

*Article de synthèse publié à l'issue d'une présentation orale lors de la table ronde organisée le 12 mai 2022 à Dijon*

## **Dépasser le développement d'expertise locale en climatologie urbaine pour accélérer et élargir sa prise en compte dans les politiques de gestion de la surchauffe urbaine**

Julia Hidalgo

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires (LISST), Centre Interdisciplinaire d'Études Urbaines (CIEU), Toulouse, France

**Résumé** – La mise à l'agenda du changement climatique est une fenêtre d'opportunité vers une meilleure articulation entre la production de savoirs climatiques locaux et les besoins opérationnels en urbanisme. Ce sujet de recherche n'est pas nouveau, la climatologie urbaine appliquée à l'urbanisme est un objet d'étude qui regroupe une communauté de recherche interdisciplinaire et plutôt bien organisée à l'échelle internationale depuis les années 1970, mais reste à ce jour un défi important pour les chercheurs et les acteurs opérationnels de toutes les villes. Les obstacles à cette articulation sont nombreux. Cet article met l'accent sur la nécessité pour la recherche française de mieux articuler les modes de production des connaissances et sa diffusion à travers les acteurs économiques et opérationnels. Après un bref état des lieux de la recherche en climatologie en France, plusieurs pistes sont mises en avant : la nécessité de surpasser la spécificité des résultats de recherche en climatologie urbaine, propres à chaque terrain d'étude, qui rend difficile la généralisation des conclusions ; un meilleur échange entre chercheurs travaillant dans des structures publiques et privées ; la nécessité de réfléchir collectivement à la mise en place de formations (initiale et continue) spécifiques ; et finalement, la nécessité de poursuivre les collaborations avec des juristes de l'environnement afin de faire progresser de concert le cadre réglementaire et la recherche. Car c'est ce contexte, in fine, qui va déterminer la capacité des collectivités à agir et à accéder à des diagnostics microclimatiques adaptés à une mise en œuvre des plans d'adaptation à l'échelle locale.

**Mots-clés** : climat urbain, surchauffe urbaine, planification urbaine, adaptation.

**Abstract** – **Go beyond the development of local expertise in urban climatology to accelerate and broaden its consideration in urban overheating management policies.** Climate change agenda is a window of opportunity for better coordination between the production of local climate knowledge and operational needs in urban planning. This subject is not new, urban climatology applied to urban planning is a research subject that brings together an interdisciplinary and rather well organized research community on an international scale since the 1970s, but remains to this day a major challenge for researchers and operational actors in all cities. The obstacles to this articulation are numerous, this article emphasizes the need for French research to better articulate the ways of knowledge production and its dissemination through economic and operational actors. After a brief overview of urban climate research in France, several ideas on how to progress in this field are put forward: the need to overcome the specificity of research results in urban climatology, specific to each city, which makes it difficult to generalize results; better networking of researchers working in public and private structures; the need to collectively think on the implementation of specific (initial and continuing) training; and finally, the need to continue collaborations with environmental lawyers in order to advance the regulatory and research context together, because it is this context in fine, which will determine the ability of communities to act and access to microclimate diagnostics adapted to the implementation of adaptation plans at the local level.

**Keywords**: urban climate, urban overheating, urban planning, adaptation.

Auteure de correspondance : [julia.hidalgo@univ-tlse2.fr](mailto:julia.hidalgo@univ-tlse2.fr)

## Introduction

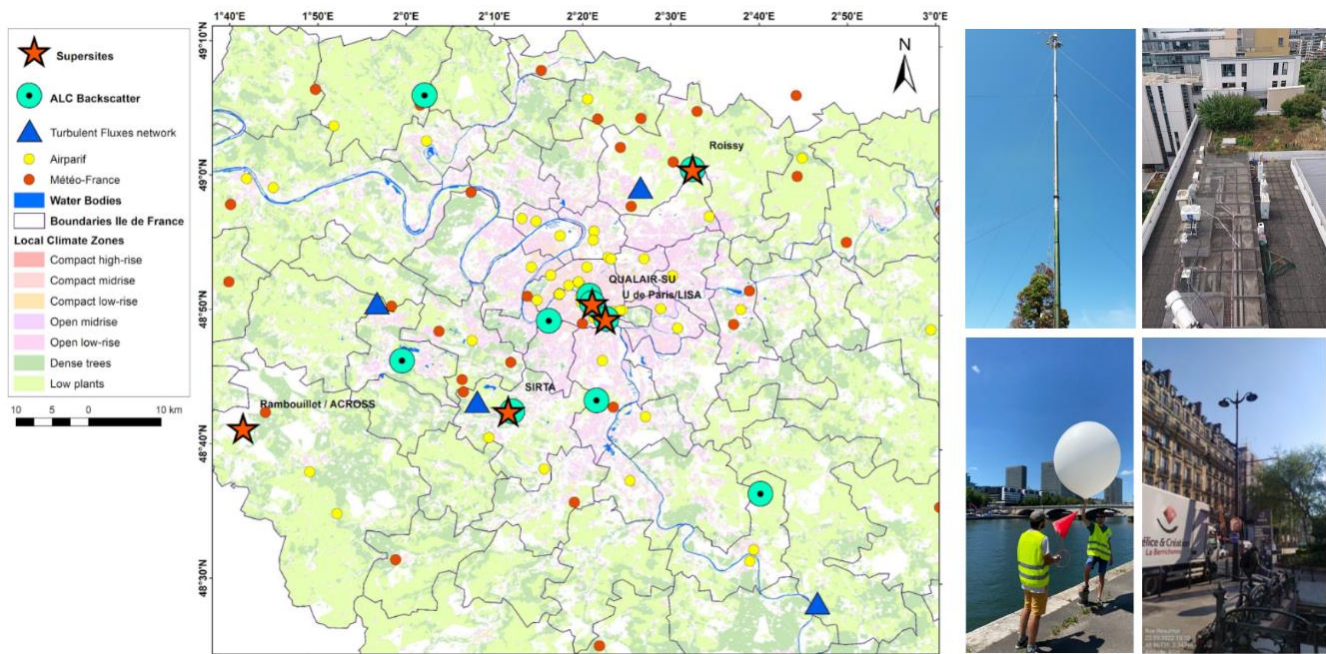
Face aux défis actuels d'adaptation au changement climatique, les collectivités territoriales cherchent de plus en plus à avoir des outils pour comprendre le microclimat urbain et en tenir compte à l'échelle opérationnelle dans la planification et/ou l'aménagement urbain. Dans le cadre du projet de recherche ANR-MApUCE (2015-2019), une analyse des approches exemplaires tant en France qu'à l'étranger a permis d'analyser un panel de projets considérés comme des « bonnes pratiques » pour identifier les leviers qui ont permis à ces projets de voir le jour et d'aboutir, et pour capitaliser sur leurs acquis et leurs points de fragilité (Lopez, 2015). Dans la plupart des bonnes pratiques étudiées, on repère une même succession d'étapes pour la mise en œuvre de mesures et d'actions en faveur du confort climatique urbain : *i*) l'étude au travers de campagnes de mesures, de modélisation, d'approches historiques ou de diagnostic ; *ii*) l'expérimentation sur des sites et opérations témoins, là encore au travers de campagnes de mesures et de modélisations avec un suivi dans le temps et les saisons ; *iii*) la formalisation à travers la réglementation (dans le plan climat ou le plan local d'urbanisme) ou de simples recommandations (à travers des chartes par exemple) ; *iv*) et enfin, la mise en œuvre concrète et l'évaluation (bien que souvent, cette dernière étape est la moins aboutie). Cette analyse a montré que le facteur humain est fondamental pour réussir la prise en compte des données climatiques dans l'urbanisme. En effet, les enquêtes ont révélé le rôle fondamental que jouent des personnes-relais entre les sphères scientifiques et expertes qui produisent les connaissances climatiques, et celles des usagers auprès des collectivités locales. Ces personnes peuvent jouer un rôle de « passeurs » grâce à leur sensibilisation à l'intérêt de la démarche, leur implication et leur insertion dans les réseaux d'acteurs multiples.

