

ÉTUDE COMPARATIVE DE LOGICIELS DE SIMULATION DU MICROCLIMAT À USAGE GRATUIT POUR LE CONFORT THERMIQUE EN MILIEU URBAIN

**Chaimaa DELASSE^{1,2}, Rafika HAJJI², Tania LANDES¹, Hélène MACHER¹,
Pierre KASTENDEUCH³, Georges NAJJAR³, Vincent LECOMTE¹**

1. Université de Strasbourg, CNRS, Laboratoire ICUBE UMR 7357, INSA Strasbourg, 24 Boulevard de la victoire, 67000 Strasbourg. Courriels : (chaimaa.delasse; tania.landes; helene.macher; vincent.lecomte)@insa-strasbourg.fr

2. Ecole des Sciences Géomatiques et de l'Ingénierie Topographique, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Madinat Al Irfane, Avenue Allal El Fassi, 6202 Rabat. Courriel : r.hajji@iav.ac.ma

3. Université de Strasbourg, CNRS, Laboratoire ICUBE UMR 7357, Faculté de Géographie et d'Aménagement, 3 Rue de l'Argonne, 67000 Strasbourg. Courriels : (kasten; georges.najjar)@unistra.fr

A comparative study of free-to-use microclimate simulation software for thermal comfort in urban environments

Mots-clés : confort thermique, microclimat urbain, logiciel à usage gratuit

Keywords: thermal comfort, urban microclimate, free-to-use software

Introduction

Les environnements urbains sont des espaces dynamiques qui ont un impact direct sur le bien-être et le confort de leurs habitants. Alors que les villes continuent de faire face aux défis du changement climatique, il est devenu crucial d'adopter une approche durable de la planification urbaine. Les outils de simulation numérique validés permettent d'obtenir des informations quantitatives précieuses sur différents scénarios d'aménagement sans qu'il soit nécessaire de procéder à des interventions physiques. Dans ce sens, les modèles microclimatiques peuvent être utilisés pour simuler le confort thermique, en tenant compte des conditions météorologiques, de la présence des bâtiments et de la végétation. Toutefois, dans les régions où les ressources sont limitées, l'accès à des outils de simulation puissants reste restreint. La disponibilité de logiciels gratuits élargit l'accès à des simulations éprouvées et facilite leur partage avec la communauté, aussi bien scientifique que territoriale, démocratisant ainsi la participation à la création d'espaces urbains confortables. Dans cet article, nous analysons les caractéristiques, les limitations et les applications pratiques d'outils gratuits et disponibles, développés pour la simulation du confort thermique dans des environnements urbains. Une étude comparative utilisant trois des modèles sélectionnés sera réalisée afin de simuler le confort thermique pour un site situé à Strasbourg, en France. Les résultats seront comparés aux données collectées durant l'été 2023 dans le cadre du projet ANR TIR4sTREEt.

1. Aperçu des outils sélectionnés

Une présélection de 146 articles évalués par des pairs, dont 18 *reviews*, a d'abord été effectuée à partir des mots clés suivants : « urban », « microclimate », « outdoor », « thermal comfort », « simulation », « software » ou « tool » ou « model ». Elle a ensuite été réduite sur la base des critères de disponibilité, d'actualité (date de dernière publication, nombre de citations), de gratuité, d'échelle de modélisation, de présence d'une interface utilisateur (expérience pratique pour les utilisateurs non spécialisés), de prise en compte de la végétation (elle joue un rôle principal à travers les effets d'ombrage et d'évapotranspiration), et de validation du modèle par rapport à des mesures expérimentales (pour garantir sa fiabilité). La micro-échelle (< 2 km) a été choisie car jugée la plus adéquate pour simuler les processus météorologiques dans les environnements urbains (Kastendeuch *et al.*, 2017). À cet effet, les quatre modèles ci-dessous ont été retenus.

- SkyHelios est un modèle initialement développé pour le calcul de la fraction de ciel visible ou SVF (*Sky View Factor*) et capable de simuler la température moyenne radiante (T_{mrt}), ainsi qu'une sélection d'indices de confort thermique (Matzarakis *et al.*, 2021).

