



HAL
open science

Intégration d'un modèle de microclimat méso-échelle dans une plateforme d'énergétique du bâtiment à l'échelle quartier

Léo Bourquin, Mathias Bouquerel, Thierry Duforestel, Emmanuel Bozonnet

► **To cite this version:**

Léo Bourquin, Mathias Bouquerel, Thierry Duforestel, Emmanuel Bozonnet. Intégration d'un modèle de microclimat méso-échelle dans une plateforme d'énergétique du bâtiment à l'échelle quartier. IBPSA France 2024, IBPSA France, May 2024, La Rochelle - Ile d'Oléron, France. hal-04618818

HAL Id: hal-04618818

<https://hal.science/hal-04618818>

Submitted on 20 Jun 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Intégration d'un modèle de microclimat méso-échelle dans une plateforme d'énergétique du bâtiment à l'échelle quartier

Léo Bourquin^{1,2,4}, Mathias Bouquerel^{*1,4}, Thierry Duforestel^{1,3,4}, Emmanuel Bozonnet^{2,3,4}

¹ EDF R&D

**EDF Lab les Renardières, Avenue des Renardières,
77250 Ecuelles Moret-Loing-et-Orvanne,
[*mathias.bouquerel@edf.fr](mailto:mathias.bouquerel@edf.fr)**

² LaSIE UMR CNRS 7356, Avenue Michel Crépeau, 17042 La Rochelle Cedex

³ IRSTV FR CNRS 2488, CENTRALE NANTES 1 Rue Noë – BP 92101 44321 Nantes

⁴ Laboratoire Commun 4eV Lab EDF & LaSIE

RESUME. Dans les modèles d'énergétique du bâtiment (BEM) de nos jours, le contexte urbain est souvent simplifié ou négligé en raison des difficultés à prendre en compte de manière précise tous les échanges avec l'environnement extérieur. La simplification excessive du contexte urbain peut avoir un effet important sur la précision des prédictions des BEM. Plusieurs approches sont possibles pour remédier à ces problèmes. Dans cet article, une méthodologie visant à intégrer l'effet d'îlot de chaleur urbain dans un BEM à une échelle quartier est proposée. On présente un couplage asynchrone entre Urban Weather Generator (UWG) et MyBEM. L'effet de l'îlot de chaleur urbain et l'efficacité du couplage sont évalués par une analyse de sensibilité sur un cas d'étude réel. On constate des phénomènes caractéristiques des îlots de chaleur urbains : augmentation des températures et notamment nocturnes et augmentation du besoin de rafraîchissement. On constate également que les paramètres liés à la morphologie urbaine sont les plus sensibles.

MOTS-CLÉS : Microclimat urbain, Energétique du bâtiment, Îlot de chaleur urbain

ABSTRACT. In contemporary Building Energy Modeling (BEM), the urban context is often simplified or neglected due to the challenges of accurately accounting for all exchanges with the outdoor environment. Overly simplifying the urban context can significantly impact the accuracy of BEM predictions. Several approaches are possible to address these issues. In this article, a methodology aimed at integrating the Urban Heat Island (UHI) effect into a neighborhood-scale BEM is proposed. An asynchronous coupling between Urban Weather Generator (UWG) and MyBEM is presented. The effect of the urban heat island and the effectiveness of the coupling are evaluated through a sensitivity analysis on a real case study. Characteristic phenomena of urban heat islands are observed: Increase in temperatures, especially during the night and increase in cooling need. It is shown that parameters related to urban morphology are the most sensitive