La pérennité des réseaux locaux de recherche, une certaine masse critique et la circulation de savoirs entre structures semblent être gage d'un certain succès dans l'appropriation croisée des enjeux climatiques et opérationnels et leur implémentation. L'article de G. Bretagne dans ce même numéro retrace bien cet historique pour le cas toulousain. Néanmoins, on le sait, il ne sera pas possible de

développer de telles expériences et expertises scientifiques approfondies pour tous les territoires. À partir d'un rapide état des lieux de la recherche en climatologie urbaine à l'échelle nationale, cet article a pour but, dans un premier temps, de discuter la disponibilité des méthodes, données et expertises dont la France dispose pour accompagner les collectivités locales, indépendamment de leur localisation et de leur taille, dans l'intégration de la question de la surchauffe urbaine dans les démarches d'urbanisme. Il s'agira dans un deuxième temps de proposer quelques pistes, non exhaustives, de travail futur autour de la structuration de la recherche et de la formation ainsi que de l'évolution réglementaire.

## 2. Un bref état des lieux de la recherche en climatologie urbaine en France

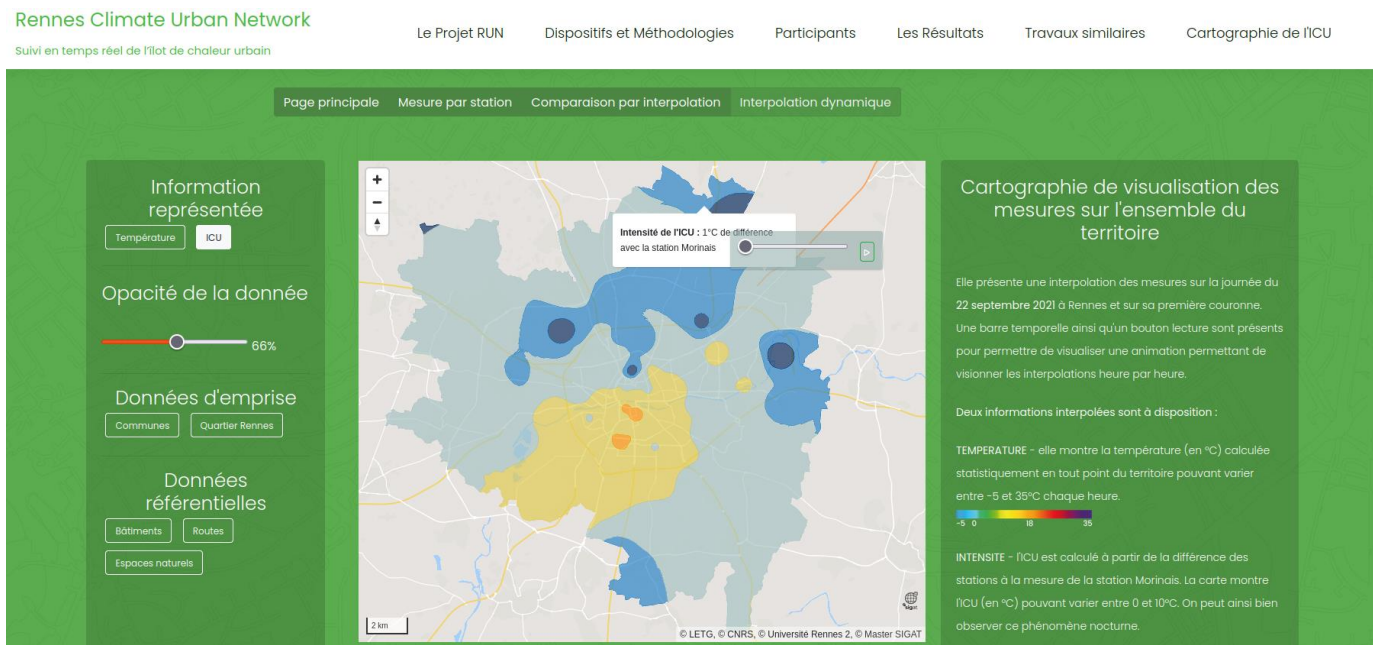
La climatologie urbaine est un champ de recherche interdisciplinaire qui implique des thématiques ainsi que des échelles spatiales et temporelles variées. Un état des lieux de la recherche en France effectué en 2021 (Hidalgo, 2022) illustre comment les études en climatologie urbaine se mettent en place petit à petit depuis les années 1990 et gagnent en ampleur et couverture territoriale. En effet, plusieurs campagnes de mesures à l'échelle urbaine sont effectuées à Paris en 1994, 2009-2010 et 2022 (ECLAP, novembre 1994 à mars 1995, Dupont *et al.*, 1999 ; MEGAPOLI, l'été-hiver 2009-2010, Baklanov *et al.*, 2010 ; PANAM, été 2022 ; figure 1), à Marseille (ESCOMPTE, été 2002, Cros *et al.*, 2004 ; Mestayer *et al.*, 2005) et finalement Toulouse en 2004 et 2021 (CAPITOUL, février 2004 à mars 2005, Masson *et al.*, 2008 ; CAMCATT, été 2021). L'obtention de jeux de données sur l'atmosphère urbaine à une telle échelle spatiale est très coûteuse en termes de déploiement expérimental et humain, et répond souvent à divers objectifs expérimentaux et une mise en commun de moyens de plusieurs équipes de recherche. Historiquement, ont été couplées, par exemple, les études de qualité de l'air comme la formation et transformation des aérosols urbains et la dispersion de rejets industriels, et de météorologie urbaine avec l'étude des échanges d'énergie entre la surface urbaine et l'atmosphère, et l'impact de la ville sur l'écoulement de l'air au-dessus.



