchauffe pour l'essentiel en milieu urbain.

Le projet de thèse s'organisera autour de 3 axes de recherche non exclusifs. Le premier axe cherchera à quantifier l'effet des différents déterminants d'un épisode de surchauffe afin d'être capable de prédire des phénomènes comme les îlots de chaleur urbains ou encore le stress thermique en journée. Le deuxième axe permettra d'identifier des profils de villes plus ou moins sensibles aux surchauffes en fonction de la structure de leur tissu urbain, de l'organisation et de la composition de leur géographie. Le dernier axe visera à construire des outils de projection court-terme qui pourront être utilisés à des fins d'aide à la décision ou pour élaborer des scénarios d'aménagements (e.g. désimperméabilisation des sols, projet de végétalisation).

## Description de la thèse

Les **territoires**, notamment **urbains**, sont de plus en plus exposés au **changement climatique**. Selon les travaux de [Oke, 1982] et les rapports du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Pachauri *et al.*, 2014], les températures dans les zones urbaines ont tendance à augmenter plus rapidement que la moyenne mondiale, avec des projections indiquant une intensification de ce phénomène au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.

L'urbanisation croissante et l'imperméabilisation des sols au détriment des espaces naturels contribuent fortement à la surchauffe des territoires. L'apparition de phénomènes comme les **îlots de chaleur urbains** (ICU - [Arnfield, 2003]) ou les périodes prolongées de stress thermique en sont des conséquences. Ces phénomènes ont des effets documentés sur les populations [Huang *et al.*, 2023, Kjellstrom *et al.*, 2016] et sur les écosystèmes [De Boeck *et al.*, 2010, Breshears *et al.*, 2021]. Aussi, la capacité à comprendre et à anticiper **les phénomènes de surchauffe** est un enjeu majeur afin de proposer des réponses aux acteurs territoriaux et de fournir des indicateurs pour permettre l'adaptation des territoires.

Les **systèmes d'informations géographiques (SIG)** permettent de stocker et d'accéder à des données nombreuses et variées pour cartographier les territoires, potentiellement à l'échelle du globe. C'est le cas de la base de données collaborative OpenStreetMap [Vargas-Munoz *et al.*, 2020]. Ces outils sont déjà utilisés de façon opérationnelle pour réaliser des diagnostics et orienter l'aménagement des territoires [Yeh, 1999, Tao, 2013]. Ils offrent la possibilité de couvrir l'ensemble des villes du globe et ainsi d'avoir **une approche à la fois quantitative et globale des phénomènes de surchauffe**.

Depuis quelques années, des outils basés sur des composants **SIG** ont été développés afin de décrire et de documenter les territoires **dans une perspective d'étude du micro-climat urbain**. L'outil GeoClimate [Bocher *et al.*, 2021] qui propose des indicateurs géoclimatiques pour alimenter des modèles comme le modèle TEB ("Town Energy Balance" [Masson, 2000]) en est un exemple. Ces outils se basent notamment sur le concept de **zone climatique locale (ZCL)**. Ce sont des descripteurs topographiques du tissu urbain permettant d'établir une relation entre la morphologie d'un territoire (e.g. structure de l'occupation des sols, densités des artefacts géographiques) et sa réponse potentielle lors d'un épisode de surchauffe (voir figure 1).

Cette thèse propose de **développer des outils de modélisation statistique génériques afin d'analyser et de prédire les phénomènes de surchauffe** pour l'essentiel en milieu urbain.

Ces méthodes chercheront à quantifier l'effet des déterminants à l'origine des surchauffes et à identifier des facteurs permettant de distinguer les territoires entre eux. A terme, nous développerons des outils de projection simples et robustes pour évaluer des scénarios alternatifs d'aménagement du territoire visant à minimiser les conséquences des surchauffes comme l'apparition des ICU.

