

## Projet ANR-13-VBDU-004

# MApUCE

## Programme VILLES ET BATIMENTS DURABLES 2013

A	IDENTIFICATION.....	2
B	RESUME CONSOLIDE PUBLIC .....	2
B.1	Résumé consolidé public en français .....	2
B.2	Résumé consolidé public en anglais.....	5
C	MEMOIRE SCIENTIFIQUE.....	6
C.1	Résumé du mémoire .....	7
C.2	Enjeux et problématique, état de l'art .....	7
C.2.1	Le programme MApUCE .....	8
C.2.2	Pourquoi ? Les enjeux énergie-climat .....	8
C.2.3	Quoi ? L'adaptation au changement climatique - la lutte contre les îlots de chaleur urbains .....	8
C.2.4	Qui ? Des compétences locales renouvelées .....	9
C.2.5	Quand ? L'évaluation environnementale des documents d'urbanisme .....	10
C.3	Approche scientifique et technique.....	11
C.4	Résultats obtenus .....	12
C.4.1	Données urbaines et microclimatiques produites dans MAPUCE. ....	12
C.4.2	Analyse juridique et urbanistique des pratiques et mises en œuvre .....	22
C.4.3	La territorialisation des outils : Les cartes climatiques de l'environnement urbain .....	28
C.4.4	Intégration de ces outils dans les documents d'urbanisme /Leviers d'actions mobilisables pour agir sur le microclimat urbain. ....	37
C.5	Exploitation des résultats.....	44
C.5.1	Transferts .....	44
C.5.2	Fiches méthodologiques .....	48
C.5.3	Guide méthodologique .....	50
C.5.4	Collaboration locales entre chercheurs et collectivités et acteurs sur les terrains d'études .....	51
C.6	Discussion .....	56
C.7	Conclusions.....	57
D	LISTE DES LIVRABLES.....	58
E	IMPACT DU PROJET .....	60
E.1	Indicateurs d'impact .....	60
E.2	Liste des publications et communications.....	60
E.2.1	Publications mono-partenaires .....	60
E.2.2	Publications multi-partenaires .....	61
E.2.3	Conférences internationales .....	62
E.2.4	Conférences Nationales .....	65
E.2.5	Articles de vulgarisation .....	66
E.2.6	Conférences grand public .....	66
E.3	Liste des éléments de valorisation.....	68
E.3.1	Sites web et mise à disposition des données .....	68
E.3.2	Projet PAENDORA .....	68

## A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	MApUCE
Titre du projet	Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Énergie
Coordinateur du projet (société/organisme)	Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) UMR3589 CNRS/METEO-France
Période du projet (date de début – date de fin)	03/03/2014 - 02/03/2019
Site web du projet, le cas échéant	<a href="https://www.umr-cnrm.fr/ville.climat/spip.php?rubrique120">https://www.umr-cnrm.fr/ville.climat/spip.php?rubrique120</a> mapuce.orbisgis.org

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Dr Valéry MASSON
Téléphone	05 61 07 94 64
Adresse électronique	Valery.masson@meteo.fr
Date de rédaction	30 avril 2019

Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	CNRM, Valéry Masson (coordinateur) LISST, Julia Hidalgo (co-coordinatrice) LIEU, Marie-Laure Lambert FNAU, Geneviève Bretagne Lab-STICC (Erwan Bocher) LATTs (Jean-Pierre Lévy) LIENSs (Nathalie Long) LRA (Serge Faraut)
---	--

## B RESUME CONSOLIDE PUBLIC

### B.1 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN FRANÇAIS

#### CONSTRUIRE NOS VILLES AVEC LE MICRO-CLIMAT : DONNEES ET DOCUMENTS REGLEMENTAIRES

*Le projet MApUCE vise à intégrer dans les politiques urbaines et documents juridiques des données quantitatives de microclimat urbain et énergie.*

L'objectif général du projet MApUCE nécessite 1) d'obtenir des données quantitatives énergie-climat à partir de simulations numériques et 2) de proposer une méthodologie pour intégrer de telles données quantitatives dans les procédures juridiques et les politiques urbaines. La ville étant un système complexe, le consortium était très interdisciplinaire, regroupant des chercheurs en météorologie, architecture, géomatique, géographie, urbanisme, sociologie et énergie, en droit, ainsi qu'un acteur opérationnel : la fédération nationale des agences d'urbanisme.

Une enquête a été menée au cours du projet auprès des 51 agences d'urbanisme françaises, avec pour objectifs d'identifier les bonnes pratiques, les freins et les leviers. Les principales conclusions sont :

- Une implication forte sur les axes énergie-climat, notamment sobriété et EnR
- Un climat urbain généralement peu pris en compte

- Une échelle pertinente : l'îlot urbain (ou « pâte de maisons »)

Les partenaires du projet se sont donc focalisés sur la production de données urbaines et microclimatiques sur toutes les villes de France, à très haute résolution (l'îlot urbain), ainsi qu'aux aspects liés au climat urbain dans l'urbanisme.

*Une base de données urbaines en open-data, une quantification de l'îlot de chaleur urbain sur 40 villes, urbanisme et droit sur 3 terrains d'études.*

Afin d'obtenir une base de données homogène sur toute la France, les données issues de l'IGN et du recensement de la population de l'INSEE ont été utilisées. Ceci a permis de construire 80 indicateurs morphologiques, typologiques et socio-économiques, sur plus de 40 agglomérations.

Une recherche bibliographique sur le patrimoine architectural de différentes régions de France a permis la construction d'une base de données architecturales, pour décrire les matériaux en fonction des typologies, usages et âges des bâtiments.

Les comportements des habitants ont été intégrés, à partir d'enquêtes dédiées existantes, dans le modèle de climat urbain TEB, sous la forme de deux indicateurs, sur la régulation énergétique et les équipements.

Des modèles atmosphériques sur ordinateur ont calculé l'îlot de chaleur urbain estival sur 43 villes. Ces modèles ont été validés spécifiquement sur Toulouse et Dijon à partir de réseaux stations météorologiques urbaines.

Une analyse des documents juridiques et de cas exemplaires a été menée, ainsi que le développement d'un outil de transfert : les cartes climatiques urbaines. Trois expérimentations ont été menées à Toulouse, Aix-en-Provence et La Rochelle afin de confronter les outils développés à des démarches de planification réelles.

### *Résultats majeurs du projet*

Les données urbaines produites dans ce projet sont visualisables et téléchargeables, en open data, sur le site web <http://mapuce.orbisgis.org>.

Les cartes climatiques urbaines représentent un outil de diagnostic microclimatique du territoire urbain et de co-construction pour la traduction réglementaire des enjeux identifiés. Elles sont en cours d'exploitation à l'agence d'urbanisme de Toulouse (voir <http://lib.aua-toulouse.org/CarteDuMois/170419/>). Une méthodologie en types de temps permet aussi de compléter utilement les quelques informations météo utilisées habituellement par les collectivités.

Des fiches-outils et un guide méthodologique à destination des collectivités et agences d'urbanisme présente les données, identifie les leviers et regroupe des recommandations pour la prise en compte du micro-climat urbain dans les documents de l'urbanisme et de l'environnement.

### *Production scientifique*

Le projet MApUCE a permis de produire des bases de données urbaines originales (comme les typologies de bâtiments ou les zones climatiques locales), pour les études en lien avec le micro-climat mais avec un potentiel plus large. Ces données sont mises à disposition librement en open-data et peuvent ainsi servir de support à la communauté de scientifique.

Les résultats ont été publiés dans des revues internationales, mais aussi vers les acteurs des collectivités territoriales. Une attention particulière a été donnée pour contribuer à enrichir les enseignements de niveau master, notamment en urbanisme et en droit de l'environnement.

### *Illustration*



Légende : Guide méthodologique de recommandations pour faciliter la prise en compte du micro-climat urbain dans les documents et pratiques politiques urbaines

### *Informations factuelles*

Le projet MApUCE est un projet de recherche fondamentale coordonné par le CNRM. Il regroupe 7 laboratoires de recherche et un acteur urbain : la fédération nationale des agences d'urbanisme. Le projet a commencé en mars 2014 et a duré 60 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de 908 389 € pour un coût global de l'ordre de 5 260 000 €.

## B.2 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN ANGLAIS

### HOW TO BUILD OUR CITIES WITH THE MICRO-CLIMATE : DATA AND REGULATORY DOCUMENTS

*The MApUCE project aims to integrate into urban policies and legal documents some microclimate and energy quantitative data.*

The main objective of the MApUCE project needs 1) to obtain quantitative data on micro-climate and energy, from numerical modeling, and 2) to propose a methodology to integrate such data into the legal procedures and urban planning. The cities are complex systems. Therefore, the research consortium is widely interdisciplinary, with meteorologists, architects, geomaticians, geographers, urban planning researchers, sociologists on energy issues, lawyers, and with an operational urban actor: the national federation of urban planning agencies.

A survey has been done during the beginning of the project in the 51 French urban planning agencies, with the objective to identify good practices, curbs and levers. The main conclusions are:

- A strong implication on energy and climate mitigation, especially energy sobriety and renewable energies
- Urban climate is generally not considered
- The pertinent spatial scale is the urban block

The project partners then focused on the production of urban and micro-climate data on all main cities in France, at high resolution (the urban block), and on the urban planning issues linked to urban climate.

*An open database of urban indicators, a quantification of the urban heat island on 40 cities, urban planning and law on 3 city case studies.*

In order to obtain a homogeneous database on whole France, the data from IGN (national mapping agency) and national survey were used. This allowed to build 80 morphological, typological and socio-economic indicators, on more than 40 agglomerations.

A literature review on architectural heritage of the several regions of France was done to build an architectural database that describes building materials as a function of buildings' typology, use and age.

The behaviors of inhabitants have been integrated, using existing surveys, into the urban microclimate model TEB. This was done as two new indicators, on energy regulation and indoor equipment.

Atmospheric models on supercomputers were used to estimate the urban heat island on 43 cities. These models have been further validated on Toulouse and Dijon, using urban meteorological stations networks.

An analysis of legal documents and exemplary cases have be performed, and a transfer tool has been developed: the urban climate maps. Three local experimentations have been done on Toulouse, Aix-en-Provence and La Rochelle, in order to confront our tools to real urban planning actions.

## *Main Results*

The urban data can be visualized and downloaded, freely as open data, on the website:  
<http://mapuce.orbisgis.org>.

The urban climate maps are a micro-climatic diagnostic tool of the urban territory as well as a tool of co-construction for the legal translation of the identified urban planning issues. A methodology based on local weather types allows to complement the few meteorological information usually used by local stakeholders.

A methodological guide towards collectivities and urban planning agencies presents the data, identifies the levers, and suggests recommendations for the consideration of urban micro-climate into legal and urban planning documents.

## *Scientific production*

The MApUCE project built a database of original urban indicators (as building typologies and local climate zones), at the urban block scale, for micro-climatic studies. These data also have a larger potential for broader studies. They are freely available as open-data.

The results have been published in international scientific journals as well as towards the local urban actors. Attention was given to contribute to enrich Master courses, especially in urban planning and environmental law.

## *Illustration*



Legend: Methodological guide for urban planners and stakeholders.

## *Factual Information*

The MApUCE project is a fundamental research project coordinated by the CNRM. The consortium is formed by 7 research laboratories and an urban actor: the French national federation of urban planning agencies. The project started March 2014 and lasted 60 months. This project has received support from the French National Agency of Research with the reference ANR-13-VBDU-0004 for 908 389 €, for a total cost of around 5 260 000 €.

## **C MEMOIRE SCIENTIFIQUE**

***Mémoire scientifique confidentiel*** : non

## C.1 RESUME DU MEMOIRE



### MAPUCE, principaux résultats du projet



- Le projet répond à deux objectifs principaux: 1) obtenir des données quantitatives énergie-climat à partir de simulations numériques et 2) proposer une méthodologie pour intégrer de telles données quantitatives dans les procédures juridiques et les politiques urbaines.
- Trois expérimentations ont été menées à Toulouse, Aix-en-Provence et La Rochelle afin de confronter les outils développés à des démarches de planification réelles.

#### Etat des lieux: Un climat urbain peu pris en compte

Une analyse du système d'acteurs de cas exemplaires issus de la bibliographie et d'exercices de planification réels en France et l'étranger a mis en évidence:

- La mise en oeuvre d'une succession d'étapes nécessaires à l'internalisation de l'expertise climatique: 1) l'étude, 2) l'expérimentation pour l'appropriation locale, 3) la formalisation, et enfin 4) la mise en oeuvre et 5) l'évaluation.
- Plus que les moyens économiques, la présence, côté acteurs, de personnes sensibilisées à l'intérêt de la démarche est fondamentale pour réussir.

Une enquête a été menée auprès des 51 agences d'urbanisme françaises, avec pour objectifs d'identifier les bonnes pratiques, les freins et les leviers. Les principales conclusions sont:

- Une implication forte sur les axes énergie-climat, notamment sobriété et EnR
- Un climat urbain généralement peu pris en compte
- Une échelle pertinente: l'îlot urbain ou (« pâté de maisons »)



Atelier de présentation de l'enquête auprès des agences d'urbanisme.

La méthodologie du projet a été consolidée au regard de ses conclusions, afin de produire des données et méthodes pertinentes.



Ce projet a bénéficié d'une aide de l'Agence Nationale de la Recherche portant la référence ANR-13-VBDU-0004

### La modélisation des comportements énergétiques

Les pratiques des habitants et usagers dans les bâtiments influent sur les consommations d'énergie, mais aussi le climat urbain et l'îlot de chaleur, pouvant accroître celui-ci de 1 à 2°C.

Ces comportements ont été intégrés, à partir d'enquêtes dédiées existantes, dans le modèle de climat urbain TEB, sous la forme de deux indicateurs:

- Le comportement de régulation énergétique (la propension d'un ménage à plus ou moins réguler la consommation d'énergie dans son logement).
- L'intensité d'usage et le taux d'équipement.

La variabilité spatiale des différents usages est déduite des données de recensement.

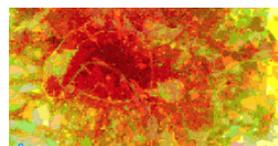
A titre d'exemple, une enquête menée sur un quartier de La Rochelle bénéficiant d'une politique de rénovation urbaine a identifié trois types de comportement dont une catégorie qui ne se sent ni responsable ni concernée par la maîtrise de sa consommation énergétique.

### La modélisation de l'îlot de chaleur

Pour une quarantaine de villes traitées, des modèles atmosphériques sur ordinateur ont permis d'estimer l'îlot de chaleur urbain, pour des conditions estivales favorables aux fortes chaleurs. Sur Toulouse et Dijon, d'autres types de temps ont aussi été simulés. Ces simulations numériques y ont été validées à partir de réseaux stations météorologiques urbaines.