**Figure 1.** Aperçu de la campagne expérimentale PANAME2022<sup>1</sup>. À gauche : carte des sites ; à droite : mesures de flux, instruments de télédétection et in-situ situés à l'université de Paris/ site Lisa, lancement du radiosondage à Paris intra-muros (CNRM), station météo sur lampadaire (CNRM). Source : CNRM/VILLE. *Overview of the PANAME2022 experimental campaign.*

L'îlot de chaleur urbain est le phénomène qui a attiré le plus d'attention et a été monitoré sur diverses villes françaises à partir de ces moyens expérimentaux éphémères ou à partir des réseaux

d'observation pérennes (Rennes, 2006, figure 2 ; Dijon, 2014 ; Toulouse, 2017 ; et plus récemment, Grenoble, 2019).



**Figure 2.** Suivi en temps réel de l'ICU de Rennes. Capture d'écran, le 16 décembre 2022 à 12 h sur le site <https://run.letg.cnrs.fr/carte-interpolation-icu.html>. *Real-time monitoring of the Rennes Urban Heat Island. Screenshot, December 16, 2022 at 12 p.m. on the website https://run.letg.cnrs.fr/carte-interpolation-icu.html.*

<sup>1</sup> <https://paname.aeris-data.fr/>

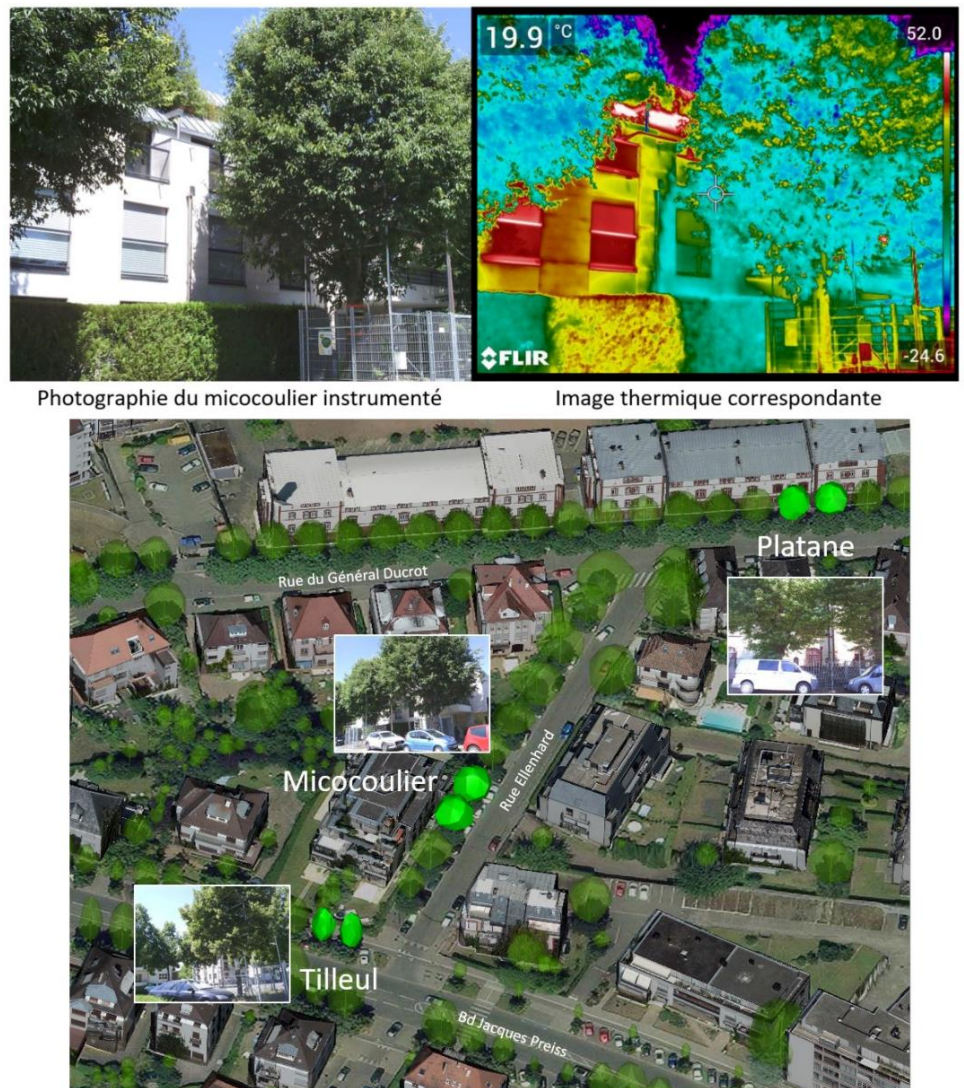
Son amplitude et son intensité varient en fonction de la localisation, des caractéristiques de la ville et des conditions météorologiques à plus grande échelle. À Marseille, il n'excède pas 3°C à cause de l'effet rafraîchissant de la brise marine (Lemonsu *et al.*, 2004), mais pour des villes continentales, ces valeurs sont plus fortes. Il atteint 6°C à Toulouse, avec une extension verticale de 2200 m (Hidalgo *et al.*, 2008a). Il est de 7,5°C à Strasbourg (Ficher, 2009) ou encore 10°C à Paris sous conditions favorables de ciel clair, mais seulement de 2,3°C les jours venteux et couverts (Cantat, 2004).

Des campagnes de mesures sur des périmètres spatiaux plus restreints (du quartier à la rue) ont également eu lieu sur différentes villes. Strasbourg a mis en place en 2002, dans le cadre du projet RECLUS, un échafaudage installé dans une rue qui

a permis de documenter les différents processus physiques qui interviennent dans l'élaboration du microclimat à l'intérieur d'un canyon urbain (Najjar *et al.*, 2004). L'étude du végétal en milieu urbain a fait l'objet de plusieurs études basées sur des mesures physiques. Tout d'abord, Ecorurb avait permis d'étudier de 2003 à 2012, à Rennes et Angers, les effets de l'urbanisation et du climat sur la biodiversité locale et sur l'émergence de risques biologiques. Entre 2012 et 2015, Strasbourg a également fortement investi le sujet de l'évaluation et la modélisation des interactions entre le végétal et le milieu urbain. Pour cela, la végétation a été suivie sur deux sites sur trois saisons végétatives complètes. Vingt-trois sites de mesures complémentaires sur Strasbourg et alentours ont complété ce projet. Plus récemment, le projet de recherche TIR4STREET a permis d'instrumenter et de suivre plusieurs espèces d'arbres au cours de l'année (figure 3).

**Figure 3.** Aperçu de la campagne expérimentale du projet Thermal InfraRed for Street Trees (TIR4STREET) à Strasbourg. En haut : composition du micocoulier (espèce méditerranéenne introduite à Strasbourg) avec une image dans le visible et son équivalent dans le thermique. En bas : site d'expérimentation. Source ICube/TRIO - INSA.