KEYWORDS : Urban microclimate, Building Energy, Urban Heat Island

1. INTRODUCTION

L'îlot de chaleur urbain (ICU) est un phénomène bien établi, caractérisé par des températures de l'air plus élevées dans les zones urbaines par rapport aux zones rurales avoisinantes (Oke, 1982). L'urbanisation altère le cycle diurne de la température de l'air, avec des pics d'intensité d'ICU observés en fin de journée et la nuit. La morphologie urbaine contribue à l'ICU avec un albédo effectif plus élevé, une réduction de la vitesse du vent et une diminution de l'évaporation due à la diminution des zones végétalisées. L'ICU a des répercussions significatives sur la demande énergétique des bâtiments, pouvant modifier leur consommation énergétique jusqu'à 20% dans certains cas (B. Bueno et al. 2012; Bozonnet, 2005). Les bâtiments représentent environ 40% de la demande énergétique mondiale, soulignant ainsi l'importance de tenir compte de l'ICU dans la modélisation des performances énergétiques des bâtiments (Santamouris 2014; Pérez-Lombard et al. 2008).

Les modèles énergétiques traditionnels ne considèrent généralement pas l'influence de l'ICU, ce qui peut conduire à des estimations erronées de la consommation des bâtiments (Grimmond et al. 2010). Dans cet article, on propose donc d'intégrer un outil de microclimat mésoclimatique, Urban Weather Generator (UWG) (B. Bueno. 2013), dans une plateforme BIM to BEM dédiée à l'énergétique du bâtiment : MyBEM. UWG combine un modèle atmosphérique et un modèle thermique de bâtiment, ce qui permet de produire des fichiers météorologiques adaptés à une configuration urbaine, à l'échelle d'un quartier ou d'une ville. Ce couplage est examiné avec une étude de cas, suivie d'une discussion sur ses limites actuelles et les perspectives d'amélioration.

2. OBJECTIFS DE RECHERCHE ET METHODE

Dans cette partie, on présente le couplage entre la chaîne d'outils MyBEM et le modèle de microclimat UWG. L'objectif est de modéliser la canopée urbaine à l'échelle mésoclimatique (maille quartier) et prendre en compte son influence dans des simulations d'énergétique du bâtiment.

2.1. LA PLATEFORME MYBEM

MyBEM est une plateforme modulaire développée par EDF R&D pour la modélisation et la simulation énergétique du bâtiment. Elle permet de considérer l'influence de la localisation et du contexte urbain environnant sur l'éclairement solaire du bâtiment d'étude (Bouquerel et al. 2021, Plessis et al 2014). Basée sur une architecture modulaire, MyBEM est un chaînage d'outils indépendants qui sont lancés de manière successive et communiquent par échange de fichiers (Figure 1).

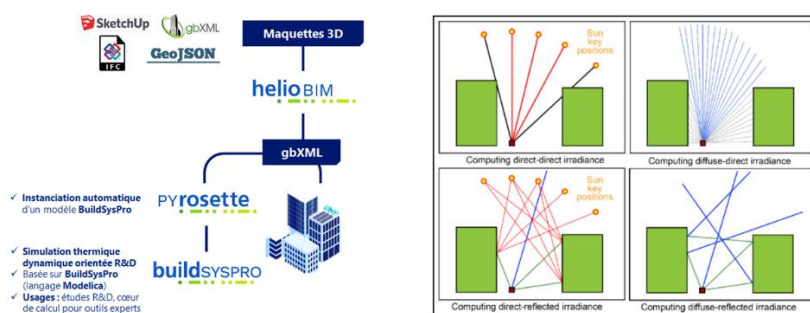


Figure 1 : Workflow MyBEM et composantes de l'éclairement solaire calculées par HelioBIM