Une méthodologie en types de temps (*cf. encadré*), définis à partir des conditions météorologiques du jour hors de la ville, permet de compléter utilement les quelques informations météo utilisées habituellement par les collectivités lors du diagnostic (rose des vents, profils annuels climatiques).

L'approche par type de temps développée ici permet de discriminer les situations plutôt ventées, chaudes, pluvieuses, anticycloniques d'hiver etc... et leur chance de se produire. En effet, toutes les situations météorologiques ne conduisent pas à un îlot de chaleur, et des enjeux particuliers peuvent ne se produire que lors de certaines situations.



Îlot de chaleur estival (en C°) sur Paris, à 250m de résolution [mapuce.orbisgis.org](http://mapuce.orbisgis.org)

### Une base de données urbaines

- Sur plus de 50 agglomérations françaises
- A l'échelle du « pâté de maisons »
- Composée de 80 indicateurs morphologiques, typologiques, socio-économiques.

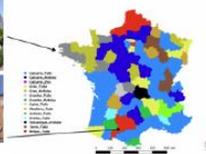


Afin d'obtenir une base de données homogène sur toute la France, seules les données issues de la BD topo, de la BD parcellaire et du recensement ont été utilisées. Les données sont visualisables et téléchargeables sur le site web [mapuce.orbisgis.org](http://mapuce.orbisgis.org)



### Une base de données architecturales

Le micro-climat et les consommations d'énergie dépendent fortement des caractéristiques du bâti. Une recherche bibliographique sur le patrimoine architectural de différentes régions de France ainsi qu'une étude des matériaux locaux a permis la construction d'une base de données architecturales. Celle-ci permet de décrire les technologies et matériaux les plus utilisés en fonction (1) de la typologie du bâtiment, (2) de son usage, (3) de la date de construction.



Matériaux de construction dominants pour les constructions avant 1948

### Un outil de transfert pour l'urbanisme : Les cartes climatiques de l'environnement urbain

Divers outils de représentation cartographique d'îlot de chaleur et du climat urbain ont été développés, en lien avec les urbanistes. En collaboration avec Toulouse Métropole, un croisement des données modélisées d'îlot de chaleur estival et de la structure urbaine classifiée LCZ (« Local Climate Zones ») a permis de construire une carte climatique de l'agglomération. Les cartes climatiques représentent à la fois un outil de diagnostic microclimatique du territoire urbain et un outil de traduction réglementaire des enjeux identifiés pour lesquelles des recommandations sont co-construites entre climatologues et urbanistes.



Croisement entre la carte d'analyse de l'îlot de chaleur urbain et la TVB sur le territoire de Toulouse Métropole

### Guide méthodologique: le climat urbain dans le Droit



L'analyse juridique menée lors du projet MAPUCE, dans un contexte législatif qui évolue fréquemment, a néanmoins permis de proposer des pistes et fondements juridiques de l'action locale visant à prendre en compte la problématique du microclimat et du climat dans les documents d'urbanisme. Des rédactions sont même proposées aux différentes échelles de planification. Des fiches outils, propres à chaque outil de planification (SCOT, PLU(i)), sont disponibles en ligne sur le site [www.gridauh.fr](http://www.gridauh.fr), et sont synthétisées dans un guide méthodologique (publication sur <http://luar-lieu-amu.fr/publications>).

Pour en savoir plus sur le projet MAPUCE:  
V. Masson, Météo-France: [valery.masson@meteo.fr](mailto:valery.masson@meteo.fr)  
J. Hidalgo, Uni.Toulouse: [julia.hidalgo@univ-tlse2.fr](mailto:julia.hidalgo@univ-tlse2.fr)  
<https://www.umr-cnrm.fr/ville.climat/spip.php?rubrique120>

## C.2 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

Le but du projet MAPUCE consiste à intégrer dans les politiques urbaines et les documents juridiques les plus pertinents des données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie.

**Objectif n°1** : Définir une stratégie de modélisation, à partir de bases de données nationales et à l'échelle de la France, du microclimat urbain, de la consommation d'énergie liée aux bâtiments et du comportement énergétique des habitants et usagers.

**Objectif n°2** : proposer une méthodologie d'intégration dans les procédures juridiques et les politiques urbaines de données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie.

Trois expérimentations ont été menées à Toulouse, Aix-en-Provence et La Rochelle afin de confronter les outils développés à des démarches de planification réelles.

### C.2.1 LE PROGRAMME MAPUCE

Le programme de recherche pluridisciplinaire ANR MAPUCE (Modélisation Appliquée au droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Énergie), a associé sept laboratoires de recherche en climatologie urbaine, urbanisme, architecture, géographie, géomatique, sociologie et droit de l'urbanisme, ainsi que la FNAU (Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme). Ce projet a permis de développer une méthodologie de production des données urbaines et climatiques nécessaires au diagnostic microclimatique des territoires urbanisés. Par ailleurs, ce projet propose des pistes d'intégration des données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie dans les outils de planification et d'aménagement urbains.

### C.2.2 POURQUOI ? LES ENJEUX ENERGIE-CLIMAT

Les enjeux climatiques et énergétiques deviennent aujourd'hui des enjeux transversaux de toutes les politiques publiques et ils ont acquis progressivement une place dans l'élaboration des documents d'urbanisme (SCoT, PLU) légalement imposée. L'ordonnance de 2015 réformant le Code de l'urbanisme a en effet clairement introduit dans la rédaction du nouvel article L101-2<sup>1</sup> la mission donnée aux politiques publiques en matière d'urbanisme de poursuivre des objectifs de développement durable et notamment « *la lutte contre le changement climatique et l'adaptation à ce changement* »<sup>2</sup>.

L'adaptation au changement climatique est donc explicitement devenue une mission des politiques urbaines.

### C.2.3 QUOI ? L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE - LA LUTTE CONTRE LES ILOTS DE CHALEUR URBAINS

Le changement climatique se traduit en ville par une dégradation des conditions de confort thermique en raison d'une tendance à la montée des températures particulièrement accrue lors des périodes de vagues de chaleur. Cette hausse de la température est aggravée en milieu urbanisé par l'existence d'îlots de chaleur urbains. L'îlot de chaleur urbain (ICU) est un phénomène physique climatique qui se développe à l'échelle locale et se manifeste par des températures plus élevées dans les espaces urbains centraux que dans les secteurs avoisinants. La formation de ces îlots est liée à la structure même de la ville. La minéralisation des surfaces, l'orientation des rues et des bâtiments par rapport au soleil ou aux vents dominants, la

---

<sup>1</sup> ancien article L121-1

<sup>2</sup> Article L101-2 code de l'urbanisme: *Dans le respect des objectifs du développement durable, l'action des collectivités publiques en matière d'urbanisme vise à atteindre les objectifs suivants : (...) 7° La lutte contre le changement climatique et l'adaptation à ce changement, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'économie des ressources fossiles, la maîtrise de l'énergie et la production énergétique à partir de sources renouvelables ;*

présence d'espaces verts ou encore la présence d'eau sont ainsi, avec les conditions météorologiques locales, des facteurs impactant le micro-climat local. Les matériaux des bâtiments chauffent fortement en journée, et cette chaleur restituée la nuit empêche l'air de se refroidir aussi vite qu'à la campagne, ce qui crée l'îlot de chaleur urbain nocturne. Ceci est influencé par la densité et la morphologie des bâtiments, ainsi que par leurs caractéristiques architecturales (matériaux, couleur, etc...). Enfin, les activités humaines telles que l'usage de la climatisation et du chauffage, et marginalement les activités industrielles dégageant de la chaleur ou la circulation automobile, sont aussi des facteurs d'accentuation de ces ICU. Le comportement énergétique des habitants (comment ils chauffent ou climatisent) influence non seulement la consommation d'énergie, mais peut aussi réchauffer l'air extérieur, contribuant aussi à l'îlot de chaleur. La densité de végétation urbaine est aussi estimée, puisque la verdure en ville, outre d'autres qualités, permet de rafraîchir l'air.

Le réchauffement climatique ayant vocation à s'intensifier dans les années à venir, reconsidérer la ville pour réduire l'apparition de ces ICU constitue désormais un enjeu essentiel de l'adaptation des villes aux changements climatiques.

#### C.2.4 QUI ? DES COMPETENCES LOCALES RENOUVELEES

Les outils de planification urbaine permettent d'encadrer les composantes de la ville (forme et matériaux urbains, végétalisation) et constituent des leviers pour concevoir un développement urbain intégrant la prévention ou la réduction de l'impact de l'urbanisation sur le climat local. L'action des collectivités locales en la matière est imposée par leurs compétences d'urbanisme (article L102-1-2 code de l'urbanisme), mais aussi par leurs autres missions: prévenir les risques environnementaux pesant sur la population, contribuer à la sécurité et la salubrité publique, préserver le cadre de vie. En effet, la présence d'îlots de chaleur urbains peut aggraver les effets des épisodes caniculaires dangereux pour la santé des habitants, notamment les plus sensibles, leur présence déprécie le cadre de vie des habitants. L'utilisation de dispositifs de climatisation afin de contrer les effets du réchauffement urbain est également à l'origine de pointes de consommation électrique en période estivale, tandis que le coût d'utilisation de ces dispositifs peut aggraver la précarité énergétique.

Afin d'assurer cette mission d'adaptation au changement climatique, la loi a progressivement confié aux autorités locales de nouvelles compétences et de nouveaux outils susceptibles d'être mobilisés dans le cadre de la planification (plans climat-air-énergie territoriaux, ouverture d'espaces urbanisés soumis à des objectifs de performance énergétique et environnementale, verdissement des documents d'urbanisme, gestion des déplacements urbains, etc...).

De sorte que le développement récent d'un contentieux important au niveau international et européen<sup>3</sup> en matière de lutte contre le changement climatique et de protection de la qualité de l'air en ville, combiné avec la possibilité pour l'État de se retourner contre les autorités locales en cas de condamnation<sup>4</sup>, fait désormais peser un risque de sanction sur les collectivités territoriales qui ne prendraient pas suffisamment en compte les enjeux climatiques (atténuation et adaptation) dans leurs politiques.

### C.2.5 QUAND ? L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DES DOCUMENTS D'URBANISME

Le meilleur moment pour envisager un diagnostic microclimatique du territoire urbain qui permettrait de réfléchir aux mesures d'adaptation au changement climatique et de limitation de l'impact de la ville sur le climat local, semble être l'occasion de **l'évaluation environnementale d'un plan ou d'un projet d'aménagement**.

Les documents d'urbanisme sont pour la plupart soumis à une évaluation environnementale lors de leur élaboration ou de leur évolution, soit de manière systématique, soit après un examen au cas par cas. Cette évaluation environnementale, directement intégrée au rapport de présentation des documents d'urbanisme, implique que soient analysés l'état initial de l'environnement et les perspectives de son évolution ainsi que les mesures envisagées pour éviter, réduire et si possible compenser s'il y a lieu, les conséquences dommageables de la mise en œuvre du document<sup>5</sup>. C'est donc dans le cadre de cette évaluation que pourront être mobilisés les outils et données proposés par le présent guide.

Le rapport de présentation du **SCOT** doit identifier les enjeux environnementaux du territoire et envisager les effets du schéma sur ces derniers, soit au sein de l'état initial de l'environnement soit à l'occasion de l'évaluation environnementale<sup>6</sup> (intégrée au rapport de présentation). A ce titre, ce premier document est l'occasion de préciser les principaux facteurs locaux de formation d'îlots de chaleur, les espaces susceptibles d'être affectés et suggérer les leviers d'action afin de les prévenir.

Le **PLU(i)** doit également faire un état de l'environnement et de sa sensibilité au sein du rapport de présentation et de son évaluation environnementale et envisager les effets sur l'environnement de l'urbanisation prévue. Il est donc nécessaire de prévoir lors de l'élaboration du PLU(i) une étude permettant d'établir un diagnostic microclimatique du territoire qui identifie les phénomènes d'ICU la nuit, les zones à fort stress thermique pendant

---

3 En 2015, les juges de la Cour supérieure de l'État de Washington ont notamment condamné cet État, pour ne pas avoir respecté son obligation particulière et impérative (mandatory duty) de réguler de façon suffisante les émissions de gaz à effet de serre sur son territoire et d'avoir ainsi remis en cause le droit d'enfants de grandir dans un environnement sûr (affaire *Fondation Our Children's c. État de Washington* devant la Cour supérieure de King County de l'État de Washington du 19 novembre 2015). Cette affaire n'est pas isolée puisque plusieurs procès semblables sont actuellement en première instance en Caroline du Nord, en Pennsylvanie et au Colorado, ainsi qu'en appel dans le Massachusetts et l'Oregon. Par ailleurs, la Cour de district de La Haye a de la même manière reconnu la responsabilité de l'État néerlandais pour manquement à un « devoir de diligence » dans la mise en œuvre de ses obligations de réduction des émissions de gaz à effet de serre et ainsi remis en cause certains droits fondamentaux reconnus par la Cour européenne des droits de l'Homme (Cour de District de La Haye, 24 juin 2015, *Fondation Urgenda c. Pays-Bas*). Enfin en 2108 plusieurs ONG ont engagé une procédure afin d'engager la responsabilité de l'état Français pour inaction climatique tant en terme d'adaptation que d'atténuation. Cette action a notamment été encouragée par la condamnation de l'État du fait de son action insuffisante en matière de lutte contre les pollutions atmosphérique dans les villes en 2017, question connexe à celle de la lutte contre le changement climatique (CE, 12 juillet 2017, *Association Les Amis de la Terre France req. n° 394254*)

<sup>4</sup> Dans le cas où l'État viendrait, par exemple, à être condamné par l'Union Européenne pour ne pas avoir respecté ses engagements internationaux en matière de climat, les collectivités territoriales pourraient être également condamnées à payer le coût d'une inaction : article L.1611-10 du Code général des collectivités territoriales

<sup>5</sup> Pour le SCoT, articles R141-2 et suivants et pour le PLU articles R151-3 et -5 du Code de l'urbanisme

<sup>6</sup> Art. R. 141-2 du Code de l'urbanisme

la journée ainsi que les couloirs de ventilation et zones à faible vent afin de prendre des mesures de prévention dans le règlement concernant les espaces urbains vulnérables.