*Overview of the Thermal InfraRed for Street Trees (TIR4STREET) experimental campaign in Strasbourg. Top: composition of the hackberry tree (Mediterranean species introduced to Strasbourg) with a visible image and its thermal equivalent. Bottom: experimental site. Source ICube/TRIO - INSA.*



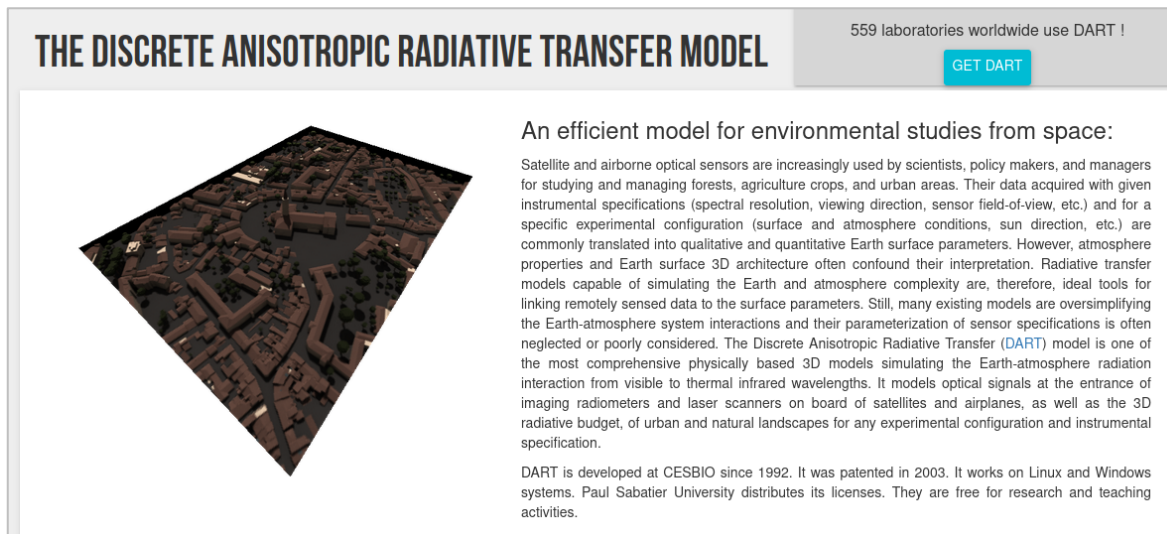
Sans pouvoir être exhaustif sur tous les projets effectués autour du couple climat-végétal en milieu urbain, il serait opportun de citer le projet ANR-VegDUD (2010-2014) qui a visé une évaluation des impacts de politiques urbaines de végétalisation des espaces privés et collectifs. Le lien entre microclimat urbain et ressenti humain a fait l'objet de diverses études à Toulouse : dès 2010 avec le projet PIRVE « Formes urbaines, modes d'habiter et climat urbain dans le périurbain toulousain. Projet exploratoire de recherche interdisciplinaire », et entre 2012 et 2016 à Paris, Marseille et Toulouse avec l'ANR-EUREQUA (Haouès-Jouve *et al.*, 2021). Dans ces projets, des méthodes de mesure physique et des enquêtes ont été déployées simultanément afin d'évaluer la perception et le ressenti d'habitants et usagers des espaces publics en différents lieux du quartier (Lemonsu *et al.*, 2019 ; Haouès-Jouve *et al.*, 2021).

Plusieurs stratégies de modélisation ont également été développées ou adoptées par les équipes françaises :

1) La modélisation géostatistique (figure 2) permet de spatialiser les valeurs d'un paramètre mesuré sur quelques postes météorologiques irrégulièrement répartis afin d'obtenir une valeur en tout point de l'espace en s'appuyant sur les caractéristiques de

surface (topographie, occupation du sol, etc.). Plusieurs outils de spatialisation des données de température de l'air issues de moyens de mesure éphémères ou pérennes ont été développés par les équipes de Rennes, Dijon et Toulouse (Touati *et al.*, 2020 ; Joly, 2018 ; Foissard, 2015).

2) Des modèles physiques de dynamique de fluides permettent, quant à eux, de produire une représentation de la complexité des transferts entre le sol et l'atmosphère. Il existe plusieurs familles de modèles physiques qui permettent d'aborder les phénomènes météorologiques et climatiques à différentes échelles urbaines, de celle de toute la ville à celle d'un aménagement ou d'une rue. Cette stratégie est de plus en plus utilisée pour quantifier les effets de certaines stratégies d'adaptation comme l'introduction de végétation, la modification des formes urbaines ou encore l'utilisation de matériaux innovants. Plusieurs modèles français permettent d'effectuer une modélisation du bilan radiatif à l'échelle de la rue ou d'un aménagement comme le modèle SOLENE (Groleau, 1998) élaboré au CERMA de Nantes ou le modèle DART<sup>2</sup> développé au CESBIO par exemple (figure 4).



**Figure 4.** Illustration du modèle DART développé par le CESBIO. Capture d'écran, le 16 décembre 2022 à 12h10 sur le site : <https://dart.omp.eu/#/>. Illustration of the DART model developed by CESBIO. Screenshot, December 16, 2022 at 12:10 p.m. on the website: <https://dart.omp.eu/#/>.

Concernant les modèles numériques qui permettent de produire des diagnostics atmosphériques et de

consommation d'énergie à l'échelle urbaine, Météo-France est à l'origine du modèle Town

<sup>2</sup> <https://www.cesbio.cnrs.fr/dart/>

Energy Balance (TEB ; Masson, 2000), modèle qui permet d'effectuer des simulations à l'échelle urbaine avec une résolution horizontale kilométrique voire hectométrique. Ce modèle a permis des avancées significatives dans la modélisation des processus de surface, du microclimat dans la rue, de la dynamique temporelle et de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain.

Ce modèle urbain peut travailler de façon autonome mais il peut également être intégré à une plateforme de modélisation appelé SURFEX (Masson *et al.*, 2013) qui permet de représenter la ville dans son environnement naturel. Quand SURFEX est en plus couplé à un modèle atmosphérique à méso-échelle (échelle régionale), il permet de représenter des interactions avec l'atmosphère au-dessous. Ceci est nécessaire, par exemple, sur des configurations orographiques complexes ou près des zones côtières où des brises générées ailleurs peuvent fortement modifier les conditions microclimatiques locales. En France, le modèle Méso-NH (Lac *et al.*, 2018) est souvent utilisé mais d'autres modèles à méso-échelle comme WRF, également utilisés notamment par les équipes de Dijon et Strasbourg (Kholer *et al.*, 2016 et 2017).