La thèse s'organisera autour de **3 axes de recherche** :

- > Un premier axe consistera à identifier **les déterminants de la surchauffe thermique**. Une littérature abondante existe sur le sujet et de nombreuses revues ont cherché à lister les facteurs et les leviers potentiels pour limiter le phénomène de surchauffe [Gago *et al.*, 2013, Nuruzzaman, 2015]. Par exemple, la configuration des villes et des bâtiments, le type de ZCL ou le type d'activités humaines sont des facteurs ayant un effet sur le phénomène d'ICU. En partant de données de tissus urbain disponibles grâce aux outils SIG (e.g. GeoClimate - link), le candidat cherchera à modéliser l'effet de ces déterminants sur le phénomène de surchauffe via des méthodes clas-

siques de modélisation statistique ou d'apprentissage (modèle linéaire généralisé, random forest, méthode d'apprentissage profond ). L'un des enjeux sera d'adapter la méthode utilisée à des données spatio-temporelles : elle devra donc prendre en compte les structures de covariance spatiale et temporelle présente dans les données.

- > Un deuxième axe s'intéressera à **identifier des profils de villes sensibles au phénomène de surchauffe**. Pour cela, l'analyse repartira des données utilisées dans l'axe précédent afin de distinguer des profils de ville suivant la structure de leur tissu urbain et leur sensibilité à la surchauffe. L'un des enjeux méthodologiques de cette partie consistera à prendre en compte dans la méthode de clustering les structures d'agrégation spatiale et de voisinage qui caractérisent le tissu urbain pour qu'elles informent les groupes de ville constitués par le clustering.
- > Le dernier axe permettra de développer un modèle de **projection court-terme** qui se basera sur le modèle développé dans le premier axe. L'outil de projection permettra de simuler des phénomènes d'ICU et d'évaluer l'effet de différentes stratégies d'aménagement sur les ICU. Les projections seront réalisées pour différentes villes pré-sélectionnées grâce aux deux axes précédents.

La thèse cherchera à partir de l'**échelon national** et étendra progressivement les analyses à l'échelon continental et à l'**échelon mondial**.

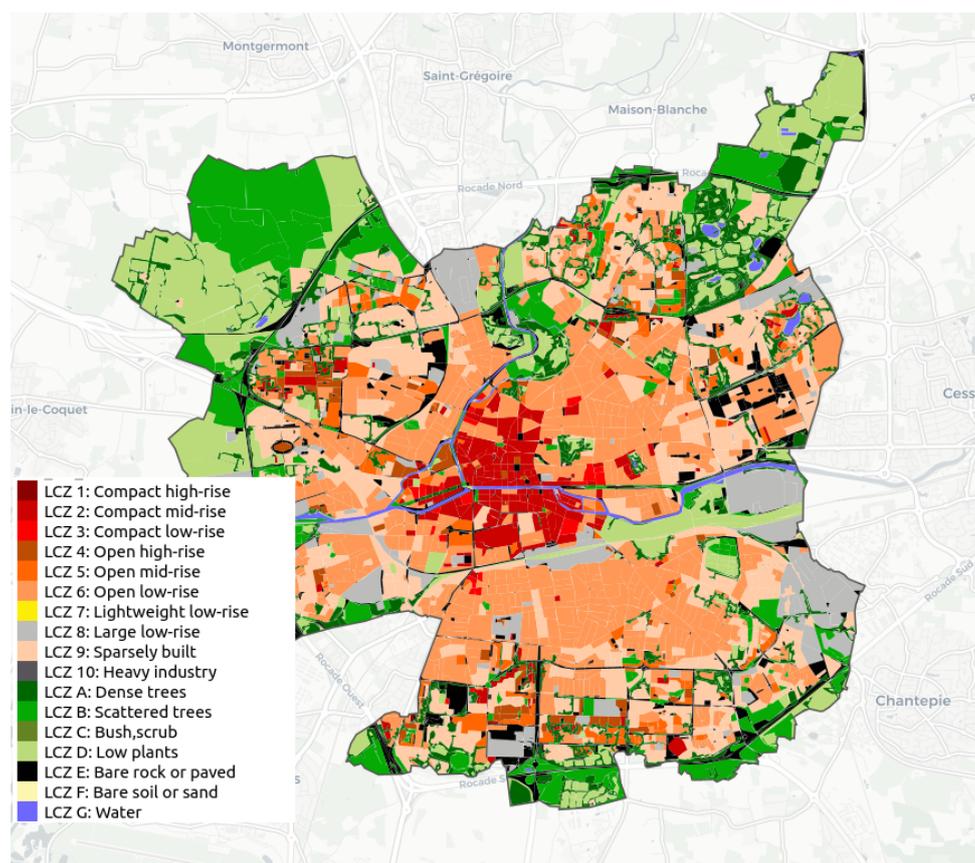


FIGURE 1 – Zones climatiques locales de Rennes.