**L'intégration de cartes climatiques** comme celles proposées par le programme MApUCE constitue un outil d'identification des espaces potentiellement touchés par les ICU et permet d'analyser les principaux facteurs de formation de ces îlots. Une fois ces éléments identifiés, les pistes d'action peuvent être explicitées afin de justifier les mesures contenues dans le reste des documents dont les effets sont plus prescriptifs (DOO du SCoT, règlement du PLU(i)). Ainsi, le SCoT de l'agglomération lyonnaise précise dans son évaluation environnementale que le développement de la végétalisation des centres villes constitue un levier privilégié afin de prévenir les ICU. L'agglomération de Grenoble précise dans son état initial de l'environnement que le fait de limiter la minéralisation des sols, de végétaliser les sols et de développer la présence d'eau en centre-ville constitue un outil utile pour prévenir les ICU. Très récemment, le PLUI-H de Toulouse a intégré un ensemble de cartes climatiques visant à identifier les zones soumises à une augmentation des températures, puis à imaginer les leviers visant à prévenir la formation d'ICU lors de la prochaine révision de son document d'urbanisme<sup>7</sup>.

D'autres outils de planification comme les **plans climat-air-énergie territoriaux (PCAET)** doivent aussi exposer les risques climatiques et les leviers d'adaptation présents sur le territoire au sein d'un diagnostic du territoire. Ces outils qui s'imposent aux PLU peuvent ainsi intégrer une cartographie des zones sujettes aux ICU et proposer dans leur programme d'action des mesures particulières permettant de prévenir ces phénomènes dans les espaces urbains. Le PCAET de la communauté d'agglomération d'Hénin Carvin enjoint ainsi le futur PLU(i) de son territoire à adapter les prescriptions de son règlement afin de permettre une gestion des eaux pluviales susceptible de réduire la formation d'ICU et d'accompagner les aménageurs afin de créer des îlots de fraîcheur<sup>8</sup>. Les autorités publiques en charge des PLU(i) pourront ainsi se fonder sur les études développées dans ces documents et devront justifier le cas échéant des orientations d'aménagement prises au sein de leur planification à l'aune des risques identifiés dans le plan climat.

### **C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE**

---

<sup>7</sup> [http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/6\\_G\\_Bretagne\\_J\\_Hidalgo.pdf](http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/6_G_Bretagne_J_Hidalgo.pdf)

<sup>8</sup> Voir FICHE MAPUCE PCAET. Sur le contenu des PCAET et le rapport entre PLU et PCAET, E. Goze (dir.), C. Izard, Assoc. Réseau Action Climat, *Les plans climat-air-énergie territoriaux*, Territorial éditions, coll. Dossiers d'experts, 2018.

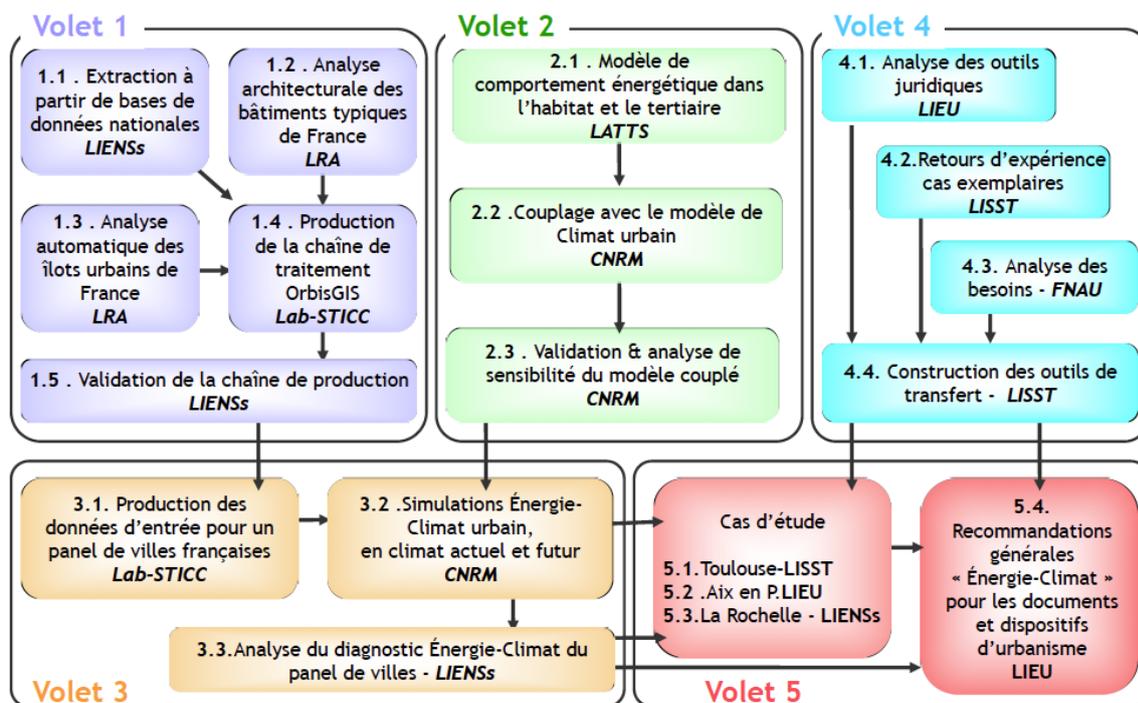


Figure 0 : synoptique du projet

Le projet, du fait de ses objectifs ambitieux, se base sur une collaboration transdisciplinaire radicale entre les partenaires du projet. Les champs disciplinaires couverts par les divers partenaires du projet sont :

- La météorologie (ici urbaine) : CNRM
- L'architecture : LRA
- L'urbanisme : LISST & LIENSs
- La sociologie et l'énergie : LATTS
- Le droit de l'environnement : LIEU
- La géomatique : Lab-STICC

De plus, la FNAU, Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme, est aussi un partenaire du projet, et représente les acteurs et pratiques opérationnels de l'urbanisme.

La réalisation du projet a été menée au sein de 5 grands volets (figure 0), tous fortement interdisciplinaires. Les volets 1, 2 et 3 ont permis de réaliser l'objectif 1 (Définir une stratégie de modélisation, à partir de bases de données nationales et à l'échelle de la France, du microclimat urbain, de la consommation d'énergie liée aux bâtiments et du comportement énergétique des habitants et usagers). Le volet 4 a permis de réaliser l'objectif 2 (une méthodologie d'intégration dans les procédures juridiques et les politiques urbaines de données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie). Enfin, le volet 5 combine les résultats des autres volets afin de tester les approches sur les cas d'études et de proposer in fine un guide de recommandations pour les acteurs urbains.

La méthodologie scientifique détaillée, propre à chaque tâche, est présentée lorsque c'est pertinent, dans la partie suivante présentant les résultats scientifiques.

## C.4 RESULTATS OBTENUS

### C.4.1 DONNEES URBAINES ET MICROCLIMATIQUES PRODUITES DANS MAPUCE.

Le programme MApUCE a permis de produire d'une part des données urbaines et micro-climatiques (intégrant la morphologie urbaine, l'architecture, la végétation, des typologies de bâtiment, des typologies de quartiers en lien avec le micro-climat, Indicateurs socio-économiques) et d'autre part des méthodes d'analyse et de simulation (Types de Temps Sensibles, Analyse geo-morphologique, amélioration des modèles atmosphériques en ville).

Afin que tous les territoires puissent avoir accès à des informations quantifiées permettant d'aborder la question de l'adaptation au changement climatique du point de vue du climat urbain et de l'énergie, la démarche suivie lors de projet MApUCE a été de construire une méthodologie générale de modélisation, reproductible, basée sur des données nationales disponibles partout : la BDtopo de l'IGN à l'échelle du bâtiment et des infrastructures (routes, voies ferrées, etc...) et le recensement de la population de l'INSEE à l'échelle de l'IRIS. Afin de démontrer cette généralité des indicateurs produits dans MApUCE, ces derniers ont été calculés sur plus de 40 unités urbaines (figure 1) ; ils seront calculés sur l'ensemble du territoire français disposant des données de la BDtopo de l'IGN, dans le cadre d'un projet financé par l'ADEME faisant suite à MAPUCE : PÆNDORA.

Deux types d'indicateurs ont été construits :

- Des indicateurs variés et interdisciplinaires décrivant le tissu urbain : indicateurs morphologiques du bâti, occupation du sol en relation avec le microclimat, informations architecturales sur les bâtiments, indicateurs socio-économiques et liés au comportement énergétique. Ils sont inclus, dans une base de données urbaine.
- Des indicateurs liés directement au microclimat urbain, comme les types de temps auxquels est soumise une agglomération et l'intensité de l'îlot de chaleur urbain en été. Ces indicateurs ont été calculés avec des outils de modélisation atmosphérique à haute résolution (250m) sur 43 agglomérations<sup>9</sup>.

Les indicateurs urbains, décrits ci-après, sont pertinents à la fois pour la simulation de consommation énergétique par les bâtiments et pour la simulation des îlots de chaleur urbains, et ce à l'échelle des quartiers sur la France.

Les indicateurs de cette base de données interdisciplinaire décrivant la morphologie urbaine et les informations socio-économiques disponibles sont mis à disposition en open-data via le navigateur cartographique [http:// mapuce.orbisgis.org](http://mapuce.orbisgis.org).

---

<sup>9</sup> Paris, Grenoble, Lyon, Caen, Toulouse, Dijon, Nantes, LaRochelle, Bordeaux, Avignon, Belfort, Besancon, Montbeliard, Chalon\_sur\_Saone, Angers, Arras, Amiens, Boulogne\_sur\_Mer, Bethune, Bayonne, Beauvais, Clermont\_Ferrand, Saint\_Nazaire, Calais, Colmar, Compiègne, Creil, DouaiLens, Rouen, Dunkerque, LeHavre, Lille, Lorient, Montpellier, Metz, Mulhouse, Nancy, Nice, Nimes, Orleans, Valenciennes, Pau, Reims, Saint\_Etienne, Thionville, Tours, Toulon

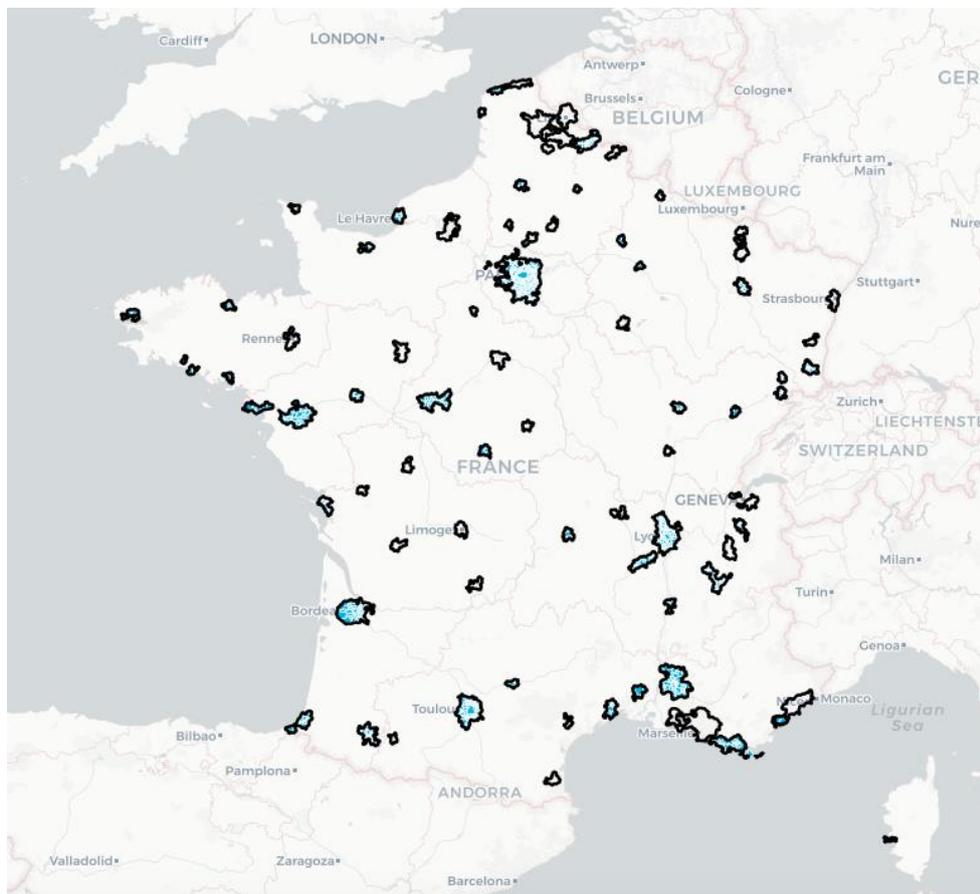


Figure 1 : en bleu : les villes disposant actuellement des indicateurs urbains MAPUCE.

#### *C.4.1.1 Données urbaines : La base de données MAPUCE*

L'objectif de cette base de données est de fournir des indicateurs utiles et à une échelle spatiale pertinente pour les problématiques d'adaptation au changement climatique, en lien avec le microclimat urbain et la consommation énergétique. D'après l'analyse issue du questionnaire auprès des agences d'urbanisme, et d'échanges avec des urbanistes, collectivités et acteurs urbains lors des Assises Européennes de l'Énergie (Dunkerque, 2016), une échelle pertinente pour les problématiques d'adaptation est celle de l'îlot urbain (ou le « pâté de maison »).

Les données originales proviennent d'une part de la BD Topo® (<http://professionnels.ign.fr/bdtopo>), une description vectorielle du territoire et de ses infrastructures qui inclue l'information sur la forme (emprise au sol, hauteur) de chaque bâtiment à précision métrique et sur des usages industriels, publics (bâtiments administratifs, d'enseignement, ...) ou commerciaux, etc. D'autre part, l'institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) compile le recensement de la population (<https://www.insee.fr/fr/information/2008354> ; soit environ 20 millions d'individus). Il contient des informations démographiques et socio-économiques sur les habitants (âge, sexe, statut familial, catégorie socioprofessionnelle) et des informations sur les caractéristiques et l'équipement des ménages/logements (taille du logement, type et combustible du système de chauffage). Pour des raisons de protection des données, le recensement de la population est géolocalisé à l'échelle de l'IRIS (chaque IRIS regroupe typiquement entre 2000 et 5000 habitants) dans les agglomérations urbaines et à l'échelle du canton-ou-ville dans les zones rurales. Ces deux sources d'information ont le grand avantage d'être disponibles sur l'ensemble du territoire français (y compris les départements d'outre-mer). Ces données sont aussi accessibles aux collectivités.

Ainsi, si elle n'utilise pas forcément la source d'information la plus précise possible (la plupart des collectivités ont des cadastres plus précis), notre approche présente l'avantage d'être **homogène sur l'ensemble du territoire**.