Le modèle TEB a été en constante évolution afin d'améliorer la prise en compte des interactions entre surfaces bâties et végétation (les processus physiques et l'évaluation de TEB-Veg sont décrits dans Lemonsu *et al.*, 2012 ; pour les effets radiatifs des arbres de TEB-Tree voir Redon *et al.*, 2017 ; pour les effets énergétiques et dynamiques, Redon *et al.*, 2020) ; de la présence d'eau et de neige sur les routes et les toits (Stavropoulos-Laffaille, 2018) ; pour tenir compte des matériaux et techniques constructives dans les différentes régions françaises (Tornay *et al.*, 2017) ; ou encore pour tenir compte de la typologie des usagers et la consommation d'énergie des ménages dans leur résidence (Schoetter *et al.*, 2017). Plusieurs projets de recherche ont utilisé ce modèle pour étudier :

- La caractérisation de l'ICU et de la couche limite urbaine à Strasbourg (Kastendeuch, 2010).
- Les interactions entre l'ICU et la brise marine (Lemonsu *et al.*, 2006) ou encore la génération de la brise urbaine à Paris (Lemonsu and Masson, 2002) et Toulouse (Hidalgo *et al.*, 2008a et 2008b).
- L'évaluation de l'impact des scénarios climatiques et d'aménagement sur le confort d'été avec ou sans évolution dans le temps de la surface urbaine : EPICEA (2008-2010)<sup>3</sup>, CLIM2 (2009-2010)<sup>4</sup>, ANR-VURCA (2009-2012)<sup>5</sup>, ANR-MUSCADE (2009-2011)<sup>6</sup>, RTRA-ACCLIMAT (2010-2012)<sup>7</sup>.
- La proposition par le projet RTRA-ACCLIMAT (2010-2012) d'une plateforme multi-modèles (évolution microclimatique en fonction de l'évolution du climat régional, de la tâche urbaine et de techniques constructives et de rénovation) nommée CLUE. La plateforme *CLUE de Météo France* est passée aujourd'hui en phase opérationnelle pour les bureaux d'études de Météo-France qui ont déjà proposé plusieurs projets aux villes de Strasbourg, Marseille et Lille.
- Des simulations microclimatiques produites dans le cadre du projet de recherche ANR-MapUCE (2015-2019) pour une cinquantaine de villes en France (Schoetter *et al.*, 2019 ; Gardes *et al.*, 2020 ; Suher-Carthy *et al.*, 2023 ; figure 5). Dans ce cadre, des informations concernant l'îlot de chaleur urbain pour deux situations météorologiques (types de temps) favorables à son développement et des informations sur la direction et l'intensité du vent ont été créées avec une visée opérationnelle en urbanisme (tableau 1). Plusieurs projets de recherche ont été depuis développés et ont permis d'améliorer certains de ces outils : le projet ADEME-PAENDORA (2017-2019), EU-URCLIM (2018-2020), ADEME-PAENDORA\_2 (2022-2024).

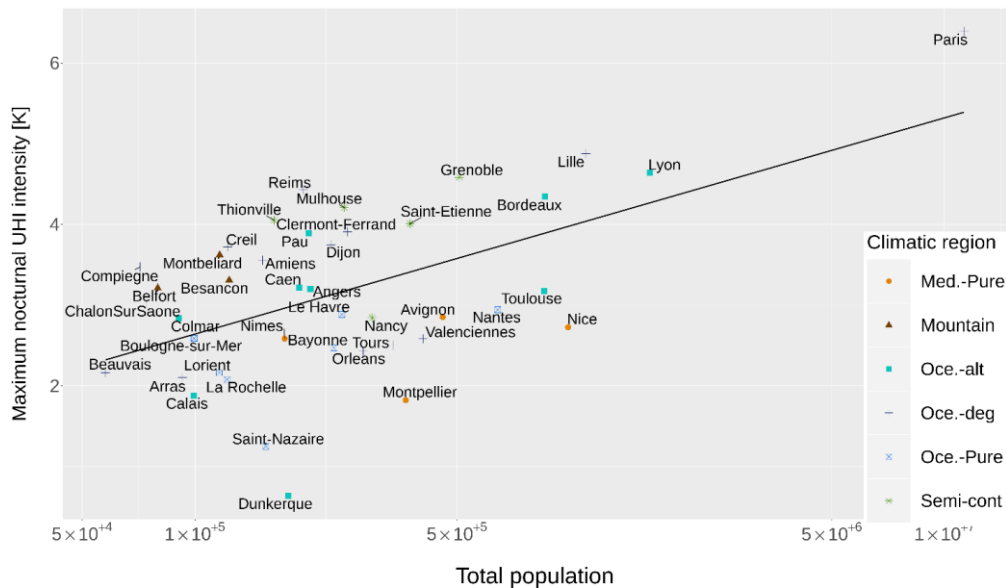
<sup>3</sup> <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article271>

<sup>4</sup> <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article370>

<sup>5</sup> <http://www.cnrm.meteo.fr/ville.climat/spip.php?rubrique45>

<sup>6</sup> <http://www.cnrm.meteo.fr/ville.climat/spip.php?rubrique48>

<sup>7</sup> <http://www.cnrm.meteo.fr/ville.climat/spip.php?rubrique46>



**Figure 5.** Relation entre l'intensité maximale nocturne de l'îlot de chaleur urbain et la population totale d'une agglomération urbaine. Med.-Pure (Oce.-Pure) est la région climatique méditerranéenne pure (océanique), Oce.-deg (Oce.-alt) la région climatique océanique dégradée (altérée). Source : Gardes *et al.* (2020). *Relationship between the maximum nocturnal intensity of the urban heat island and the total population of an urban agglomeration. Med.-Pure (Oce.-Pure) is the pure Mediterranean (oceanic) climatic region, Oce.-deg (Oce.-alt) the degraded (altered) oceanic climatic region. Source: Gardes et al. (2020).*

**Tableau 1.** Villes étudiées dans le projet MAPUCE avec une classification par TTS disponible : UU – nom de l'unité urbaine ; ID\_obs – identifiant de la station d'observation de référence météorologique utilisée ; nom – nom de la station d'observation de référence météorologique utilisée ; nb\_TTS – nombres de TTS définis. Source : Jouglu *et al.*, 2019. *Cities studied in the MAPUCE project with a Local Weather Type classification available: UU – name of the urban unit; ID\_obs – identifier of the meteorological reference observation station used; name – name of the meteorological reference observation station used; nb\_TTS – numbers of TTS defined. Source: Jouglu et al., 2019.*