## Positionnement de la thèse par rapport à des activités de recherche antérieures ou actuelles de l'équipe

Le projet de thèse se positionne dans la continuité des travaux du groupe de SIG de l'équipe DECIDE (link) localisée à Vannes. Il cherche à tirer profit des travaux réalisés sur l'outil SIG GeoClimate en le valorisant au travers de développements méthodologiques et d'analyses statistiques des sorties de GeoClimate.

Le premier axe s'appuiera notamment sur le travail engagé au sein de l'équipe DECIDE visant à proposer des métriques spatiales pour étudier différentes cartes de LCZ. A partir de ces métriques, l'équipe cherche à développer des modèles linéaires simples visant à prédire les ICU et à quantifier l'effet des différents déterminants des ICU. Nous chercherons à prolonger son travail en appliquant des méthodes d'apprentissage profond afin de modéliser les relations complexes non-capturés par des méthodes standards comme les modèles linéaires [Wikle et Zammit-Mangion, 2022].

Le deuxième axe s'appuiera sur un stage de Master 2 qui débutera en février / mars au sein du groupe de SIG à Vannes. Ce stage a pour but de réaliser des profils de villes sur la base de descripteurs du tissu urbain. L'analyse doit être faite à l'échelon national dans un premier temps ; elle sera étendue dans un deuxième temps à l'échelon mondial si le temps le permet.

## Environnement scientifique, positionnement dans le contexte régional, national et international

Le doctorant bénéficiera du contexte scientifique pluridisciplinaire de l'équipe DECIDE. Il pourra s'appuyer profit de l'expertise de l'équipe en climatologie, en physique et en géographie, ainsi qu'en statistique, en data mining et en informatique.

A l'échelle régionale et nationale, la thèse cherchera à proposer des outils d'aménagement du territoire afin d'aiguiller les politiques publiques. Elle s'inscrira dans les réseaux de chercheurs spécialisé autour de l'information géographique et de climatologie statistiques (e.g. GDR Magis, réseau RESSTE). Un ou plusieurs déplacement à Toulouse pourront être organisés afin d'aller travailler avec les chercheurs de Météo France spécialisé sur le climat urbain.

A l'échelle internationale, la thèse visera à faire émerger des structures de villes communes entre les pays ainsi que leurs différences liées à l'adaptation locale au phénomène de surchauffe. Les travaux de cette thèse auront vocation à être valorisés dans des conférence comme l'IMSC ('International Meeting on Statistical Climatology') ou l'EGU (European Geoscience union).

## Liens utiles

- > le site de Geoclimat : <https://geomanum.org/fr>
- > le site de l'équipe DECIDE : <https://labsticc.fr/fr/equipes/decide>

Et quelques références,

- > A generic algorithm to automatically classify urban fabric according to the local climate zone

- system : implementation in GeoClimate 0.0.1 and application to French cities. <https://gmd.copernicus.org/articles/17/2077/2024/>
- > Mapping the urban climate to address summer comfort management in French urban planning documents <https://journals.openedition.org/cybergeogeo/40319>
  - > GeoClimate : a Geospatial processing toolbox for environmental and climate studies <https://shs.hal.science/halshs-03359757/>
  - > Urban heat island temporal and spatial variations : Empirical modeling from geographical and meteorological data <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132317303554>
  - > lczexplore : an R package to explore Local Climate Zone classifications <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.05445.pdf>

## Profil du candidat et compétences attendues

La thèse est ouverte pour des profils de candidat :

- > avec un Master en sciences des données ou en apprentissage statistique et étant intéressés par les thématiques environnementales.
- > avec un Master en sciences de l'information géographique ou en Géographie Aménagement Environnement Développement ayant des compétences en analyse de données et en statistiques et souhaitant se renforcer dans ce domaine.

Le candidat devra maîtriser un langage de manipulation de données comme le langage R ou le langage Python.

Il devra avoir des bases en analyse de données et en apprentissage statistique.