L’outil de prétraitement **HelioBIM** permet la génération d’un fichier BIM (Bouquerel et al. 2021). Le logiciel intègre l’édition des composants du bâtiment, des scénarios d’utilisation. Il calcule quatre composantes d’éclairement : Le flux solaire direct sans réflexion et avec des réflexions (direct-direct et direct-réfléchi), et le flux diffus provenant de la voute céleste avec et sans réflexions (diffus-direct et diffus-réfléchi) pour chaque surface d’enveloppe et chaque heure du fichier de données météorologiques annuel (fichiers CSV) à l’aide d’un algorithme de lancer de rayons Monte-Carlo inversé. **Pyrosette**, un package Python d’EDF R&D, permet ensuite le passage du BIM au BEM. Il analyse le gbXML pour obtenir la liste des composants du bâtiment à intégrer dans le BEM puis instancie dans un modèle Modelica chaque composant du bâtiment en tant qu’instance du modèle suivant **BuildSysPro**, bibliothèque Modelica gratuite et open-source pour la modélisation énergétique des bâtiments, et développée par EDF R&D (Plessis et al. 2014). Elle fournit un ensemble de composants élémentaires pour décrire les composants d’enveloppe, les systèmes et dispositifs énergétiques, ainsi que les systèmes de contrôle. Elle est principalement basée sur deux branches de la physique : la modélisation thermique pure et la thermoaéraulique. La manière de modéliser les bâtiments avec BuildSysPro est similaire à des approches couramment utilisées par la communauté scientifique du bâtiment, et les conditions météo font partie des conditions limites.

2.2. COUPLAGE D’UWG ET MYBEM

Le but du couplage est de pallier le problème de précision des prévisions de consommations énergétiques des bâtiments issues de BuildSysPro influencées par le contexte urbain. UWG calcule les valeurs horaires de température et d’humidité de l’air extérieur urbain à partir d’un fichier météo EPW d’une station rurale. UWG utilise pour cela un modèle de canopée urbaine inspiré du modèle TEB (Masson 2000), relié à un modèle de couche limite urbaine simplifié (Bueno, Hidalgo, et al. 2013). Nous avons créé un programme Python pour produire les entrées d’UWG à partir d’un fichier gbXML (format pour HelioBIM). On crée donc automatiquement des typologies de bâtiments personnalisées pour UWG (matériaux, scénarios d’occupation, de chauffage et de climatisation) qui remplacent les typologies existantes d’UWG (constructions type US). Cependant, la correspondance UWG/gbXML n’est pas complète, certains paramètres ne sont pas présents ou explicites dans le gbXML (tableau 1).

	Paramètres géométriques	Paramètres de simulation	Paramètres liés à la physique urbaine	Paramètres de scénario	Total
Paramètres présents dans le gbXML	5	5	13	21	44
Paramètres calculables à partir du gbXML	8	0	1	5	14
Paramètres à renseigner manuellement	7	8	15	3	33
Total	20	13	29	29	91

Tableau 1 : Workflow du couplage MyBEM-UWG

On classe ici les paramètres d’UWG en quatre catégories. Une partie de ces paramètres peut être extraite automatiquement du fichier gbXML (par les propriétés thermiques des bâtiments et), tandis que d’autres doivent être renseignés manuellement (hauteurs de couche limite urbaine par exemple) ou calculés à partir de données d’entrée (Densité de bâtiment, Taux de vitrage, Rapport de surfaces horizontales sur surfaces verticales). Les paramètres de simulation sont des données comme le pas de temps et les paramètres liés à la physique urbaine sont les hauteurs de couche limite, les albédos ou le

flux de chaleur anthropique. La dernière étape du couplage consiste à utiliser dans le BEM les températures d'air et d'humidité calculées par UWG, et les flux solaires calculées par HelioBIM.

3. CAS D'ÉTUDE ET ANALYSE DE SENSIBILITÉ

3.1. COUPLAGE D'UWG ET MYBEM

Le couplage MyBEM-UWG est évalué à l'aide d'un cas d'étude sur le quartier de Monastiraki à Athènes et précisément sur un ensemble de 3 rues canyon parallèles à la rue Ermou. Cette dernière est une des grandes rues principales du centre d'Athènes s'étendant sur plus de 5km (Figure 2).



Figure 2 : Le quartier Monastiraki au-dessus, la rue Ermou et la localisation de la station météo

Le BIM est construit en considérant un unique type de bâtiment, s'apparentant à celui de la Figure 2 (Google StreetView). Les données météorologiques du site sont issues du site d'EnergyPlusTM. Les données rurales proviennent d'une station réelle située à 10km du quartier de Monastiraki (Fig 2). La maquette créée avec Sketchup est traitée par le logiciel de calcul solaire HelioBIM. Les données d'entrée relatives à la thermique des bâtiments (figure 3, à droite), sont issues des bibliothèques BuildSysPro d'EDF, et au-delà des systèmes classiques de CVC, on impose un taux de fermeture des volets de 70% constant en été. Les bâtiments correspondant sont relativement bien isolés (années 1989 à 2000).