UU	ID	nom	TTS	UU	ID	nom	TTS
Amiens	80379002	AMIENS-GLISY	9	Lyon	69029001	LYON-BRON	8
Angers	49176001	LE LION D'ANG.	11	Marseille	13055025	MARSEILLE-OBS	12
Arras	62873001	ARRAS	7	Montbéliard	25388002	MONTBELIARD	12
Avignon	84007005	AVIGNON	8	Montpellier	34154001	MONTPELLIER	9
Bayonne	64102005	BAYONNE	10	Metz	57039001	METZ-FRESCATY	11
Beauvais	60639001	BEAUVAIS-TILLE	11	Mulhouse	68224006	MULHOUSE	8
Belfort	90010001	BELFORT	12	Nantes	44020001	NANTES-BOUGUENAI	8
Besançon	25056001	BESANCON	9	Nancy	54405001	NANCY-OCHEY	9
Béthune	62119002	BETHUNE	11	Nice	6088001	NICE	8
Bordeaux	33281001	BORDEAUX-MERIGNAC	9	Nîmes	30189001	NIMES	10
Boulogne-sur-Mer	62160001	BOULOGNE-SEM	10	Orléans	45055001	ORLEANS - LA S.	8
Caen	14137001	CAEN-CARPIQUET	10	Paris	28070001	CHARTRES	12
Calais	62548002	CALAIS-MARCK	8	Pau	64549001	PAU-UZEIN	10
Chalon-sur-Saône	71081001	CHALON-P ET C	9	Rennes	35281001	RENNES GALLET	10
Clermont-Ferrand	63113001	CLERMONT-FD	10	Reims	51183001	REIMS-PRUNAY	11
Colmar	68066001	COLMAR-INRA	7	Rouen	76116001	ROUEN-BOOS	9
Compiègne	60382001	MARGNY-LES-COMPIEGNE	10	Saint-Étienne	42005001	GRAND CLOS	12
Creil	60175001	CREIL	10	Saint-Nazaire	44184001	PTE DE CHEMOULIN	12
Dijon	21473001	DIJON TOISON	11	Strasbourg	67124001	STRASBOURG-ENTZHEIM	9
Douai/ Lens	59178001	DOUAI	10	Tarbes	65344001	TARBES-OSSUN	10
Dunkerque	59183001	DUNKERQUE	8	Thionville	91613001	CONGERVILLE-TH.	9
Grenoble	38384001	GRENOBLE	9	Toulouse	31069001	BLAGNAC	12
La Rochelle	17300009	LA ROCHELLE AERODROME	12	Toulon	83153001	CAP CEPET	11
Le Havre	76481001	OCTEVILLE	9	Tours	37179001	TOURS	10
Lille	59343001	LILLE-LESQUIN	11	Valenciennes	59606004	VALENCIENNES	10
Lorient	56185001	LORIENT-LANN BIHOUE	11				

Pour finir, les études à l'intersection entre les sciences du climat et de la santé commencent à être pilotées par notre communauté de recherche (par exemple, les projets ANR-H2C (2021-2025) ou ADEME-CASSANDRE (2022-2024)).

### 3. Discussion

Les recherches précédemment citées peuvent être classées en trois catégories générales :

1. les études qui ont eu pour objet de caractériser, par la mesure ou la modélisation, des processus intervenant dans les phénomènes microclimatiques (intensité et extension de l'îlot de chaleur urbain, création de brises, lien entre microclimat et confort humain, etc.) ;
2. les études qui ont évalué le rôle des facteurs influençant le climat urbain et ont quantifié le potentiel des leviers d'action (végétalisation, forme urbaine, arrosage de la chaussée, matériaux innovants, etc.) ;
3. finalement, les moins nombreuses, les études qui se sont concentrées sur les dimensions sociales, juridiques et/ou opérationnelles d'aide à la décision.

Ces travaux de recherche, bien que riches, diversifiés et complémentaires, ont permis d'étudier en vingt ans, avec plus ou moins de continuité, le microclimat urbain d'environ une douzaine de villes françaises (Dijon, Grenoble, Lyon, Marseille, Nancy, Nantes, Paris, Rennes, Saint Étienne, Strasbourg et Toulouse). Avec une réglementation qui impose aux pouvoirs publics la prise en compte de l'adaptation climatique à l'échelle locale pour toute ville de plus de vingt mille habitants, il sera nécessaire de mettre en place, dans un temps court, des actions complémentaires qui permettent un saut quantitatif dans la diffusion des savoirs et la production de données et expertises microclimatiques pour tous ces territoires.

Plusieurs pistes de travail peuvent être envisagées. *i)* La poursuite du développement de méthodes génériques de production de données spatiales, comme ce fût le cas de projets internationaux, comme WUDAPT, pour les Zones

Climatiques Locales, et nationaux comme MApUCE et PAENDORA, pour les données urbaines nécessaires aux simulations climatiques à méso-échelle. Une certaine genericité est ici recherchée du point de vue des méthodes et outils qui, idéalement, doivent s'appuyer sur des bases de données internationales ou nationales afin d'être applicables partout. C'est déjà le cas du logiciel GeoClimate<sup>8</sup> qui produit des indicateurs de morphologie urbaine et d'occupation du sol ; de la base de données architecturale DANUBE (Tornay *et al.*, 2017) qui fournit des informations sur les matériaux urbains et les techniques constructives ; et des outils de modélisation microclimatique existants.

*ii)* Le transfert de ces méthodes vers des acteurs économiques qui pourront fournir un service climatique aux collectivités. En effet, plusieurs actions de transfert vers des bureaux d'études ont eu lieu récemment. Météo-France propose à travers son bureau d'études des modélisations via la plateforme CLUE<sup>9</sup> et des analyses par types de temps, outils développés initialement pendant les projets de recherche portés par le CNRM. La fondation de recherche CNRS GEOMANUM a pris en main la valorisation et la diffusion de GeoClimate, développé par le LabSTICC. Le bureau d'études SOLENOS propose ses services de modélisation par SOLENE microclimat développé au CERMA, etc. Mais, dans le champ de la gestion de la surchauffe urbaine, le développement d'outils d'aide à la décision n'est pas uniquement aux mains des laboratoires de recherche publics. De nombreux développements logiciels ou un accompagnement sont également proposés par des structures d'acteurs publics et privés comme Efficacity, ou privés comme Kermap E6 consulting, Cap Gemini, UTOPIES, TRIBU, Eco2initiative, ... pour n'en citer que quelques-uns.

*iii)* La structuration de la communauté de recherche qui facilite la mise en réseau des chercheurs. L'initiative de séminaires récurrents portés par le LIED depuis 2019, qui sont en train de se structurer en Réseau thématique avec l'accompagnement du CNRS, est un bon exemple des dynamiques qui peuvent être mises en place dans ce sens. En effet, tous chercheurs, peu importe son statut, peut

<sup>8</sup> <https://github.com/orbisgis/geoclimate>

<sup>9</sup> <https://meteofrance.fr/missions-/changement-climatique-laide-la-decision>

s'inscrire via l'adresse [climat\\_urbain@listes.univ-paris-diderot.fr](mailto:climat_urbain@listes.univ-paris-diderot.fr) aux quatre groupes de travail existants à l'heure actuelle (moyens d'observation ; modélisation ; applications opérationnelles ; formation) ou en proposer des nouveaux. Une autre initiative dans ce sens est le Service d'Observation National, SNO-Observil<sup>10</sup>, qui a été créé en 2020. Les données collectées par les réseaux d'observations météorologiques urbaines de Toulouse, Rennes et Dijon, sont intégrées dans cette plateforme, ce qui permet une certaine homogénéité des métadonnées et une mise en commun. Néanmoins, rien n'existe actuellement pour la mutualisation et la pérennisation des données issues des exercices de modélisation ou de campagnes d'observations qualitatives (des enquêtes, par exemple).

iv) On sait que la production de connaissances techniques (données, méthodes) n'est qu'un des aspects nécessaires à la mise en place des plans d'adaptation. Depuis une vingtaine d'années, l'évolution réglementaire a permis la création d'un contexte favorable à la prise en compte des enjeux climatiques et énergétiques à l'échelle locale. Des outils spécifiques comme le PCAET ont été créés et les outils de planification réglementaire, SCoT et PLU, ont aujourd'hui les fondements juridiques nécessaires pour encadrer cette prise en compte du climat local et les enjeux qui lui sont associés chaque fois qu'ils seront portés politiquement dans ce sens (Lambert *et al.*, 2019). Il semble pertinent de continuer à développer et d'être au courant des travaux interdisciplinaires d'analyse du cadre réglementaire et du cadre opérationnel d'élaboration des outils d'urbanisme en lien avec les questions de surchauffe urbaine.