Des compétences en analyse spatiale sont souhaitables.

Bonnes capacités de rédaction et de présentation orale.

## Lieu de thèse

Vannes, Université Bretagne Sud, IUT de Vannes, locaux du LAB-STICC.

## Modalité de candidature

Transmettre **CV et lettre de motivation** aux adresses mail [baptiste.alglave@univ-ubs.fr](mailto:baptiste.alglave@univ-ubs.fr), [jeremy.bernard@zaclys.net](mailto:jeremy.bernard@zaclys.net) et [erwan.bocher@univ-ubs.fr](mailto:erwan.bocher@univ-ubs.fr).

**Date limite de candidature** : vendredi 23 mai 2024

## Références

- [Arnfield, 2003] ARNFIELD, A. J. (2003). Two decades of urban climate research : a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology : a Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(1):1–26.
- [Bocher *et al.*, 2021] BOCHER, E., BERNARD, J., WIEDERHOLD, E. L. S., LECONTE, F., PETIT, G., PALOMINOS, S. et NOÛS, C. (2021). Geoclimate : a geospatial processing toolbox for environmental and climate studies. *Journal of Open Source Software*, 6(65):3541.
- [Breshears *et al.*, 2021] BRESHEARS, D. D., FONTAINE, J. B., RUTHROF, K. X., FIELD, J. P., FENG, X., BURGER, J. R., LAW, D. J., KALA, J. et HARDY, G. E. S. J. (2021). Underappreciated plant vulnerabilities to heat waves. *New Phytologist*, 231(1):32–39.
- [De Boeck *et al.*, 2010] DE BOECK, H. J., DREESEN, F. E., JANSSENS, I. A. et NIJS, I. (2010). Climatic characteristics of heat waves and their simulation in plant experiments. *Global Change Biology*, 16(7):1992–2000.
- [Gago *et al.*, 2013] GAGO, E. J., ROLDAN, J., PACHECO-TORRES, R. et ORDÓÑEZ, J. (2013). The city and urban heat islands : A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and sustainable energy reviews*, 25:749–758.
- [Huang *et al.*, 2023] HUANG, W. T. K., MASSELOT, P., BOU-ZEID, E., FATICHI, S., PASCHALIS, A., SUN, T., GASPARRINI, A. et MANOLI, G. (2023). Economic valuation of temperature-related mortality attributed to urban heat islands in european cities. *Nature communications*, 14(1):7438.
- [Kjellstrom *et al.*, 2016] KJELLSTROM, T., BRIGGS, D., FREYBERG, C., LEMKE, B., OTTO, M. et HYATT, O. (2016). Heat, human performance, and occupational health : a key issue for the assessment of global climate change impacts. *Annual review of public health*, 37:97–112.
- [Masson, 2000] MASSON, V. (2000). A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Boundary-layer meteorology*, 94:357–397.
- [Nuruzzaman, 2015] NURUZZAMAN, M. (2015). Urban heat island : causes, effects and mitigation measures-a review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2):67–73.
- [Oke, 1982] OKE, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 108(455):1–24.
- [Pachauri *et al.*, 2014] PACHAURI, R. K., ALLEN, M. R., BARROS, V. R., BROOME, J., CRAMER, W., CHRIST, R., CHURCH, J. A., CLARKE, L., DAHE, Q., DASGUPTA, P. *et al.* (2014). *Climate change 2014 : synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ippc.
- [Tao, 2013] TAO, W. (2013). Interdisciplinary urban gis for smart cities : advancements and opportunities. *Geo-spatial Information Science*, 16(1):25–34.
- [Vargas-Munoz *et al.*, 2020] VARGAS-MUNOZ, J. E., SRIVASTAVA, S., TUIA, D. et FALCAO, A. X. (2020). Openstreetmap : Challenges and opportunities in machine learning and remote sensing. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 9(1):184–199.
- [Wikle *et al.*, 2022] WIKLE, C. K. et ZAMMIT-MANGION, A. (2022). Statistical deep learning for spatial and spatio-temporal data. *arXiv preprint arXiv :2206.02218*.
- [Yeh, 1999] YEH, A. G. (1999). Urban planning and gis. *Geographical information systems*, 2(877-888):1.