Paramètres	Chauffage	Climatisation	Occupation et gains internes	Ventilation
Valeurs	18°C (minuit-7h et 9h-18h) 20°C (le reste du temps) Du 1 janvier au 1 mai Du 1 octobre au 31 décembre	26°C constant en été Du 2 mai au 30 septembre	20% (7h - 18h) 80% (reste du temps) Occupants 70 W / 25 m ² Équipements 2,50 W / m ²	0.5 vol/h constant

Tableau 2 : scénarios des bâtiments du quartier

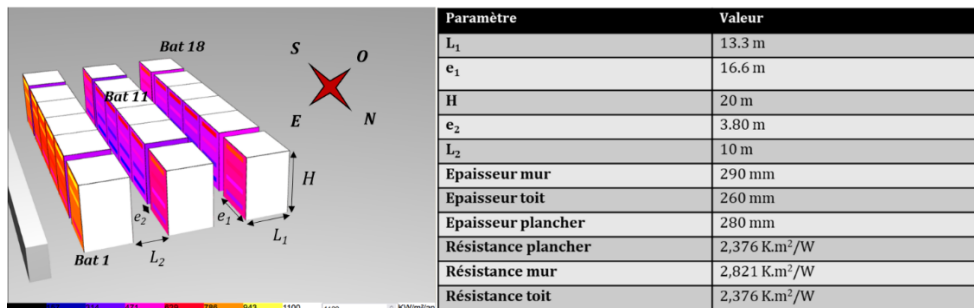


Figure 3 : éclairements solaires (à gauche) et composition (à droite)

On remarque que la position des bâtiments influence les valeurs d'éclairements solaires, ce qui est également traité dans l'analyse de sensibilité de la partie suivante.

Une fois l'ensemble des paramètres renseignés, on lance le module gbXMLtoUWG.py pour une année complète, avec les résultats ici Figure 4 pour le cas d'étude (semaine la plus chaude de l'été).

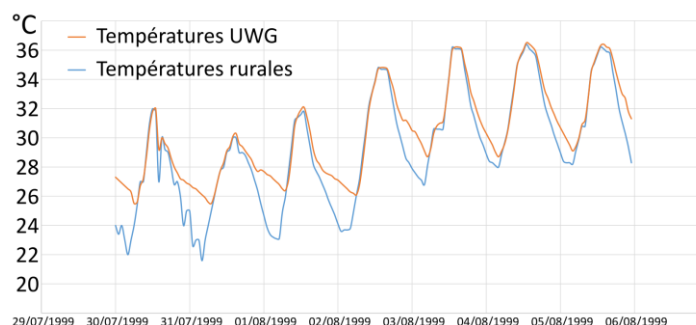


Figure 4 : évolution des températures d'air de référence (rural) et résultats UWG (urbain)

L'effet d'ICU est particulièrement évident la nuit. L'inertie thermique des matériaux urbains, tels que l'asphalte et le béton joue en effet un rôle clé dans la persistance de cet effet (Oke 1982).

3.2. ANALYSE DE SENSIBILITE

3.2.1. Influence du microclimat sur les besoins énergétiques des bâtiments issus du BEM de BuildSysPro

Dans cette partie, on propose de comparer les besoins en chauffage et climatisation de 3 bâtiments différents de notre quartier d'étude (Figure 2) issus de BuildSysPro avec la prise en compte ou non du microclimat urbain (donc avec l'utilisation d'UWG ou non), à la manière de (Salvati et al. 2015) (Tableau 3).