Voici, en résumé, les étapes qui ont permis de construire ces indicateurs urbains :

(i) délimitation des îlots urbains (ou blocs urbains ou pâtés de maisons), appelés techniquement « unités spatiales de référence » (USR).

(ii) projection dans chaque USR des données sociologiques et issues de l'enquête logement de l'INSEE. Ces données sont à l'origine à l'échelle des IRIS. Elles sont importantes pour la prise en compte des comportements.

(iii) calcul des indicateurs morphologiques, comme la hauteur. 80 indicateurs environ sont calculés. Les indicateurs sont calculés à l'échelle, soit de chaque bâtiment, soit d'un ensemble de bâtiments contigus, soit d'un bloc urbain (USR).

(iv) identification d'une typologie des bâtiments (figure 2). Parallèlement aux calculs d'indicateurs, une analyse architecturale des bâtiments typiques de France a été réalisée. Elle a permis de définir 10 archétypes architecturaux représentatifs de la plupart des bâtiments français. L'identification automatique de ces archétypes est basée sur les indicateurs morphologiques qui servent de données d'entrée pour réaliser une classification, à l'échelle du bâtiment et de l'îlot urbain, mettant en œuvre une méthode d'apprentissage supervisé basée sur les « Random Forest ». Les types de bâtiments majoritaires et secondaires ont aussi été calculés à l'échelle des USR. Une typologie complémentaire est aussi produite, prenant en compte l'agencement des bâtiments au sein des quartiers et leur impact microclimatique potentiel, appelée typologie en « Local Climate Zones » (LCZ, figure 4).

(v) Une recherche bibliographique sur le patrimoine architectural de différentes régions de France (figure 3) ainsi qu'une étude des matériaux locaux a permis la construction d'une base de données architecturales. Celle-ci permet de décrire, en fonction de la typologie du bâtiment, de son usage, de la date de construction et de la zone géographique, les technologies et matériaux les plus utilisés dans les constructions traditionnelles (avant 1948, figure 4), ainsi que pour différentes périodes jusqu'à aujourd'hui, en fonction principalement des réglementations thermiques.

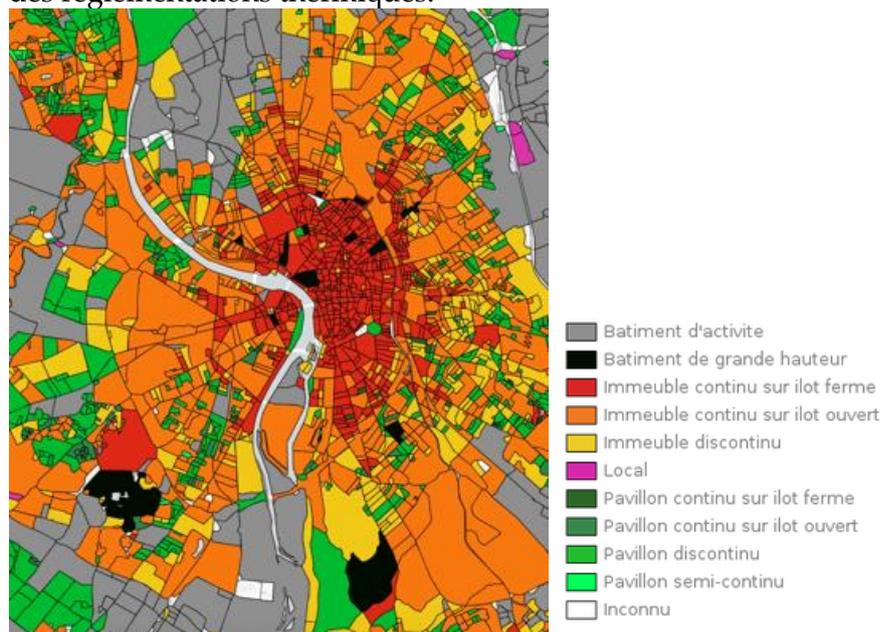


Figure 2 : cartographie des types de bâtiments majoritaires sur le centre-ville de Toulouse, à l'échelle des îlots urbains (mapuce.orbisgis.org)

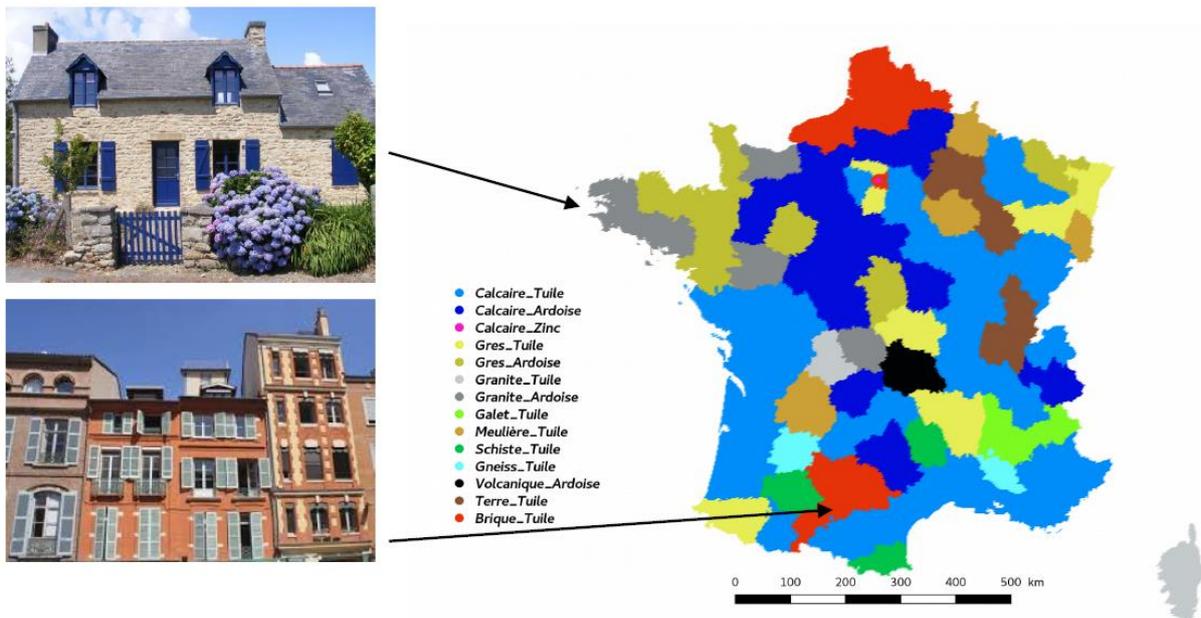


Figure 3 : Matériaux de construction dominants (mur porteur – recouvrement du toit) pour les constructions avant 1948.

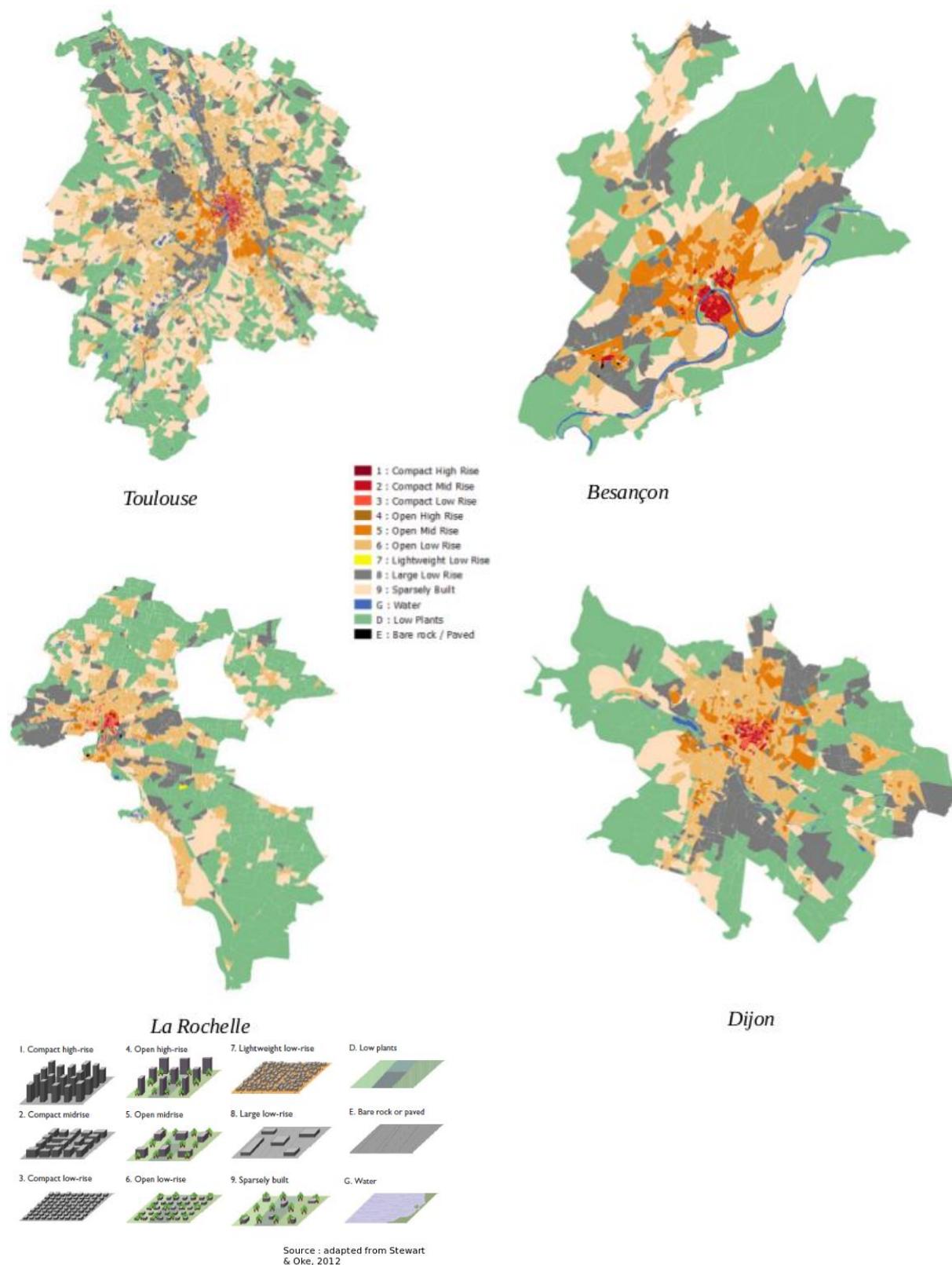


Figure 4 : exemple de LCZ calculées sur 4 unités urbaines, à l'échelle de chaque USR.

#### C.4.1.2 La modélisation des comportements énergétiques

Dans le but de mieux prendre en compte les interactions entre bâti, microclimat et consommation d'énergie, le projet a intégré les comportements des habitants et usagers en matière de consommation d'énergie dans les bâtiments au sein du modèle de climat urbain

TEB (cf. section suivante). De projets précédents, ainsi que la littérature scientifique, ont en effet montré que ces comportements énergétiques influencent non seulement sur les consommations d'énergie, mais aussi potentiellement sur le microclimat urbain (l'utilisation de la climatisation peut ainsi renforcer l'îlot de chaleur en centre-ville de 1°C).

La stratégie est de construire des relations du type, pour chaque comportement (un comportement peut être l'occupation du logement, la température de chauffage, l'ouverture des fenêtres,...) :

$$\text{comportement} = \text{fonction} (\text{ménage} ; \text{logement})$$

Les deux comportements qui ont été modélisés pour être utilisés dans le modèle de microclimat urbain TEB sont :

- l'intensité d'équipement et d'usage (par m<sup>2</sup>), qui permet d'estimer l'énergie spécifique relâchée dans le bâtiment (gros électroménager principalement pour l'usage résidentiel)
- le coefficient de régulation énergétique, qui permet d'estimer si les personnes régulent plus ou moins la température de chauffage, et adoptent ou pas en été des comportements propices à diminuer la température.

L'objectif a été de relier les comportements à des informations sociologiques (ménages, logements) qui seront disponibles à l'échelle des IRIS sur toute la France, et que l'on désagrège, de manière relativement simple (en fonction du type de bâtiments – individuel ou collectif – présents dans l'USR) à l'échelle de l'USR. Ainsi, cela permettra de modéliser en tout point le comportement énergétique des habitants et usagers à partir de leur profil ménage-logement.

La première étape a été de lister les comportements pertinents, à partir de la base de données issue de l'enquête de 2000 ménages réalisée précédemment lors du projet ENERGIHAB. Cette étape s'est faite en relation avec les modélisateurs en climat urbain, afin de s'assurer que les processus puissent être (ou étaient déjà) modélisés. Un travail au sein du modèle TEB a donc eu lieu en parallèle avec l'analyse des bases de données afin d'améliorer le module de thermique des bâtiments afin de prendre en compte tous les comportements pertinents.

La deuxième étape est de construire les relations ci-dessus. Ceci est fait à partir de diverses bases de données, incluant ou non des données énergétiques et comportementales quantifiées. Les bases de données utilisées sont :

- ENERGIHAB (2k logements)
  - o données : comportements, consommation d'énergie, ménage, logement
- PHEBUS (5k logements sur la France)
  - o données : consommation d'énergie, ménage, logement
- enquête nationale logement (50k logements)
  - o données : ménage, logement
- recensement (20M logements)
  - o données : ménage, logement

Le croisement des différentes bases de données, en cours, permet de construire des relations statistiques et logistiques qui sont ensuite incluses dans le modèle TEB pour alimenter en données d'entrées pour chaque comportement (par exemple la température de chauffage) le modèle en fonction des informations sociologiques dans chaque point de grille modélisé (par exemple, un quartier avec beaucoup de personnes âgées dans des logements collectifs).

Ceci permettra à terme de simuler des scénarios de changement de population par exemple. Toutefois, les premières simulations montrent que certains comportements sont très linéaires, ce qui a imposé de simuler dans le modèle, non pas un logement type par bâtiment, mais plusieurs logements au sein du même bâtiment. Toutefois, de tels développements ont été conçus de façon à être relativement indépendants du reste du modèle, en particulier de l'enveloppe extérieure du bâtiment, ce qui permet de réaliser les développements numériques rapidement.

Ainsi, à partir des informations de la base de données (dont les usages, population, surface de plancher), ont été initialisés dans chaque maille du modèle jusqu'à 6 usages différents, notamment pour les bâtiments collectifs : commercial (par exemple le rez-de-chaussée), tertiaire, non chauffé (comme les paliers, réserves et escaliers), et 3 usages résidentiels en fonction de l'indicateur de régulation énergétique des ménages. Les mailles où les bâtiments spécifiques prédominent (comme les bâtiments d'usage commercial ou d'enseignement) se voient elles attribuer un seul usage. Les paramètres comportementaux d'intensité d'usage ont permis d'initialiser les charges internes dans les bâtiments, en fonction des caractéristiques socio-économiques.