## Références

Baklanov A., Lawrence M., Pandis S., Mahura A., Finardi S., Moussiopoulos N., Beekmann M., Laj P., Gomes L., Jaffrezo J.-L., Borbon A., Coll I., Gros V., Sciare J., Kukkonen J., Galmarini S., Giorgi F., Grimmond S., Esau I., Stohl A., Denby B., Wagner T., Butler T., Baltensperger U., Builtjes P., van den Hout D., van der Gon H. D., Collins B., Schluenzen H., Kulmala M., Zilitinkevich S., Sokhi R., Friedrich R., Theloke J., Kummer U., Jalkanen L., Halenka T., Wiedensholer A., Pyle J., and Rossow W.B., 2010. MEGAPOLI: concept of multi-scale modelling of megacity impact on air quality and climate. *Adv. Sci. Res.*, 4, 115-120,

<https://doi.org/10.5194/asr-4-115-2010>

- Cantat O., 2004. L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps. *Norois*, 191, 2, <https://doi.org/10.4000/norois.137>
- Cros B., Durand P., Cachier H., Drobinski P., Fréjafon E., Kottmeier C., Perros P.-E., Peuch V. H., Ponche J.-L., Robin D., Saïd F., Toupance G., Wortham H., 2004. The ESCOMPTE Program: an overview. *Atmospheric Research*, Elsevier, 69 (3-4), 241-279. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2003.05.001>
- Dupont E., Menut L., Carissimo B., Pelon J., Flamant P. H., 1999. Comparison between the atmospheric boundary layer in Paris and its rural suburbs during the ECLAP Experiment. *Atmospheric Environment*, 33, 979-994.
- Fischer L., 2009. Phénomènes radiatifs et îlot de chaleur urbain dans l'agglomération de Strasbourg. *Revue Géographique de l'Est*, 45, 2, <https://doi.org/10.4000/rge.473>
- Foissard X., 2015. *L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique : application à l'agglomération rennaise*. Thèse de doctorat, Univ. Rennes 2, 248 pages.
- Gardes T., Schoetter R., Hidalgo J., Long N., Masson V., 2020. Statistical prediction of the nocturnal urban heat island intensity based on urban morphology and geographical factors - An investigation based on numerical model results for a large ensemble of French cities. *Science of the total environment*, 737, 139253, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139253>
- Groleau D., 1998. Solene, Guide d'utilisation. CERMA, 62 p.
- Haouès-Jouve S., Lemonsu A., Gauvreau B., Amossé A., Can A., Carissimo B., Gaudio N., Hidalgo J., Lopez-Rieux C. X., Chouillou D., Richard E., Adolphe L., Berry-Chikhaoui I., Bouyer J., Challéat S., de Munck C., Dorier E., Guillaume G., Hoonaert S., Le Bras J., Legain D., Levy J.-P., Masson V., Marry S., Nguyen-Luong D., Rojas Arias J.-C., Gao Z., 2021. Cross-analysis for the assessment of urban environmental quality: An interdisciplinary and participative approach. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 49(3), 1024-1047. <https://doi.org/10.1177/23998083211037350>
- Hidalgo J., Masson V., Pigeon G., 2008b. Urban-breeze circulation during the CAPITOUL experiment: Numerical approach. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 102(3-4), 243-262
- Hidalgo J., Pigeon G., Masson M., 2008a. Urban-Breeze Circulation during the CAPITOUL Experiment: Experimental Data Analysis Approach. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 102 (3-4), 223-241 <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00703-008-0329-0>
- Hidalgo J., 2022. Climat et urbanisme : Apports de la dimension cartographique de la climatologie urbaine à la mise en place des plans d'adaptation. Milieux et changements globaux. HdR. École Normale Supérieure de Paris - ENS Paris, <tel-03867034>
- Joly D., Castel T., Pohl B., Richard Y., 2018. Influence of spatial information resolution on the relation between elevation and temperature. *Int. J. Climatol.* 38, 5677-5688.

<sup>10</sup> <https://osuna.univ-nantes.fr/services-dobservation/sno-observil-1>

<https://doi.org/10.1002/joc.5771>

Jouglar R., Hidalgo J., Pouponneau B., 2019. Définition des situations météorologiques locales pour une cinquantaine de villes françaises. *La Météorologie*, 106, <http://hdl.handle.net/2042/70370>

Kastendeuch P. P., Najjar G., Lacarrere P., Colin J., 2010. Modélisation de l'îlot de chaleur urbain à Strasbourg. *Climatologie*, 7, 21-36.

Kohler M., Tannier C., Blond N., Clappier A., 2017. Can urban-sprawl countermeasures create energy-efficient cities? A case study of the Strasbourg-Kehl urban region, France-Germany. *Urban Climate*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2016.12.006>

Kohler M., Blond N., Clappier A., 2016. A city-scale degree-day method to assess building space heating energy demands in Strasbourg Eurometropolis (France). *Applied Energy*, 184, 40: 54, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.075>

Lac C., Chaboureau J.-P., Masson V., Pinty J.-P., Tulet P., Escobar J., Leriche M., Barthe C., Aouizerats B., Augros C., Aumond P., Auguste F., Bechtold P., Berthet S., Bieilli S., Bosseur F., Caumont O., Cohard J.M., Colin J., Couvreux F., Cuxart J., Dauhut T., Delautier G., Ducrocq V., Filippi J.-B., Gazen D., Geoffroy O., Gheusi F., Honnert R., Lafore J.-P., Lebeaupin Brossier C., Libois Q., Lunet T., Mari C., Maric T., Mascart P., Mogé M., Molinié G., Nuissier O., Pantillon F., Peyrillé P., Pergaud J., Perraud E., Pianezze J., Redelsperger J.-L., Ricard D., Richard E., Riette S., Rodier Q., Schoetter R., Seyfried L., Stein J., Suhre K., Thouron O., Turner S., Verrelle A., Vié B., Visentin F., Vionnet V., Wautel P., 2018. Overview of the Meso-NH model version 5.4 and its applications. *Geoscientific Model Development*, 11, 1929-1969, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1929-2018>

Lambert M.-L., Hidalgo J., Masson V., Bretagne G., Haouès-Jouve S., 2019. Urbanisme et (micro-) climat. Outils et recommandations générales pour les documents de planification. Guide méthodologique issu du projet MapUCE.