	Heat Bat 1	Heat bat 11	Heat bat 18	Cool Bat 1	Cool Bat 11	Cool Bat 18
Sans UWG	120.6	139.0	125.9	53.1	59.0	68.9
Avec UWG	111.3	127.3	115.6	68.3	74.7	86.0
% d'évolution	-8 %	-8 %	-8 %	29 %	27 %	25 %

Tableau 3 : évolution du besoin de chauffage et climatisation en kW.h/(m².an)

La demande de chauffage en hiver baisse et la demande de climatisation en été augmente (environ 15% d'augmentation) à cause de l'augmentation des températures d'air. L'orientation des bâtiments joue également sur ces données, le bâtiment 18 orienté sud est plus demandeur en climatisation que le 2 autres en été, ce qui semble cohérent avec sa position dans la rue (Figure 3). Le microclimat impacte fortement les besoins énergétiques annuels, et on notera aussi l'influence de la position des bâtiments sur ces mêmes critères d'évaluation et donc l'importance de prendre en compte de manière la plus précise la localisation des bâtiments et les apports solaires réels sur les bâtiments, ce que notre couplage permet par rapport à d'autres études (Salvati et al. 2015, Palme et al. 2017).

3.2.2. Influence des paramètres d'UWG sur la demande énergétique des bâtiments.

Un point intéressant à observer lorsque l'on évalue des outils de microclimat est la variation moyenne de la température de l'air de la canopée urbaine (canyon équivalent pour UWG) en fonction des paramètres du modèle. Des études ont été menées (Palme et al. 2017; Salvati et al. 2015 ; Bueno, Norford, et al. 2013) et ont montré l'importance des paramètres géométriques et morphologiques du quartier sur les températures d'air extérieur. On reprend ici cette démarche d'analyse de sensibilité, non pas en regardant l'influence des paramètres du modèle de microclimat sur les températures d'air, mais sur les besoins en chauffage et climatisation de notre quartier d'étude, calculés par le BEM. On calcule

le pourcentage de variation sur les demandes énergétiques entre deux simulations UWG en faisant varier les paramètres les plus influents sur les températures d'air déterminés par Bueno dans son étude (Bueno, Norford et al 2013). On peut ainsi mesurer la sensibilité du couplage lorsque les paramètres de la maquette varient de 25% (résultats tableau 2). On fera cette analyse uniquement sur le bâtiment 11, étant donné que la localisation des bâtiments a un impact très faible lorsque les paramètres de la maquette entière sont changés.

	Valeur initiale	Valeur modifiée	Heat bat 11	Cool Bat 11
Albedo route	0.2	0.25	127.3	74.9
% d'évolution			-0.05%	0.21%
Bldg density	0.33	0.42	125.7	75.4
% d'évolution			-1.28%	1.01%
VertoHor	0.61	0.81	122.8	76.9
% d'évolution			-3.57%	2.88%
Hauteur ref	150	187.5	125.8	77.1
% d'évolution			-1.19%	3.13%

Tableau 2 : évolution du besoin de chauffage et climatisation en kW.h/(m².an) en fonction de la variation de 4 paramètres morphologiques ou de simulation

On constate que malgré une variation de 25% sur les 4 paramètres étudiés, l'impact sur les besoins de chauffage et climatisation est assez minime. Cela est le plus remarquable sur l'albédo de la route, où les différences sont négligeables (moins de 1%) mais non surprenantes car l'albédo augmente seulement de 0.05 (de 0.2 à 0.25). Cela est plus étonnant pour la densité de bâtiment et le ratio « VertoHor » (rapport des surfaces verticales sur horizontales) où on pourrait s'attendre à ce qu'une augmentation de ces paramètres impactent de manière plus importante ces valeurs la température d'air extérieur (Bueno, Noford et al 2013). Cependant d'autres études ont montré que la consommation énergétique pouvait varier fortement d'une ville à l'autre malgré des configurations morphologiques similaires (Mostafavi N. et al 2021). Enfin le paramètre H_{ref} , représentant la hauteur de référence à laquelle on suppose les profils de température potentielle constants, semble avoir un impact plus important et notamment en été sur le besoin en climatisation. Cela est assez cohérent avec l'analyse de Bueno (Bueno, Noford et al 2013) où ce paramètre est parmi les influents sur la température d'air extérieur en raison de sa variabilité significative entre différentes zones urbaines. La hauteur de la couche limite urbaine est un autre facteur important de l'ICU, et souvent estimé empiriquement, qui entraîne des imprécisions et/ou instabilités (Martinez et al. 2021; Le Bras et Masson 2015).