#### *C.4.1.3 La modélisation de l'îlot de chaleur urbain*

Pour chacune des 43 villes traitées, des modèles atmosphériques sur ordinateur ont permis d'estimer l'îlot de chaleur urbain, le niveau de stress thermique et les conditions aérodynamiques pour différentes conditions météorologiques. Comme schématisé sur la figure 5, un modèle atmosphérique découpe l'atmosphère en mailles cubiques dans chacune desquelles sont calculés le vent, la température, l'humidité, la pression, les nuages. Dans le projet MApUCE, la taille de ces mailles est de 250m de côté, et de quelques dizaines de mètres sur la verticale. Les mailles les plus basses sont en contact avec la surface terrestre (surfaces végétales, mer, ville, etc.) et sont en interaction avec celle-ci. Il est impossible, notamment pour des raisons de temps de calcul, de simuler l'influence de tous les bâtiments individuellement. C'est pourquoi, une schématisation de la ville en « rue canyon » est utilisée. Cette schématisation est faite par le modèle TEB. Il respecte les caractéristiques des quartiers dans chaque maille, comme la hauteur moyenne des bâtiments, la densité au sol des bâtiments, ou la surface de murs et les matériaux utilisés. Ces données urbaines proviennent de la base de données MApUCE.

La méthodologie de prise en compte des données de la base de données urbaine et des comportements est présentée en figure 6. Étant donné les enjeux liés à l'îlot de chaleur urbain, la priorité a été donnée aux conditions estivales favorables aux fortes chaleurs ; mais sur certaines villes, comme Toulouse et Dijon, des années entières ont aussi été simulées, car l'on y disposait de réseaux de mesures météorologiques pour valider les simulations numériques. Ces simulations longues ont permis, en plus des indicateurs microclimatiques, d'estimer la consommation énergétique dans l'habitat.

Les types de temps sont définis à partir des conditions météorologiques locales du jour à l'extérieur de la ville, qui peuvent par exemple être observées par une station météorologique de Météo-France sur un aéroport. Très souvent, seules des informations moyennées temporellement comme des roses des vents ou des profils annuels de température et d'humidité sont mis à disposition des collectivités. L'approche par type de temps développée ici permet d'apporter de l'information supplémentaire en discriminant les situations plutôt

ventées, chaudes, pluvieuses, anticycloniques froides d'hiver, etc. et leur chance de se produire. En effet, toutes les situations météorologiques ne conduisent pas à un îlot de chaleur. Et certains enjeux peuvent être liés à des aléas météorologiques particuliers (fort vent ou précipitations par exemple) qui se produisent que pour d'autres types de temps.

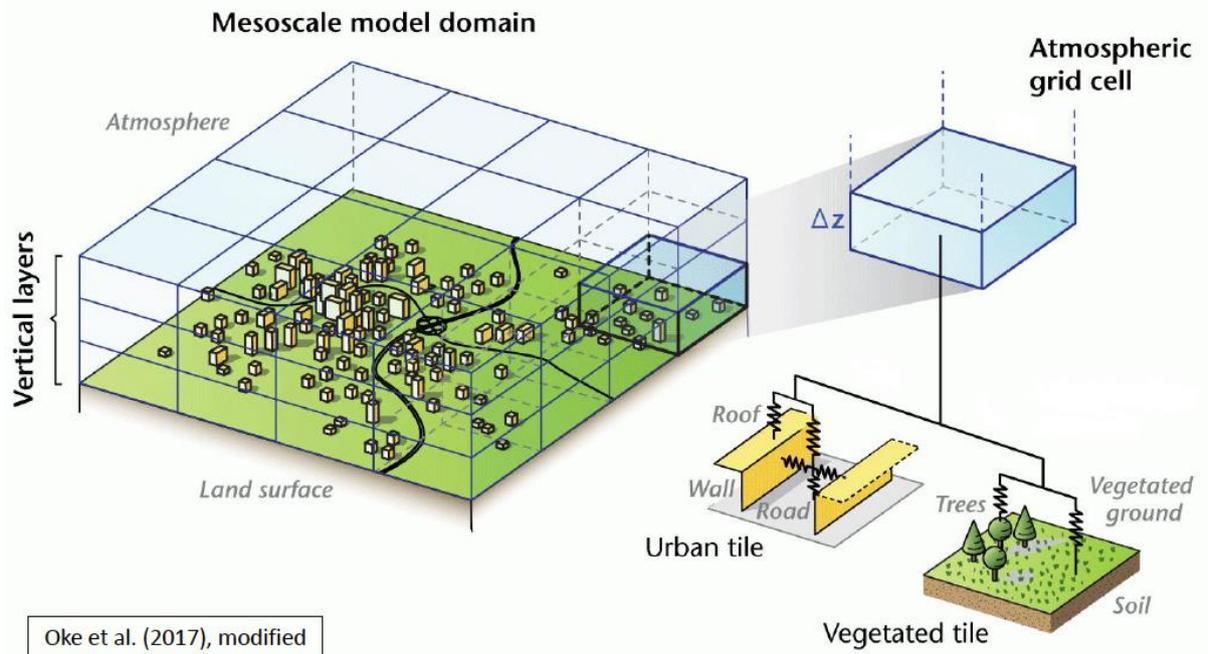


Figure 5 : schématisation d'un modèle météorologique (source : Oke et coauteurs 2017, Urban Climates, Cambridge Press)

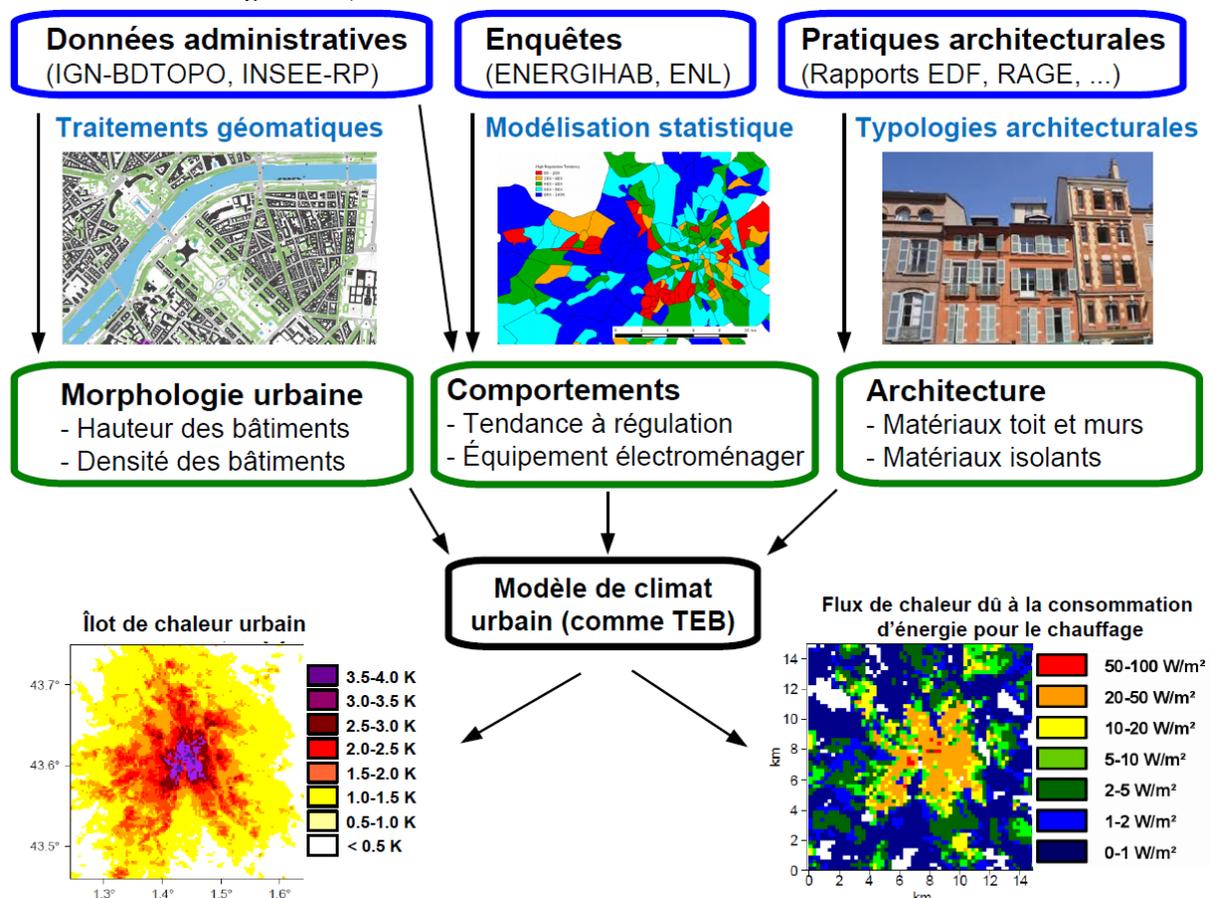


Figure 6 : Utilisation des données de la base de données pour simuler l'îlot de chaleur urbain.

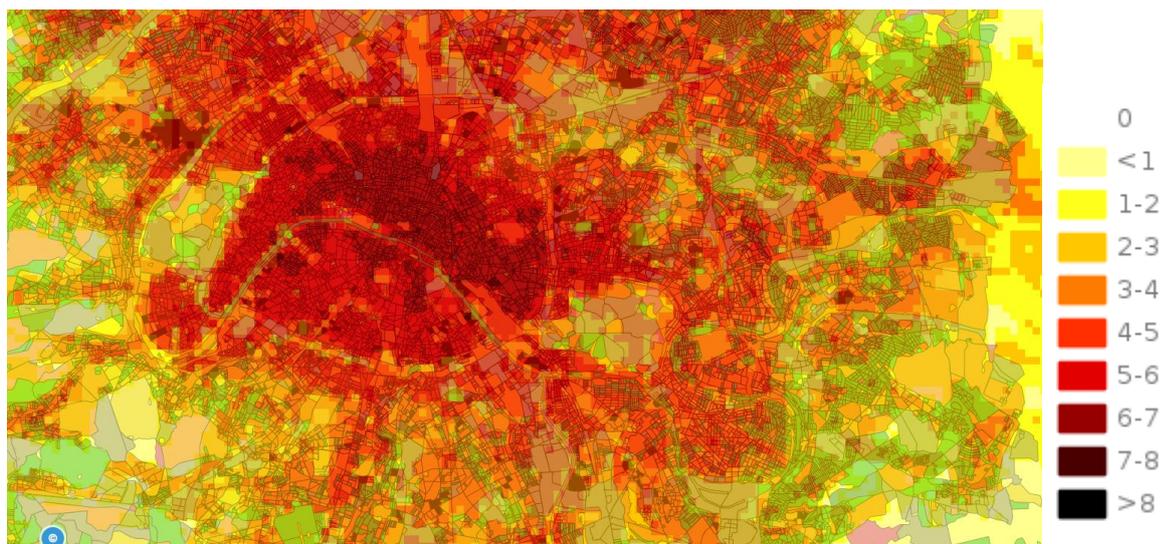


Figure 7 : îlot de chaleur nocturne estival (en °C) sur Paris (à 250m de résolution) superposé avec la typologie des bâtiments (disponible sur <http://mapuce.orbisgis.org>)

Comme mentionné ci-dessus, les nouveaux développements ont permis de simuler l'îlot de chaleur. A partir des informations de la base de données (dont les hauteurs et densité de bâtiments, usages, population, surface de plancher), ont été initialisés dans chaque maille du modèle jusqu'à 6 usages différents, notamment pour les bâtiments collectifs : commercial (par exemple le rez-de-chaussée), tertiaire, non chauffé (comme les paliers, réserves et escaliers), et 3 usages résidentiels en fonction de l'indicateur de régulation énergétique des ménages. D'un point de vue méthodologique, ces bases de données urbaines très fines et les améliorations du modèle ont permis de mieux représenter sur l'année 2004-2005 (expérience de climat urbain CAPITOU sur Toulouse) les consommations intégrées d'énergie dans les bâtiments, avec en particulier un effet lissant sur les consommations lors d'épisodes particulièrement froids, de par les différents usages et comportements.

L'îlot de chaleur **nocturne** estival sur 43 agglomérations, dont Paris, a donc été évalué, pour deux types de temps d'été différents pour chaque ville, en utilisant le modèle atmosphérique MesoNH couplé au modèle de climat urbain TEB, à la résolution spatiale de 250m. L'îlot de chaleur sur Paris atteint typiquement 8°C sous ces conditions atmosphériques (figure 7), ce qui peut fortement aggraver les conséquences d'épisodes caniculaires. Sur les autres villes, l'on constate des intensités maximales d'îlots de chaleur urbains variables (de 5°C à Lille à 1.5 °C à Arras par exemple, pour l'ICU nocturne). L'intensité d'ICU apparaît corrélée à un ensemble de facteurs de morphologie urbaine (densité et hauteur du bâti notamment), facteurs qui se trouvent synthétisés dans la LCZ attribuée à chaque USR. Les profils d'ICU ont été étudiés et mis en perspective entre les différentes unités urbaines. On constate logiquement qu'une unité urbaine comprenant une plus grande proportion de LCZ hautes et denses tend à posséder un ICU de plus forte intensité. Néanmoins, l'impact des LCZ – et donc, par extension, de la morphologie urbaine – sur l'intensité d'ICU n'est pas homogène pour toutes les agglomérations. Les contrastes moyens d'intensité d'ICU constatés entre LCZ de fortes densité et LCZ non-bâties sont ainsi variables : environ 3°C à Bordeaux contre 0.5°C à Montpellier, par exemple. En première analyse, ce constat semble s'expliquer au moins partiellement par les différences de climats régionaux, qui ne sont pas prises en compte dans l'analyse morphologique. Ainsi, les villes soumises à un climat méditerranéen franc présentent a priori un ICU plus homogène : 0.7 °C d'écart moyen entre LCZ denses et LCZ de nature, là où les

villes soumises à un climat dit semi-continental présentent en moyenne un écart plus de deux fois plus important (1.6°C).

## C.4.2 ANALYSE JURIDIQUE ET URBANISTIQUE DES PRATIQUES ET MISES EN ŒUVRE

### C.4.2.1 Analyse juridique

La tâche 4-1 confiée au LIEU, visait à analyser le cadre général formel du droit de l'urbanisme : que prévoit actuellement le droit de l'urbanisme en matière d'intégration des questions énergie-climat dans les outils de planification ?

