

Bilan radiatif à l'échelle du piéton en ville : enrichissement d'un jeu de données étiquetées et apprentissage machine pour expliquer le lien à la forme urbaine

Mots clés : simulation radiative, réduction de dimensionnalité, forme urbaine, apprentissage machine, transfert de connaissance

Contacts :

T. Leduc (thomas.leduc@crenau.archi.fr)

A. Rodler (auline.rodler@cerema.fr)

M. Servières (myriam.servieres@crenau.archi.fr)

Discipline de recherche : Architecture et études urbaines

Unité de recherche principale : UMR CNRS 1563 AAU

Nom d'une unité de recherche associée qui n'est pas pas la liste proposée ci-dessus : CEREMA / BPE

Description du sujet

Il est désormais bien établi que nous assistons à une augmentation en intensité, en fréquence et en durée des épisodes climatiques extrêmes (IPCC 2022). Cette augmentation, conjuguée à la réponse microclimatique spécifique de nos environnements construits, qui peuvent amplifier localement certains phénomènes de surchauffe par exemple, altère ou parfois entrave les pratiques quotidiennes des habitants. Cette vulnérabilité face à l'aléa caniculaire est source d'un accroissement de la morbidité voire de la mortalité qui justifie que des politiques publiques soient conduites visant à l'adaptation climatique des villes (Ruefenacht and Acero 2017). Le présent travail de thèse s'inscrit dans ce contexte. Il fait l'hypothèse qu'une approche croisant l'analyse des formes urbaines et le microclimat urbain fournira des leviers prioritaires d'action et d'aide à la conception à destination des aménageurs et à divers niveaux d'échelle potentiellement très résolus.

La trajectoire du soleil dans le ciel apparent des environnements urbains est connue, tout comme l'est l'évaluation des flux radiatifs incidents qui contribuent à l'échauffement des espaces extérieurs. Des modèles et outils de simulation ont donc été développés, permettant d'évaluer le bilan radiatif en tout point d'une scène urbaine. En complément de ces approches à « base physique », d'autres travaux ont cherché à identifier les déterminants de la réponse microclimatique spécifique des villes – qu'ils soient morphologiques, anthropiques ou d'occupation des sols notamment. Ces approches à « base typologique », ont contribué notamment à la définition du concept de zones climatiques locales – aussi appelées LCZ – par (Stewart and Oke 2012, Rodler and Leduc 2019).

Ce travail de thèse a l'ambition de préciser les déterminants morphologiques de la réponse microclimatique spécifique de l'environnement construit, non pas à l'échelle de quelques hectomètres comme peuvent le faire les LCZ, mais au niveau du piéton et de son environnement proche, c'est-à-dire à un niveau infra-décamétrique. Il s'agit en l'occurrence de caractériser l'influence de la distribution des volumes construits immédiatement environnants sur le bilan radiatif d'un piéton en tout point de l'espace ouvert. Ce bilan radiatif est en effet déterminant pour le calcul de la température moyenne radiante, qui est-elle même une variable clé dans l'évaluation du confort thermique du piéton en espace extérieur (Grosdemouge 2020).

Pour réaliser cette recherche à la croisée des formes urbaines et du microclimat urbain (ou plus précisément de sa composante radiative), nous proposons de procéder, dans une démarche inductive, par extraction de connaissances à partir d'un jeu de données étiquetées synthétique. Après un état de l'art visant à comprendre l'analyse des formes urbaines, les phénomènes physiques en jeu et les principales techniques d'exploration de données¹, le ou la doctorant(e) s'attachera à reprendre et compléter le jeu de données étiquetées synthétique (Leduc and Cui 2024), avant d'en dégager des éléments de connaissance à partir, notamment, des occurrences entre les signatures morphologiques et radiatives des lieux. Ses travaux s'inscriront ainsi dans une lignée de recherche conduites au sein de AAU comme de l'équipe BPE du CEREMA visant à informer la conception bioclimatique des espaces ouverts de l'urbain à partir du registre d'analyse bioclimatique des formes (Merville, en cours de publication ; Belgacem 2019 ; Bernard 2017).

La figure 1 est une représentation schématique de la méthode de réduction de dimensionnalité qui a été implémentée et utilisée au sein de AAU pour produire les 27 million d'entrées étiquetées du jeu de données synthétique susmentionné (Leduc and Cui 2024). Ce travail de thèse doit permettre de mettre en relation la signature morphologique des lieux présentée en figure 1a – cette signature résulte de la configuration d'ensemble qui intègre l'arrangement des volumes, l'orientation et la profondeur des percées, etc. – et sa signature radiative présentée en figure 1c – cette signature comprend notamment des taux d'irradiation directe et diffuse – en s'affranchissant de l'étape de simulation intermédiaires représentée en figure 1b. Il s'agit, dans ce travail de recherche, d'entraîner un modèle à reproduire des résultats de la simulation radiative en environnement urbain. L'hypothèse sous-jacente est qu'un modèle issu de l'observation de données massives permettra de dégager des résultats plus immédiatement exploitables pour expliquer le lien de la morphologie au bilan radiatif.