4. CONCLUSION ET DISCUSSIONS

Cet article présente la méthodologie et les premiers résultats de travaux de doctorat d'un couplage entre un modèle de microclimat UWG et une plateforme de BIM to BEM (MyBEM), permettant de réaliser des études d'énergétique du bâtiment prenant en compte l'influence du microclimat urbain. La méthode utilisée donne des résultats plausibles et représentatifs de l'impact de l'ICU. L'analyse de sensibilité confirme le rôle non négligeable de la morphologie urbaine, avec ici un effet d'ICU qui entraîne une réduction du besoin de chauffage (20 %), et une augmentation en climatisation (10 %). L'orientation et la position des bâtiments impactent aussi plus finement les résultats.

Ces premiers résultats seront amenés à évoluer au cours des prochaines années, notamment selon les axes suivants :

- Interaction entre le modèle de microclimat et la plateforme et amélioration du couplage actuel asynchrone (échange par fichiers) entre UWG et MyBEM, pour prendre en compte la rétroaction du modèle BEM vers UWG dynamiquement (approche modulaire) ;
- Prise en compte de la 3D à l'intérieur de la zone d'étude pour aller au-delà du modèle de rue canyon en 2D d'UWG, où les contributions de chaque bâtiment sont moyennées. La prise en compte de la morphologie de la zone d'étude est quelque chose que l'on retrouve dans la littérature mais avec des approches nodales ou zonales (Gros et al. 2014; Yao et al. 2011) ;
- Amélioration du/des modèle(s) physique(s), en particulier la couche limite urbaine trop simplifiée (deux états actuellement, jour / nuit) qui entraîne des discontinuités menant à une surévaluation de l'ICU (Martinez et al. 2021). D'autres phénomènes, comme les échanges de chaleur latente et l'impact de la végétation sont également à améliorer. Également, le modèle BuildSysPro, bien que robuste, est encore amené à évoluer (ventilation et surventilation nocturne en été) ;
- Prise en compte de l'influence des quartiers adjacents, avec également un travail sur les modèles d'interactions entre les différents modules et les modèles de microclimat et bâtiment. Certaines études comme celles menées par (Salvati et al. 2015) ou (Afshari 2023) ont montré qu'une approche par zone en utilisant les LCZ ou des zones équivalentes était une piste intéressante et pertinente.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Afshari, Afshin. 2023. « Optimization of Urban Design/Retrofit Scenarios Using a Computationally Light Standalone Urban Energy/Climate Model (SUECM) Forced by ERA5 Data ». *Energy and Buildings* 287 (mai): 112991. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112991>.
- Bouquerel, Mathias, Kevin Ruben Deutz, Benoît Charrier, Thierry Duforestel, Mickael Rousset, Bart Erich, Gerrit-Jan Van Riessen, et Thomas Braun. 2021. « Application of MyBEM, a BIM to BEM Platform, to a Building Renovation Concept with Solar Harvesting Technologies ». In . <https://doi.org/10.26868/25222708.2021.30153>.
- Bozonnet, Emmanuel. 2005. « Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments Cas de la rue canyon ». Thèse de doctorat, Université de la Rochelle., <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011115>
- Bueno, B., G. Pigeon, L. K. Norford, K. Zibouche, et C. Marchadier. 2012. « Development and Evaluation of a Building Energy Model Integrated in the TEB Scheme ». *Geoscientific Model Development* 5 (2): 433-48. <https://doi.org/10.5194/gmd-5-433-2012>.
- Bueno, Bruno, Julia Hidalgo, Grégoire Pigeon, Leslie Norford, et Valery Masson. 2013. « Calculation of Air Temperatures above the Urban Canopy Layer from Measurements at a Rural Operational Weather Station ». *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 52 (2): 472-83. .
- Bueno, Bruno, Leslie Norford, Julia Hidalgo, et Grégoire Pigeon. 2013. « The Urban Weather Generator ». *Journal of Building Performance Simulation* 6 (4): 269-81. <https://doi.org/10.1080/19401493.2012.718797>.
- Grimmond, C. S. B., M. Blackett, M. J. Best, J. Barlow, J-J. Baik, S. E. Belcher, S. I. Bohnenstengel, et al. 2010. « The International Urban Energy Balance Models Comparison Project: First Results from