L'étude du droit positif applicable et des pratiques exemplaires de collectivités a été effectuée. Elle n'a pas été facilitée par l'évolution rapide du contexte juridique, qui a obligé à une actualisation en continu des fiches :

- Loi NOTRe du 7 août 2015,
- Loi de transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015,
- Ordonnance relative à la partie législative du code de l'urbanisme du 23 septembre 2015
- Décret n° 2015-1783 du 28 décembre 2015 relatif à la partie réglementaire du livre Ier du code de l'urbanisme et à la modernisation du contenu du plan local d'urbanisme
- [décret n° 2016-849 du 28 juin 2016](#) relatif au plan climat-énergie-air territorial
- Arrêté relatif au contenu du plan climat-énergie-air territorial du 6 août 2016

Il ressort de l'analyse des sources juridiques et de leur utilisation concrète par les villes observées, plusieurs enseignements.

D'une part, on peut conclure qu'il n'existe pas « une échelle-miracle » pour traiter des questions énergie-climat. L'objectif d'une stratégie en matière d'énergie climat consisterait donc à combiner plusieurs sortes d'outils, certains incitatifs, d'autres réglementaires, portés ou construits par des acteurs parfois différents, dont l'action doit être coordonnée.

De ce point de vue, l'évolution juridique récente ne saurait manquer de surprendre. Il découle de l'observation des différents outils que le SRCAE (Schéma Régional Climat Air et Energie co-construit par l'État et la Région) et le PCAET (Plan Climat Air Energie Territorial) doivent porter une mission stratégique régionale et locale tournée vers les questions énergie-climat. Le PC(A)ET apparaissait comme l'outil local dont on pouvait attendre une réflexion poussée en matière d'adaptation au changement climatique, englobant la lutte contre les îlots de chaleur urbains.

Or la loi sur la transition énergétique<sup>10</sup> a, d'une part renforcé le contenu du PCET en lui ajoutant un volet « qualité de l'air », en faisant un PCAET (L229-26 C. Env.), ce qui n'était pas incohérent dans la mesure où il s'agissait d'harmoniser ses objectifs avec ceux du SRCAE. En outre, le volet adaptation au changement climatique est légèrement renforcé par rapport à la version antérieure de l'article, puisqu'il est précisé que le programme d'actions doit désormais permettre de « *favoriser la biodiversité pour adapter le territoire au changement climatique* » et « *d'anticiper les impacts du changement climatique* » (art L 229-26-II-2 code de l'environnement). En revanche, la loi a modifié l'articulation entre le PCAET, le SCOT et le PLU. Avant la loi sur la transition énergétique de 2015, le SCOT devait prendre en compte le PCET, ce qui faisait de ce dernier un document intermédiaire traduisant les objectifs du SRCAE pour les intégrer dans

---

<sup>10</sup> loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte

le SCOT (et par ricochet dans le PLU). Le SCOT lui-même était devenu un document « intégrateur » dans une perspective de « verdissement » des territoires.

Au contraire, la loi de transition énergétique et la réforme du Code de l'urbanisme ont inversé le rapport de prise en compte. Le SCoT n'est plus tenu de se référer au PCAET (arts L131-1 et 2 du code de l'urbanisme). C'est désormais le PCAET qui doit prendre en compte le SCoT (L 229-26-VI). Il apparaît donc que le PCAET, sensé travailler à une échelle plus fine que le SRADDET et de façon spécifique sur les aspects climat-énergie, de façon à inspirer le SCoT et lui proposer des pistes de travail opérationnelles, se voit relégué à une place subalterne, en devant prendre en compte les objectifs du SCoT qui, en matière d'énergie-climat, sont pour le moment très souvent étiques pour ne pas dire, dans certains cas, inexistantes.

Le PLU devra de son côté prendre en compte le PCAET (article L131-5 code de l'urbanisme) . Le résultat est que le SCOT est désormais juridiquement connecté aux seules références régionales de stratégie sur l'énergie et le climat du SRCAE-SRADDET, mais plus à celles du PCAET. En revanche, le PLU est doté d'une vocation plus affirmée à prendre directement en compte les dispositions du PCAET.

Ces analyses sont synthétisées sous forme de **fiches méthodologiques**. Les juristes du LIEU ont établi deux types d'outils méthodologiques permettant d'aider les acteurs de l'urbanisme à intégrer les questions d'énergie et de climat urbain (îlots de chaleur urbains) dans leurs documents de planification :

- Des **fiches-exemples** analysent les démarches déjà mises en œuvre par des communes ou des intercommunalités dans ce domaine. Les exemples retenus dans les premières analyses du programme étaient ceux de Grenoble, Paris, Barcelone, Stuttgart mais il étaient déjà très documentés. Les juristes du programme MApUCE ont donc choisi de développer l'exemple d'**Agen**, qui présentait l'avantage de démontrer qu'une commune moyenne pouvait parfaitement intégrer les questions énergie-climat dans toute la déclinaison des documents de planification et d'urbanisme : PCET, SCoT, PLU (voir : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354293v1>).
- Des **fiches-outils** présentent les fondements juridiques des outils d'urbanisme et les thématiques climat-énergie qui peuvent y être développées, en détaillant des rédactions proposées pour intégrer ces questions dans chacun des documents d'urbanisme :  
Plusieurs fiches ont été élaborées et ont été mises en ligne, certaines après une dernière actualisation (fiche SCoT):
  - SRCAE-SRADDET - Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'énergie, Schéma Régional d'Aménagement et de Développement Durable et d'Égalité des Territoires
  - Charte des Parcs Naturels Régionaux
  - Plan Climat Air Energie Territorial
  - Schéma de Cohérence Territorial (PADDet DOO )
  - PLU (rapport de présentation et PADD)
  - PLU Règlement
  - PLU OAP

Ces fiches ont été mises en ligne en open access sur le site du GRIDAUH, et sur Hal SH : <http://www.gridauh.fr/actualites/fiche/fiches-techniques-sur-lecriture-des-documents-durbanisme-climat-urbain-et-energie/?cHash=0f0614ceef6d5d5c8dd1759875e10231>.

Elles ont en outre été présentées à de nombreux acteurs, dans le cadre de colloques, de MOOC ou de formations.

#### *C.4.2.2 Analyse des cas exemplaires*

La tâche 4.2 dont le LISST est responsable, vise à identifier et à analyser des approches exemplaires de prise en compte des problématiques énergétiques et climatiques dans différentes pratiques de planification et d'aménagement urbains. Ces expériences ont été recherchées tant en France qu'à l'étranger, l'objectif étant 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. Ce retour d'expériences permet de tirer des enseignements sur les points clés, mais aussi sur les sources de dysfonctionnement, qui pourront venir en appui aux recommandations pour une meilleure intégration des problématiques et des données climat-énergie dans les exercices de planification et d'aménagement de toute collectivité locale.

Le choix des expériences s'est appuyé sur trois sources :

- la bibliographie scientifique et la littérature grise provenant notamment des villes et de leurs réseaux
- les « dires d'experts » tels que l'ADEME ou des collègues chercheurs impliqués dans des collaborations avec des villes en France ou à l'étranger (Stuttgart et Vittoria notamment)
- les sites des réseaux de villes engagées sur les questions énergétiques et climatiques tels que Énergie-cités, villes post carbone ou ICLEI par exemple.

Au-delà du critère d'intégration forte des questions climat et énergie dans les documents et démarches d'urbanisme, nous avons privilégié les expériences qui témoignent d'une réelle collaboration entre climatologues et urbanistes. Pour la France, nous avons retenu : Paris, Lyon, Grenoble, Agen, Marseille-Euroméditerranée et Frontignan La Peyrade. A l'étranger, nous avons sélectionné Stuttgart, Barcelone, Vittoria, Tokyo et Arnhem aux Pays-Bas.

Pour chacune de ces expériences, la littérature scientifique et institutionnelle a été analysée et des entretiens ont été conduits auprès des principaux protagonistes, tant du côté de la collectivité locale que du côté des organismes scientifiques et experts qui ont collaboré au projet. A chaque fois, une attention particulière a été prêtée :

- au repérage et analyse des outils de transfert vers la collectivité des données et connaissances relatives au climat et à l'énergie, notamment les cartes climatiques.
- à la manière dont les caractéristiques urbaines et leurs effets sur le climat local et la consommation énergétique sont pris en compte.
- à la manière dont les connaissances autour de l'îlot de chaleur urbain sont intégrées
- à la configuration d'acteurs et les leviers clés qui expliquent le succès du projet.

Pour chaque cas exemplaire, une fiche descriptive et analytique a été produite, ainsi qu'un schéma qui synthétise les interactions entre acteurs.

#### **Quelques enseignements en synthèse :**

- Les thématiques d'entrée privilégiées pour la production et l'utilisation de données climatiques sont : le bioclimatisme, le confort thermique, la qualité de l'air, les risques, la résilience et l'adaptation au changement climatique.
- 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 : **l'étude** au travers de campagnes de mesures, de modélisation, d'approches historiques ou de diagnostic ; **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 ; **la formalisation** à travers la réglementation ou de simples recommandations ; et enfin **la**

**mise en œuvre** concrète et **l'évaluation**. A noter que cette dernière étape est souvent la moins aboutie.

- Le facteur humain est fondamental pour réussir la prise en compte des données climatiques dans l'urbanisme. En effet, les enquêtes révèlent le rôle fondamental que jouent des personnes-relais entre les sphères scientifique et experte qui produisent les connaissances climatiques, et celle des utilisateurs 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.

#### *C.4.2.3 Analyse des besoins utilisateurs*

A travers la tâche 4.3, dont elle a la responsabilité, la FNAU a pour objectifs d'identifier et de caractériser les pratiques d'urbanistes sur l'intégration actuelle des considérations énergie-climat dans les exercices d'urbanisme : les bonnes pratiques, les freins et les leviers.

Cette approche s'appuie uniquement sur des villes dotées d'une agence d'urbanisme, mais le panel des 53 villes membres de la FNAU est suffisamment large et varié pour être représentatif.

Partenaire du projet MApUCE, la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme (FNAU) est représentée par cinq agences du réseau : l'Agence de Développement et d'Urbanisme de l'Agglomération Strasbourgeoise (ADEUS), l'Agence d'Urbanisme Atlantique et Pyrénées (AUDAP), l'Agence d'Urbanisme et de Développement de la Région de Saint-Omer (AUDRSO), l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme - Ile-de-France (IAU IDF), et l'Agence d'Urbanisme et d'Aménagement Toulouse Aire urbaine (AUAT), coordonnatrice du projet pour la FNAU.

A travers la tâche 4.3, dont elle a la responsabilité, la FNAU a pour objectifs d'identifier et de caractériser les pratiques d'urbanistes sur l'intégration actuelle des considérations énergie-climat dans les exercices d'urbanisme : les bonnes pratiques, les freins et les leviers.

Cette approche s'appuie uniquement sur des villes dotées d'une agence d'urbanisme, mais le panel des 53 villes membres de la FNAU est suffisamment large et varié pour être représentatif.

L'intégration de la FNAU dans le projet est l'opportunité de rassembler et d'écouter les agences d'urbanisme françaises à deux niveaux :

1. Un témoignage sur les modalités et les niveaux de prise en compte et d'intégration « pratique » des problématiques énergétiques et climatiques dans les documents d'urbanisme dont elles assurent le pilotage ou la maîtrise d'œuvre ; cette première phase de collaboration sera à même de compléter avec un regard de praticiens la tâche "Analyse des outils juridiques et de leur mise en œuvre".
  - Ce témoignage a été recueilli à travers les réponses des agences d'urbanisme à un questionnaire en ligne diffusé le 24 juillet 2014 auprès de l'ensemble des agences du réseau de la FNAU. Ce questionnaire a été clos le 12 janvier 2015. Il est à noter que ce questionnaire comprend également un questionnement spécifique relatif aux typomorphologies urbaines destiné à alimenter la tâche 1.2 "Analyse architecturale des bâtiments typiques de France"
  - Vingt-cinq agences d'urbanisme ont répondu, soit 48% des agences du réseau FNAU.

2. L'expression des attentes en la matière et l'identification des marges de progrès envisageables, en termes d'approches, d'outils, d'indicateurs, de compétences à acquérir, de partenariats à établir, ... Les besoins ainsi identifiés pourront être repris dans le cahier des charges des outils de transfert.
  - Un atelier d'échanges et de débats a été organisé au sein de la FNAU le 19 mars 2015, associant les clubs thématiques Environnement et Planification du réseau, afin de présenter les premiers enseignements du questionnaire et de les porter au débat.
  - Étaient présents à cet atelier : 32 participants, représentant 19 agences, la FNAU, le Plan Climat de la Région Ile de France, ainsi que les laboratoires de recherche partenaires CNRM et le LISST-CIEU.
  - Un compte-rendu de cette séance, ainsi que les différentes présentations qui y ont été exposées ont été mis à disposition de l'ensemble de l'équipe projet MApUCE via le site dédié au projet

L'ensemble des réponses obtenues suite au questionnaire transmis, ainsi que les échanges de la séance du 19 mars 2015 ont permis d'alimenter le rapport final de la tâche 4.3.

#### **Voici quelques enseignements en synthèse :**

- l'investissement important de ces Agences dans les SCoT et PLU/PLUi ;
- l'implication moyenne sur des réflexions sectorielles environnementales, énergétiques et climatiques ;
- l'implication variable dans des exercices intégrant des axes stratégiques énergie-climat, « sobriété énergétique » et « énergies renouvelables » en tête ;
- le lien prometteur avec des observatoires territoriaux : quasi la moitié des Agences sont impliquées ou animent un observatoire lié à l'énergie et au climat ;
- des engagements principalement depuis 2005 (définition d'outils, contexte législatif en évolution, évènements caniculaires = prise de conscience, ...) ;
- Différents contextes d'engagement des agences : nouveaux partenariats, implication dans des travaux de recherche et prospective, intégration des nouveaux enjeux de développement durable, cadre législatif et exercices de planification ;
- de multiples enjeux investis : vulnérabilités énergétiques et contraintes carbone (GES), exposition – vulnérabilité aux effets des changements climatiques, politiques énergétiques, risques naturels, disponibilité des ressources, modalités d'atténuation et d'adaptation au changement climatique..., mais des travaux restant encore centrés majoritairement sur la consommation d'énergie, les émissions de GES et peu de travaux sur les comportements, sur la vulnérabilité énergétique et climatique, notamment sur la vulnérabilité globale des territoires ;
- en termes d'exercices de prospective : des pratiques centrées sur les scénarios sociodémographiques, de consommation de l'espace, surtout dans le cadre des travaux de SCoT ;
- une expérience importante d'évaluation environnementale : 15/24 agences, mais très peu d'autres outils et méthodes d'évaluation usités ;
- des besoins de modélisation repérés : territorialisation données énergétiques, vulnérabilité aux effets du changement climatique ;
- une approche SIG « légère », surtout du côté des « petites » agences ;
- un travail sur la déclinaison dans les documents d'urbanisme et projets d'infrastructures centré sur les documents suivants : SDAGE, SAGE, PDU, SRCE >> avec une déclinaison des grandes orientations mais des questionnements quant à la

véritable appropriation au sein des projets et la faiblesse du lien développé avec les documents liés à l'énergie et au climat (SRCAE, PPA...) ;

- un travail sur les dispositions normatives et non normatives (50/50) axé sur : logement, végétalisation, déplacements ; pas d'exemple aujourd'hui d'intégration des ICU dans les PLU (OAP) ou dans les SCoT ;
- des travaux nombreux sur le suivi et l'évaluation, mais n'intégrant quasi pas d'indicateurs liés à l'énergie et au climat. D'ailleurs les « indicateurs MApUCE » (consommation d'énergie, végétation, potentiel d'énergie renouvelable...) sont utilisés mais par peu d'agences d'urbanisme.
- le développement de nombreux partenariats : INSEE, ADEME, DREAL, bureaux d'études (par exemple : Énergie demain), AASQA...
- En termes de références de bonnes pratiques locales, 15 des 24 agences ont répondu en indiquant des documents d'urbanisme, des projets urbains, des territoires à énergie positive (Tepos), des guides, ... sur des périmètres de projets variables, avec une grande diversité de thèmes abordés et d'outils utilisés.