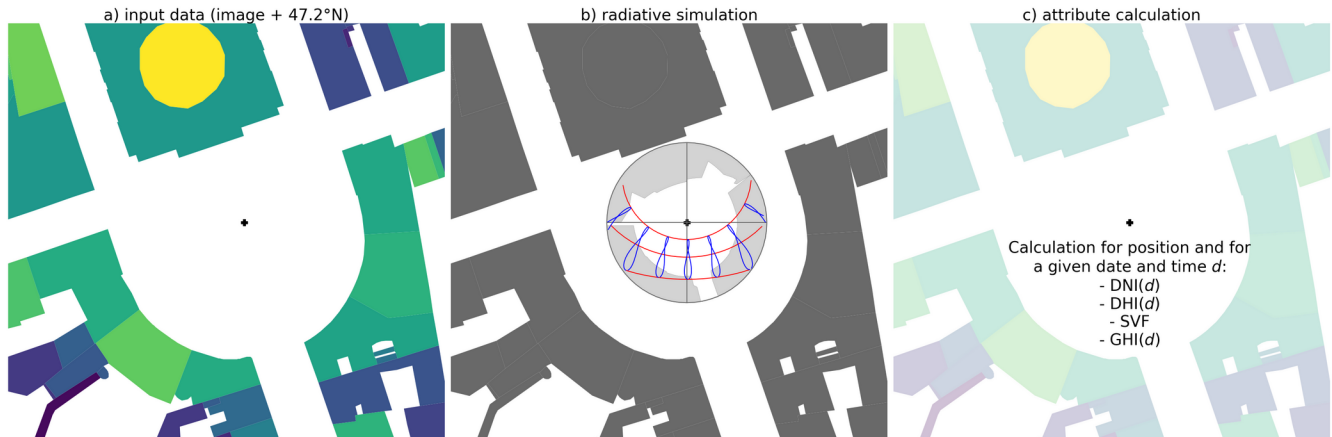


Figure 1 : a) le point central à caractériser au sens d'un bilan radiatif est environné de bâtiments – des prismes droits – dont la couleur est fonction de l'attribut de hauteur, il est assorti d'une position (lat/lon) ; b) les outils de simulation radiative développés au sein du laboratoire AAU transforment un problème 3D+t (la course du soleil dans le ciel est fonction du temps, sa contribution au bilan radiatif du point central est fonction des masques bâti de l'environnement) en un problème de géométrie plane ; c) le travail de thèse doit permettre de quantifier (en précisant le niveau de fiabilité de la

1 Même si l'objectif avancé ici est d'inférer de la connaissance à partir d'un jeu de données étiquetées synthétique – donc de procéder par apprentissage supervisé – d'autres techniques d'apprentissage non supervisé (classification notamment) pourront utilement être mises en œuvre.

prévision), pour une date donnée, les apports solaires directs et diffus au point central à partir de la seule donnée d'entrée décrite en figure 1a, sans passer par l'intermédiaire 1b.

Bibliographie

Belgacem, Houda. 2019. "Génération d'un Squelette Informé et Application à l'étude Aéraulique de La Forme Urbaine." École centrale de Nantes. <https://theses.hal.science/tel-03237407>.

Bernard, Jérémy. 2017. "Signature Géographique et Météorologique Des Variations Spatiales et Temporelles de La Température de l'air Au Sein d'une Zone Urbaine." École centrale de Nantes - Université Bretagne Loire. <https://theses.hal.science/tel-01449935>.

Grosdemouge, V. 2020. "Proposition d'indicateurs de Confort Thermique et Estimation de La Température Radiante Moyenne En Milieu Urbain Tropical." Université de La Réunion. <https://theses.hal.science/tel-03123710>.

Leduc, T., and Z. Cui. 2024. SkyView Factor (SVF) in 27+ million positions in Nantes, France (1.0.0) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10788912>.

Rodler, A., and T. Leduc. 2019. "Local Climate Zone Approach on Local and Micro Scales: Dividing the Urban Open Space." *Urban Climate* 28 (March): 100457. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100457>.

Ruefenacht, L. A., and J. A. Acero. 2017. "Strategies for Cooling Singapore: A Catalogue of 80+ Measures to Mitigate Urban Heat Island and Improve Outdoor Thermal Comfort." Cooling Singapore (CS). <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000258216>.

Stewart, I. D., and T. R. Oke. 2012. "Local Climate Zones for Urban Temperature Studies." *Bulletin of the American Meteorological Society* 93 (12): 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>.