- Phase 1 ». *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49 (6): 1268-92. <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2354.1>.
- Gros, Adrien, Emmanuel Bozonnet, et Christian Inard. 2014. « Cool Materials Impact at District Scale— Coupling Building Energy and Microclimate Models ». *Sustainable Cities and Society* 13 (octobre): 254-66. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.02.002>.
- Le Bras, Julien, et Valéry Masson. 2015. « A Fast and Spatialized Urban Weather Generator for Long-Term Urban Studies at the City-Scale ». *Frontiers in Earth Science* 3 (juin). <https://doi.org/10.3389/feart.2015.00027>.
- Mao, Jiachen, Joseph H. Yang, Afshin Afshari, et Leslie K. Norford. 2017. « Global Sensitivity Analysis of an Urban Microclimate System under Uncertainty: Design and Case Study ». *Building and Environment* 124 (novembre): 153-70. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.011>.
- Martinez, S., A. Machard, A. Pellegrino, K. Touili, L. Servant, et E. Bozonnet. 2021. « A Practical Approach to the Evaluation of Local Urban Overheating— A Coastal City Case-Study ». *Energy and Buildings* 253 (décembre): 111522. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111522>.
- Masson, Valéry. 2000. « A Physically-Based Scheme For The Urban Energy Budget In Atmospheric Models ». *Boundary-Layer Meteorology* 94 (3): 357-97. <https://doi.org/10.1023/A:1002463829265>.
- Mostafavi N., Heris M., Gándara F., Hoque S. 2021. « The Relationship between Urban Density and Building Energy Consumption ». *Buildings* 11 (10): 455. <https://doi.org/10.3390/buildings11100455>.
- Oke, T. R. 1982. « The Energetic Basis of the Urban Heat Island ». *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 108 (455): 1-24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>.
- Palme, M., L. Inostroza, G. Villacreses, Andrea Lobato-Cordero, et C. Carrasco. 2017. « From Urban Climate to Energy Consumption. Enhancing Building Performance Simulation by Including the Urban Heat Island Effect ». *Energy and Buildings* 145 (juin): 107-20. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.069>.
- Pérez-Lombard, Luis, José Ortiz, et Christine Pout. 2008. « A Review on Buildings Energy Consumption Information ». *Energy and Buildings* 40 (3): 394-98. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>.
- Plessis, Gilles, Aurelie Kaemmerlen, et Amy Lindsay. 2014. « BuildSysPro: A Modelica Library for Modelling Buildings and Energy Systems ». In , 1161-69. <https://doi.org/10.3384/ecp140961161>.
- Salvati, Agnese, Helena Coch Roura, et Carlo Cecere. s. d. « URBAN MORPHOLOGY AND ENERGY PERFORMANCE: THE DIRECT AND INDIRECT CONTRIBUTION IN MEDITERRANEAN CLIMATE ».
- Santamouris, M. 2014. « On the Energy Impact of Urban Heat Island and Global Warming on Buildings ». *Energy and Buildings* 82 (octobre): 100-113. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.022>.
- Yao, Runming, Qing Luo, et Baizhan Li. 2011. « A Simplified Mathematical Model for Urban Microclimate Simulation ». *Building and Environment* 46 (1): 253-65. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.019>.