Ces enseignements, comme l'ensemble du projet MApUCE, ont été présentés à plusieurs occasions, au sein du réseau de la FNAU, à certains de ces nouveaux partenaires (GRDF, ENEDIS, ...), ainsi que lors d'un atelier organisé et piloté par la FNAU lors des Assises européennes de l'Énergie, en janvier 2016. Mis en relief par les retours d'expériences spécifiques de trois agences d'urbanisme (IAU, aua/T [2 agences impliquées dans le projet MApUCE] et l'APUR), ils ont fait l'objet d'échanges et de débats avec un public tous horizons de 40 à 50 personnes.

Ce que l'on peut retenir de cet atelier, et plus globalement des Assises au regard du projet MApUCE :

- L'échelle de l'ilot est, d'après de nombreux acteurs des collectivités, l'échelle pertinente pour l'exercice de planification. **Ceci confirme donc le choix fait dans MApUCE, et la pertinence du projet.**
- Dans le cadre de la loi sur la transition énergétique, les données devraient être fournies aux collectivités par les gestionnaires de réseaux (comme ERDF et GRDF) à l'échelle des IRIS. Toutefois, la segmentation typologique et les échelles temporelles ne sont pas encore connues et sont en cours de négociation. De telles données, si les instituts de recherche peuvent y avoir accès, seraient très utiles au projet.
- La mobilisation des partenaires, via par exemples des dispositifs de plateformes, et la place des agences d'urbanisme dans ces réseaux d'acteurs vis-à-vis des acteurs de l'énergie et du climat ; exemples de l'APUR, de l'IAU, de l'ADEUS... désormais reconnus compétents, légitimes, notamment de par leur vision transversale,
- L'importance de donner un sens pertinent aux données et indicateurs dans le cadre donné par l'exercice d'urbanisme,
- L'importance de développer des approches plus intégrées (climat, air, énergie, biodiversité, ...), d'interpeller la multifonctionnalité des espaces urbains non bâtis (TVB = biodiversité, mais aussi lien social, espace de fraîcheur, captation polluants, ...),
- L'importance de donner des exemples de mesures / dispositifs concrets intégrés dans les documents de PLU (PADD, OAP, règlement), dans l'objectif de donner à voir concrètement sur les leviers d'action à disposition dans les documents d'urbanisme ; peu de boîtes à outils existent aujourd'hui, on peut citer celles de Grenoble ou le Grand Lyon : quels enseignements tire-t-on aujourd'hui de leur utilisation ?
- Diffuser, communiquer sur ces aspects : élus, techniciens des collectivités, bureaux d'études, ...

### C.4.3 LA TERRITORIALISATION DES OUTILS : LES CARTES CLIMATIQUES DE L'ENVIRONNEMENT URBAIN

#### C.4.3.1 Pour un diagnostic microclimatique dans les exercices de planification

Il est communément admis que le diagnostic territorial dans les exercices de planification n'est pas une fin en soi. Il en constitue néanmoins une étape fondamentale dans la mesure où son contenu oriente et détermine largement les étapes suivantes, en particulier le projet. Depuis la mise en place des documents de planification actuels (SCOT et PLU) par la loi Solidarité et Renouvellement Urbains (SRU, 2000), et de manière plus significative avec les lois Grenelle (2010), les champs couverts par le diagnostic territorial n'ont cessé de s'élargir vers de nouvelles thématiques environnementales, traduisant ainsi l'emprise accrue du référentiel du développement durable sur la pratique urbanistique. En effet, la loi Grenelle 2<sup>11</sup> introduit des évolutions importantes en matière de SCOT et de PLU dans la mesure où la lutte contre le changement climatique et l'adaptation à ce changement deviennent des objectifs explicites de ces documents d'urbanisme, au même titre que la maîtrise de l'énergie, la lutte contre la régression des surfaces agricoles et naturelles ou la préservation de la biodiversité. Par conséquent, le contenu des diagnostics et plus globalement des rapports de présentation de ces documents se devait d'évoluer afin de mieux prendre en compte ces objectifs.

L'élargissement des motifs de l'urbanisme au climat et au changement climatique constitue ainsi une opportunité d'enrichir le diagnostic, et plus particulièrement l'Etat Initial de l'Environnement (EIE), de connaissances originales sur le climat, le microclimat urbain et sur les enjeux climatiques du territoire. A ce stade, la réglementation n'impose pas une liste de thématiques environnementales à traiter dans l'EIE, lequel permet d'identifier des enjeux environnementaux par définition propres au territoire. Cependant, le lien à la directive EIPPE (relative à l'évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement, et datant de 2001) implique que l'EIE doit permettre de faire le point sur « *les effets notables probables sur l'environnement, y compris sur des thèmes comme la diversité biologique, la population, la santé humaine, la faune, la flore, les sols, les eaux, les facteurs climatiques, les biens matériels, le patrimoine culturel, y compris le patrimoine architectural et archéologique, les paysages et les interactions entre ces facteurs* » (EIPPE, article 5, paragraphe 1). Ainsi, les facteurs climatiques étaient déjà explicitement suggérés parmi les thématiques qu'il convenait de traiter.

Pour l'instant, on s'aperçoit que la thématique *climat* apparaît le plus souvent au sein des EIE, soit comme thématique transversale au même titre que la santé ou le cadre de vie, soit comme une composante de l'environnement regroupée parfois avec la qualité de l'air et le bruit sous une rubrique « santé environnementale »<sup>12</sup>. La position de cette thématique apparaît comme relativement discrète -pour ne pas dire marginale- au regard d'autres thématiques plus prégnantes de l'EIE telles que les paysages ou l'eau par exemple. Sans doute la jeunesse de la préoccupation climatique est-elle un facteur explicatif de cette différence de traitement, en dépit de l'intérêt incontesté porté à cet enjeu. En effet, le développement de méthodes et de techniques permettant un traitement rigoureux des questions climatiques dans le cadre d'un exercice de diagnostic territorial est récent. Les difficultés résident essentiellement dans l'appréhension à

---

<sup>11</sup> loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement

<sup>12</sup> CGDD, L'évaluation environnementale des documents d'urbanisme – Le guide, 2011

l'échelle locale de phénomènes traités habituellement à des échelles plus larges, ce qui se traduit notamment par un problème de manque de données et de pertinence d'analyse.

Si l'on considère que le diagnostic territorial est une analyse de la réalité locale servant à orienter la vision et l'action, on peut alors se poser la question des modalités d'intégration des connaissances et données climatiques pour mieux décrire cette réalité. A cet égard, il est intéressant d'opérer un bref détour pour observer la manière dont le problème du bruit a été pris en compte en matière d'urbanisme. Après les premiers textes de la fin des années 70 règlementant le bruit dans l'environnement, des objectifs précis fixés par la loi SRU en matière de réduction des nuisances sonores et de prévention des pollutions de toute nature ont permis la prise en compte formelle des contraintes acoustiques dans les projets d'urbanisme. Mais il faudra attendre la directive européenne du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement pour avoir les premiers outils techniques et réglementaires rendant cette prise en compte effective, à savoir les cartes de bruit et les Plans de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE)<sup>13</sup>. L'articulation bruit-urbanisme se fait donc par le biais des cartes de bruit qui permettent de faire ressortir les zones de conflits potentiels entre une source de bruit et des secteurs destinés à accueillir des habitations ou des établissements sensibles au bruit.

Il est sans doute encore trop tôt pour esquisser un cheminement comparable en matière de prise en compte du climat et du microclimat dans la planification urbaine. Cependant, en observant ce qui se passe dans des pays plus précocement investis dans cette dynamique, il est possible d'identifier d'ores et déjà un point commun entre les deux approches, à savoir le recours à des représentations cartographiques permettant de spatialiser l'information à l'échelle du territoire concerné. En effet, depuis près de trois décennies, des chercheurs en climatologie urbaine se sont lancés –souvent en partenariat avec les acteurs de l'urbanisme- dans l'élaboration de cartographies climatiques permettant d'enrichir le volet environnemental du diagnostic territorial et de guider, aux côtés d'autres éléments bien sûr, le processus de planification.

Parmi les pays les plus avancés dans ce domaine, citons le Japon où des cartes climatiques de l'environnement urbain (UECM ; Tanaka et al., 2009) ont été élaborées dans certaines villes (Kobe, Osaka, Yokohama et Sakai). Même si les méthodologies sont spécifiques à chaque contexte local, les UECM se composent de deux types de cartes : la "Carte d'analyse climatique" (CAM) et la "Carte de recommandation" (RM), correspondant à deux échelles de planification, celle de la ville (1/10.000) et celle du quartier (1/2.500). En Europe, c'est l'Allemagne qui arrive en tête des expérimentations dans ce domaine grâce notamment à un contexte réglementaire très favorable à la prise en compte de l'environnement. Plusieurs villes de la Rhur, mais aussi Berlin ou Stuttgart se sont dotées de cartes climatiques selon des modèles différenciés (Climate Analysis Maps, Synthetic Functions Maps ou Digital Environmental Atlas) afin d'orienter leur planification urbaine. Plus récemment, les expériences du Japon et de l'Allemagne se sont diffusées à l'international, notamment à Hong Kong (Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment - Feasibility Study, 2006), aux Pays-Bas (Arnhem, Burghardt et al. 2010), en Espagne (Bilbao, Acero, 2012) et dans de nombreux autres contextes géographiques (Suède, Suisse, Norvège, Grèce, Pologne, Brésil, Thaïlande, etc.). Bien que d'appellations hétérogènes en fonction

---

<sup>13</sup> Le choix fait en matière de lutte contre le bruit a donc consisté à concevoir un document autonome, le PPBE, auquel les documents d'urbanisme doivent se référer. Ainsi le SCOT doit « définir des objectifs et des orientations générales compatibles avec les objectifs de prévention du bruit fixés par le PPBE », alors que les PLU s'imposent quant à eux comme « le niveau pertinent pour définir les actions de terrain adaptées à la résolution des situations de conflits existants ou potentiels » (Guide ADEME pour l'élaboration des PPBE à destination des CL).

des pays et des échelles mobilisées, ces initiatives tendent aujourd'hui à converger autour de la dénomination générique **Urban Climatic Map (UC-Map)**, laquelle est composée d'une **Urban Climatic Analysis Map (UC-AnMap)** et d'une **Urban Climatic Planning Recommendation Map (UC-ReMap)**. Les grandes lignes du contenu de ces cartes ont tendance elles aussi à se normaliser en dépit d'un nécessaire ajustement aux contextes climatiques, culturels, économiques et urbains locaux. Les directives VDI 3787 publiées pour la première fois en 1997 par l'Association des ingénieurs allemands (VDI), sont devenues une référence internationale en la matière<sup>14</sup>. Enfin, une publication récente intitulée "*The Urban Climatic Map, A Methodology for Sustainable Urban Planning*" (Ng et Ren, 2015) contribue à la diffusion internationale de ces outils cartographiques, en formulant les bases scientifiques et techniques de ces outils et en explicitant des méthodes permettant de relier informations météorologiques, données de planification, d'utilisation des terres, de topographie et de végétation en vue de l'élaboration des cartes UC-Maps.

La méthode de transfert aux acteurs de l'urbanisme développée dans le cadre du projet Mapuce et faisant l'objet de cette seconde partie du guide s'inspire de cette lignée de travaux internationaux, avec un souci d'adaptation au cadre juridique français. Elle a vocation à venir compléter une gamme d'outils existants ou en cours de développement, notamment :

- l'outil *Clim'Urba* développé par le CEREMA pour permettre « une "prise en main" simplifiée des leviers dont disposent les rédacteurs des documents d'urbanisme pour traiter des questions relatives aux enjeux climat air énergie et permettant d'établir un "profil illustré" du document facilitant la lecture des ambitions, des forces et des faiblesses du document d'urbanisme, toujours sur ces mêmes enjeux » (<https://www.cerema.fr/fr/actualites/clim-urba-outil-au-service-planification-prise-compte-du>). A la différence des deux outils suivants et de ce qui est développé dans le projet Mapuce, *Clim'Urba* ne s'appuie pas sur une représentation spatialisée du territoire.