- LASER/F (*LAtent SEnsible Radiation Fluxes*) est un modèle physique thermoradiatif capable de simuler les bilans radiatifs dans des environnements urbains complexes à haute résolution (Kastendeuch *et al.*, 2017).

- RayMan Pro (*RA*diation on the huMAN body) est un modèle unidimensionnel développé pour calculer les flux de rayonnement dans des environnements simples et complexes (Matzarakis *et al.*, 2021).

- SOLWEIG (*Solar LongWave Environmental Irradiance Geometry*) est un modèle de rayonnement estimant les variations spatiales à haute résolution des flux de rayonnement 3D et de la T_{mrt} . Il est disponible dans un plugin QGIS intitulé UMEP (*Urban Multi-scale Environmental Predictor*) (Lindberg *et al.*, 2008).

Le Tableau 1 présente quelques propriétés des logiciels sélectionnés.

Tableau 1. Brève présentation des quatre logiciels sélectionnés.

Modèle	Formats en entrée	Indices calculés	Liaisons	Avantage principal	Formats d'export	Logiciel libre ?
SkyHelios (Allemagne)	Raster (.csv, .txt, etc.) Vecteur (.shp, .dae, etc.)	- UTCI - PET - PT	CAO SIG	Plusieurs formats spatiaux ; Calcul rapide et robuste du SVF	Multiples (.csv, .txt, etc.)	Non
LASER/F (France)	Format propriétaire (.geo)	- UTCI - PET - SET* - PMV	SIG	LOD (<i>Level Of Detail</i>) géométrique 3	.csv .vtk	Non
RayMan Pro (Allemagne)	Raster (.bmp, etc.) Format propriétaire (.obs)	- UTCI - PET, mPET - SET* - PT, PMV	SIG	Large éventail d'indices calculés ; Haute résolution temporelle	Multiples (.txt, etc.)	Non
SOLWEIG (Suède)	Raster (.txt, .tif, etc.) Vecteur (.shp, .geojson, etc.)	- UTCI - PET	SIG	Calcul robuste de la T _{mrt} pour de faibles angles d'élevation du soleil	Multiples (csv, png, etc.)	Oui

2. Inter-comparaison des modèles sélectionnés

L'étude comparative utilisera un modèle numérique 3D réalisé sur la base d'un relevé lasergrammétrique du site d'étude. Celui-ci sera adapté aux différents formats d'entrée des logiciels sélectionnés. Des mesures environnementales telles que la vitesse du vent, l'humidité relative, le rayonnement global et le flux de sève ont été effectuées sur le site d'étude durant l'été 2023. Des données de température de surface ont également été acquises grâce à des caméras thermiques et à des thermoboutons fixés sur les façades. Enfin, un système mobile composé de caméras RVB (Rouge Vert Bleu) et d'une caméra thermique a été spécialement conçu. Les résultats simulés de la T_{mrt} seront comparés et validés sur la base de ces données expérimentales. Les tendances, les écarts et la sensibilité aux conditions générales de simulation, entre autres, pourront alors être observés et analysés.

Conclusion

Cette étude se concentre sur le potentiel, les exigences et les limites des logiciels de simulation du microclimat urbain disponibles et à usage gratuit. Elle peut servir de référence aux chercheurs et aux urbanistes pour sélectionner la solution logicielle la plus adaptée à leur application, effectuer des développements complémentaires lorsque l'outil est ouvert, et réaliser des tests en limitant les frais liés à une licence commerciale.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier le PHC TOUBKAL (TOUBKAL 48579TJ) pour son soutien financier ainsi que TIR4sTREEt (ANR- 21 CE 22 0021) pour la mise à disposition de sa base de données.

Bibliographie

- Kastendeuch P.P., Najjar G., Colin J., 2017 : Thermo-radiative simulation of an urban district with LASER/F. *Urban Clim.* **21**, 43–65.
- Lindberg F., Holmer B., Thorsson S., 2008 : SOLWEIG 1.0—Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *Int. J. Biometeorol.* **52**, 697–713.
- Matzarakis A., Gangwisch M., Fröhlich D., 2021 : RayMan and SkyHelios Model, in: Palme, M., Salvati, A. (Eds.), *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies*. Springer International Publishing, Cham, pp. 339–361.