Lemonsu A., Masson V., 2002. Simulation of a summer urban Breeze over Paris. *Boundary-Layer Meteorol.*, 104, 463-490

Lemonsu A., Grimmond C. S. B., Masson V., 2004. Modelling the surface Energy Balance of an old Mediterranean city core. *J. Appl. Meteorol.*, 43, 312-327.

Lemonsu A., Masson V., Pigeon G., Moppert C. 2006. Sea-Town Interactions over Marseille: 3D Urban Boundary Layer and thermodynamic fields near the surface. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3), 171-178.

Lemonsu A., Masson V., Shashua-Bar L., Erell E., Pearlmutter D., 2012. Inclusion of vegetation in the Town Energy Balance model for modelling urban green areas. *Geosci. Model Dev.*, 5, 1377-1393, <https://doi.org/10.5194/gmd-5-1377-2012>.

Lemonsu A., Amossé A., Gaudio N., Haouès-Jouve S., Hidalgo J., Le Bras J., Legain D., Marchandise S., 2019. Comparison of microclimate measurements and perceptions as part of a global evaluation of environmental quality at neighbourhood scale. *International Journal of Biometeorology*, <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01686-1>

Lopez X., Haouès-Jouve S., Hidalgo J., 2015. *Integration of urban climate issues in urban planning: reflections on which are the keys of success*. ICUC9, Toulouse, France.

Masson V., Gomes L., Pigeon G., Liousse C., Pont V., Lagouarde J.-P., Voogt J., Salmond J., Oke T. R., Hidalgo J., Legain D., Garrouste O., Lac C., Connan O., Briottet X., Lachéradé S., Tulet P., 2008. The canopy and aerosol particles interactions in Toulouse urban layer (CAPITOU) experiment. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 102 (3-4), 135-157

Masson V., 2000. A physically-based scheme for the Urban Energy Budget in atmospheric models. *Boundary-Layer Meteorol.*, 94, 357-397.

Masson V., Le Moigne P., Martin E., Faroux S., Alias A., Alkama R., Belamari S., Barbu A., Boone A., Bouyssel F., Brousseau P., Brun E., Calvet J.-C., Carrer D., Decharme B., Delire C., Donier S., Essaouini K., Gibelin A. L., Giordani H., Habets F., Jidane M., Kerdran G., Kourzeneva E., Lafaysse M., Lafont S., Lebeaupin Brossier C., Lemonsu A., Mahfouf J.-F., Marguinaud P., Mokhtari M., Morin S., Pigeon G., Salgado R., Seity Y., Taillefer F., Tanguy G., Tulet P., Vincendon B., Vionnet V., Voldoire A., 2013. The SURFEXv7.2 land and ocean surface platform for coupled or offline simulation of Earth surface variables and fluxes. *Geoscientific Model Development*, 6, 929-960, <https://doi.org/10.5194/gmd-6-929-2013>

Mestayer P. G., Durand P., Augustin P., Bastin S., Bonnefond J.-M., Bénech B., Campistron B., Coppalle A., Delbarre H., Dousset B., Drobinski P., Druilhet A., Fréjafon E., Grimmond C.S.B., Groleau D., Irvine M., Kergomard C., Kermadi S., Lagouarde J.P., Lemonsu A., Lohou F., Long N., Masson V., Moppert C., Noilhan J., Offerle B., Oke T.R., Pigeon G., Puygrenier V., Roberts S., Rosant J.M., Saïd F., Salmond J., Talbaut M., Voog J., 2005. The urban boundary-layer field campaign in Marseille (ubl/clu-escompte) : set-up and first results. *Boundary-Layer Meteorology*, 114, 315-365.

Najjar G., Kastendeuch P. P., Stoll M.P., Colin J.R., Nerry F., Ringenbach N., Bernard J., De Hatten A., Luhache R., Viville D., 2004. Le projet Reclus, télédétection, rayonnement et bilan d'énergie en climatologie urbaine à Strasbourg. *La Météorologie*, 46, 44-50.

Redon E. C., Lemonsu A., Masson V., Morille B., Musy M., 2017. Implementation of street trees within the solar radiative exchange parameterization of TEB in SURFEX v8.0. *Geosci. Model Dev.*, 10, 385-411, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-385-2017>.

Redon E., Lemonsu A., Masson V., 2020. An urban trees parameterization for modeling microclimatic variables and thermal comfort conditions at street level with the Town Energy Balance model (TEB-SURFEX v8.0). *Geosci. Model Dev.*, 13, 385-399, <https://doi.org/10.5194/gmd-13-385-2020>.

Schoetter R., Masson V., Amossé A., Bernard J., Bocher E., Bonhomme M., Bourgeois A., Faraut S., Gardes T., Goret M., Hidalgo J., Lévy J.-P., Long N., Pellegrino M., Petit G., Plumejeaud C., Poitevin C., Tornay N. 2019. Caractérisation du tissu urbain français pour la modélisation du climat urbain

et de son interaction avec la consommation énergétique dans les bâtiments. *La Météorologie*, 105, 48-57. <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/70169>

Schoetter R., Masson V., Bourgeois A., Pellegrino M., Lévy J.-P., 2017. Parametrisation of the variety of human behaviour related to building energy consumption in the Town Energy Balance (SURFEX-TEB v.8.2). *Geosci. Model Dev.*, 10, 2801-2831

Stavropoulos-Laffaille X., Chancibault K., Brun J.-M., Lemonsu A., Masson V., Boone A., Andrieu H., 2018. Improvements to the hydrological processes of the Town Energy Balance model (TEB-Veg, SURFEX v7.3) for urban modelling and impact assessment. *Geoscientific Model Development*, 11 (10), 4175-4194.

Suher-Carthy M., Lagelouze T., Hidalgo J., Schoetter R., Touati N., Jouglu R., Masson V., 2023. Urban heat island intensity maps and local weather types description for a 45 French urban agglomerations dataset obtained from atmospheric numerical simulations. *Data Brief*, 50, 109437, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109437>

Tornay N., Schoetter R., Bonhomme M., Faraut S., Masson V., 2017. GENIUS: A methodology to define a detailed description of buildings for urban climate and building energy consumption simulations. *Urban Climate*, <http://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.03.002>

Touati N., Gardes T., Hidalgo J., 2020. A GIS plugin to model the Urban Heat Island from urban meteorological networks, *Urban Climate*, 34, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100692>

**Citation de l'article** : Hidalgo J., 2023. Dépasser le développement d'expertise locale en climatologie urbaine pour accélérer et élargir sa prise en compte dans les politiques de gestion de la surchauffe urbaine. *Climatologie*, 20, 3.