- l'outil *Diaclimap* développé dans le cadre du projet du même nom mené par le CEREMA avec le soutien financier de l'ADEME. Il s'agit d'un outil de diagnostic climatique urbain destiné à alimenter les démarches de planification urbaine et de conception des projets d'aménagement à l'échelle des quartiers. L'outil est basé sur une méthode semi-automatisée de cartographie de la ville en zones climatiques locales (LCZ), Un modèle statistique fournissant des indicateurs de potentiel d'ICU localisé, et une base d'indicateurs multithématiques avec les méthodes de calcul associées pour caractériser la vulnérabilité des quartiers au phénomène d'ICU. (<https://www.cerema.fr/fr/actualites/cerema-concoit-outil-aider-villes-s-adapter-aux-ilots>)

- l'outil développé par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme Ile de France (IAU) : il s'agit d'une application en ligne permettant aux professionnels de mesurer la vulnérabilité au stress thermique en fonction de la morphologie urbaine de chaque îlot d'Île-de-France. Pour cela, l'IAU a caractérisé de manière fine les îlots urbains et ruraux franciliens pour déterminer à quelle « zone climatique locale » du référentiel international LCZ ils appartiennent. (<https://www.iau-idf.fr/savoir-faire/environnement/changement-climatique/chaleur-sur-la-ville.html>)

---

<sup>14</sup> « The standard describes how to present and to evaluate climatologically relevant facts for cities in maps. Further, it specifies how to utilise the deduced planning recommendation maps. On local and regional level these maps are basically for zoning plans and for local development plans. In times of climate change and environmental justice these maps gain more importance. The scope of this standard extends from urban to regional planning. This standard supports the user to evaluate the thermal and air quality situation and the effects of planning and development measures » ([https://www.vdi.eu/nc/guidelines/vdi\\_3787\\_blat\\_1-umweltmeteorologie\\_klima\\_und\\_lufthygienekarten\\_fuer\\_staedte\\_und\\_regionen\\_/](https://www.vdi.eu/nc/guidelines/vdi_3787_blat_1-umweltmeteorologie_klima_und_lufthygienekarten_fuer_staedte_und_regionen_/))

### C.4.3.2 Description de l'outil : les cartes climatiques

Les cartes climatiques représentent à la fois un outil de diagnostic microclimatique du territoire urbain et un levier potentiel de traduction réglementaire ultérieure des enjeux identifiés.

Cet outil est ainsi composé de deux niveaux d'information :

Le premier est celui du diagnostic microclimatique qui rassemble des informations sur la météorologie, l'occupation des sols, la topographie et la végétation, dont les interrelations et les effets sur les vents et le confort thermique sont analysés et évalués spatialement. Ce diagnostic est donc basé sur un jeu de cartes, appelées couramment « cartes d'analyse », et croisé avec d'autres éléments de la planification (TVB, zonage, etc.). Les cartes d'analyse doivent permettre d'identifier un certain nombre de zones à enjeu d'un point de vue :

- thermique (typologies des zones urbaines en fonction de leur densité ou structure urbanistique, les espaces thermorégulateurs comme les masses d'eau et de végétation, les zones commerciales et ou d'activité souvent très minéralisées et avec un fort recours à la climatisation et les zones de transition)
- et d'un point de vue aéraulique (les couloirs de vent prédominants, les zones génératrices de brises de pente, les zones de production d'air frais - végétation, eau par exemple - ou chaud - très minéralisés ou avec recours à la climatisation par exemple - et les zones qui font obstacle au vent).

Le deuxième niveau d'information, normalement retranscrit via une « **carte de recommandations** », doit permettre une traduction des orientations stratégiques générales et pratiques en matière d'urbanisme visant à améliorer l'environnement thermique et éolien sur la base des cartes d'analyse et en fonction des contraintes urbanistiques et socio-culturelles.

Différentes approches existent pour la production du diagnostic microclimatique :

- d'un point de vue thématique, certains diagnostics sont plus orientés «stress thermique», c'est le cas de celui élaboré à Tokyo. D'autres sont plus orientés « ventilation et qualité de l'air » et vont mettre l'accent sur le potentiel dynamique du vent. C'est souvent le cas des villes allemandes où les problèmes de pollution atmosphérique sont plus importants et fréquents que les situations de stress thermique élevé. À Hong-Kong par exemple, le diagnostic est axé sur le confort d'été et les deux aspects (stress thermique et ventilation) sont explorés en raison de la topographie prononcée du site et de la proximité de la mer.
- En ce qui concerne les données mobilisées, la plupart des villes qui ont développé cet outil sont instrumentées d'un point de vue atmosphérique, ou alors elles ont bénéficié de campagnes de mesures dans le cadre de programmes de recherche dédiés. Ceci a permis d'établir des liens statistiques entre les conditions microclimatiques et l'occupation et la morphologie urbaines. La caractérisation de la surface urbanisée prend donc une importance prédominante dans ce type d'analyse. En Allemagne par exemple, l'occupation du sol est généralement la seule donnée utilisée pour obtenir une classification de l'espace physique entre différents « climatopes » représentant des zones avec des climats locaux supposés distincts. Les données de température ou de stress thermique sont ensuite utilisées pour les caractériser. La donnée de vent est

utilisée pour définir les couloirs de ventilation, les zones de production d'air frais, les zones de blocage au vent, etc. En revanche, pour Hong Kong, en raison de la morphologie urbaine complexe en termes de densité et de hauteur du bâti, d'autres paramètres comme la volumétrie des bâtiments doivent entrer en jeu.

Ainsi, les choix techniques vont dépendre des enjeux climatiques locaux, des données disponibles pour la description de la ville et du climat urbain et du contexte scientifique et culturel des acteurs (chercheurs et parties prenantes) impliqués dans le projet.

#### *C.4.3.3 Choix faits dans le cadre de MApUCE*

Dans le cadre du projet MApUCE, le choix a été fait de proposer une méthodologie d'élaboration de cartes climatiques de l'environnement urbain adaptée aux enjeux climatiques et au cadre réglementaire français.

Il existe une grande variabilité climatique sur le territoire français qui se décline, en fonction de la situation géographique et la topographie, en climat océanique, méditerranéen, semi-continentale, montagneux et des régimes mixtes qui présentent des formes dégradées des catégories de climat précédentes. Les villes du Sud de la France présentent ainsi un climat plus doux qui peut être sévère en été avec de hautes températures, de jour comme de nuit. Ces situations avec un fort stress thermique sont également observées pour les villes continentales situées à l'Est et au Nord. Du point de vue de l'évolution du climat à long terme, on s'attend avec une forte probabilité à une hausse des températures minimales et maximales ainsi qu'à la hausse de la fréquence, de la durée et de l'intensité des épisodes de vague de chaleur sur toute la France et en particulier sur le bassin méditerranéen. L'évolution à moyen et long termes d'autres paramètres atmosphériques comme la pluviométrie ou le vent est plus incertaine. Dans une logique de transfert rigoureux des connaissances scientifiques vers l'opérationnel, il semble pertinent de commencer par intégrer les connaissances des aléas climatiques les plus fiables, ce qui positionne l'enjeu du stress thermique en milieu urbain comme un choix naturel pour cette première expérience.

L'accès à des données atmosphériques à haute résolution spatiale étant rare dans les villes françaises, le projet MApUCE représente un vrai saut quantitatif du point de vue de la disponibilité des données sur la description de la ville et du climat urbain :

- Les données de modélisation permettent un accès large et homogène aux données de température de l'air, de stress thermique, de vent, etc. Ceci permet de prendre en compte toute la complexité locale du micro-climat (comme par exemple le fait qu'il peut faire plus chaud en aval de la ville par rapport aux quartiers amont lorsqu'un vent modéré transporte la chaleur du centre-ville). Ceci n'est pas possible avec les approches statistiques qui supposent que les conditions microclimatiques en milieu urbain soient essentiellement pilotées par la surface. Ceci est vrai pour des situations atmosphériques très calmes et sans vent mais présente des limites pour des situations de vent fort ou des situations de transition ainsi que pour les villes soumises à des brises de montagne ou les villes côtières.
- La Base de Données Urbaine MApUCE facilite l'interprétation et la compréhension des impacts de la surface urbaine sur son atmosphère proche. L'occupation du sol permet d'interpréter les contours de l'îlot de chaleur urbain ainsi que les zones avec un niveau de stress thermique inconfortable. La hauteur et la contiguïté des éléments bâtis permettent par exemple d'identifier des barrières au vent ou au contraire de potentiels voies d'accélération de celui-ci.

Tout ceci permet de proposer des méthodologies génériques pour l'obtention de cartes d'analyse qui serviront à alimenter le diagnostic microclimatique, lequel est beaucoup plus situé et non généralisable. Dans le cadre de ce guide, les cartes d'analyse se focalisent sur une problématique de stress thermique, tant diurne que nocturne, sur la base de données de modélisation numérique du climat.

#### *C.4.3.4 Méthodologie proposée. Application sur Toulouse.*

Le territoire métropolitain est composé de 37 communes et compte ~750000 habitants en 2017. Toulouse constitue une métropole attractive et ceci se traduit par une croissance démographique de plus de 10000 habitants par an. Ceci engendre une forte pression foncière et un fort étalement urbain principalement expliqué par le type d'habitat privilégié (la maison individuelle). Sous conditions favorables (nuits avec faible vent et fort ensoleillement le jour précédent), Toulouse présente un îlot de chaleur urbain qui peut atteindre typiquement 4°C en moyenne (fig.8). En été, la partie la plus chaude de la ville en journée n'est pas le cœur historique dense, mais ses faubourgs immédiats, car dans les rues étroites du centre-ville, l'ombre contribue à réduire l'accumulation de chaleur dans les matériaux. On observe également une variabilité spatiale des températures à une échelle plus fine, pouvant atteindre une amplitude de 4°C, soit une valeur comparable à celle de l'ICU moyen à l'échelle de la ville (fig.9).

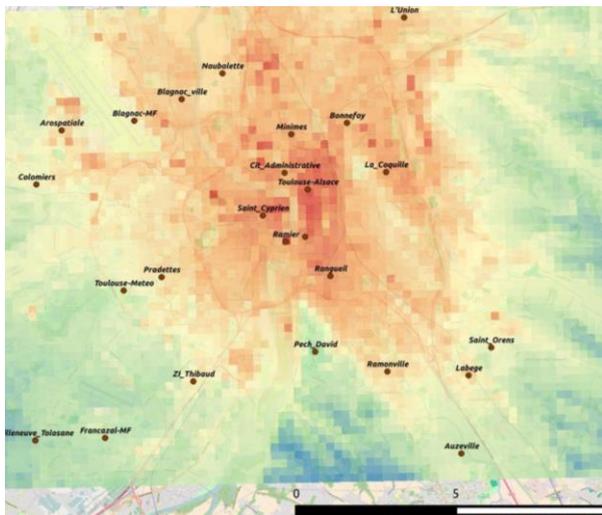


Fig. 8. Température de l'air spatialisée à partir des relevés des 27 stations la campagne de mesures CAPITOU. Source (J. Hidalgo, CNRS/LISST)

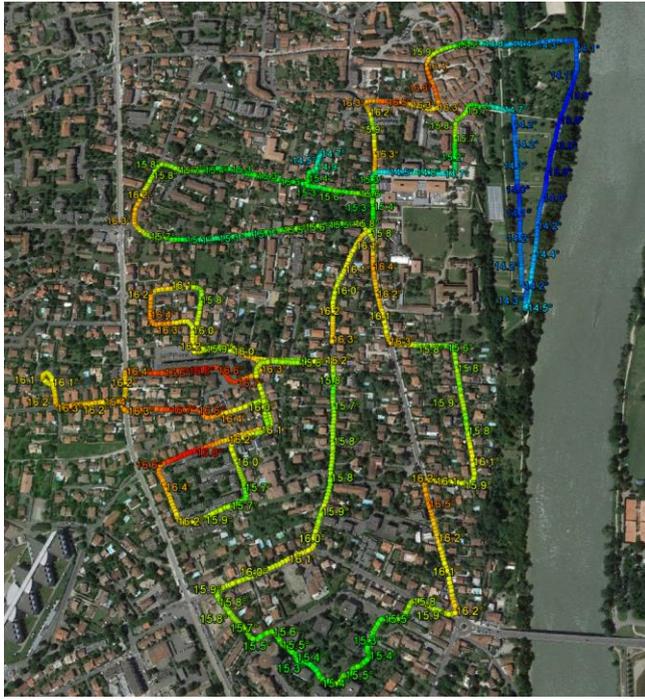


Fig. 9. Température de l'air dans un quartier périurbain (Blagnac) à partir des relevés par vélo instrumenté (source A. Lemonsu (CNRS/CNRM))

Onze types de situations météorologiques permettent de caractériser la climatologie de la région toulousaine. Les caractéristiques de ces types de temps sensibles - l'amplitude thermique, la direction du vent, etc. - vont se décliner, avec certaines variations, en fonction de la saison. Certains types de temps sont caractéristiques, et donc plus fréquents, d'une saison en particulier. Pour Toulouse, il y a quatre types de situations de ciel clair qui sont très présentes dans la

région et qui sont caractérisées par des situations de forte stabilité atmosphérique et de forte insolation. Il y en a deux qui correspondent à des flux de vent de sud-est. Les précipitations les plus intenses sont concentrées sur deux types de temps et restent relativement peu fréquentes. Finalement, trois types de situations avec vent du nord-ouest fort ou faible et avec ou sans précipitations correspondent à des situations de transition (Hidalgo et Jouglu, 2018).

La déclinaison des 11 types de jours en fonction des saisons produit 44 situations saisonnières à analyser. Ce nombre est trop large pour être efficacement approprié dans le cadre d'actions opérationnelles d'urbanisme. Il peut être néanmoins réduit si l'on se concentre sur les situations à enjeu qui sont en lien avec une problématique donnée. Pour Toulouse, il a été décidé avec le groupe de travail de la collectivité de focaliser dans un premier temps sur les types de temps suivants :

- Jour avec du vent d'Autan au printemps → ceci correspond à une journée de vent très fort → permet de traiter l'enjeu lié à l'assurance des biens et des personnes
- Jour ensoleillé, très chaud d'été, avec vent du nord-ouest → favorable à la formation de l'ICU → permet de traiter les enjeux de santé et consommation énergétique à l'échelle du bâtiment (climatisation)
- Jour typique d'hiver bien ensoleillé sans vent → favorable à la formation de l'ICU hivernal → permet de traiter l'enjeu de la consommation énergétique à l'échelle du bâtiment (chauffage)

Une analyse par types de temps sensibles et par saison des données de simulation numérique a été effectuée pour plusieurs plages horaires (13h-16h ; 17h-20h ; 03h-06h du jour suivant). Les indicateurs atmosphériques mobilisés sont techniquement « l'impact de l'urbain dans la température de l'air à 2m » (ou l'îlot de chaleur urbain), l'indicateur de stress thermique « Universal Thermal Index, UTCI » et « la direction et l'intensité du vent ».

L'objectif étant d'identifier des zones à enjeu d'un point de vue thermique et aéraulique, le niveau le plus fréquent par pixel sur la plage horaire choisie est statistiquement identifié. L'objectif étant d'identifier les zones à enjeu de façon récurrente. La figure 10 permet par

exemple d'identifier une problématique importante d'îlot de chaleur sur la commune centrale (qui atteint les 5 degrés) ainsi qu'une problématique émergente pour les communes de première couronne. La figure 11 permet d'identifier des niveaux de stress thermique importants pour les zones commerciales et confirme des niveaux de stress thermique pendant la journée importants dans les faubourgs.

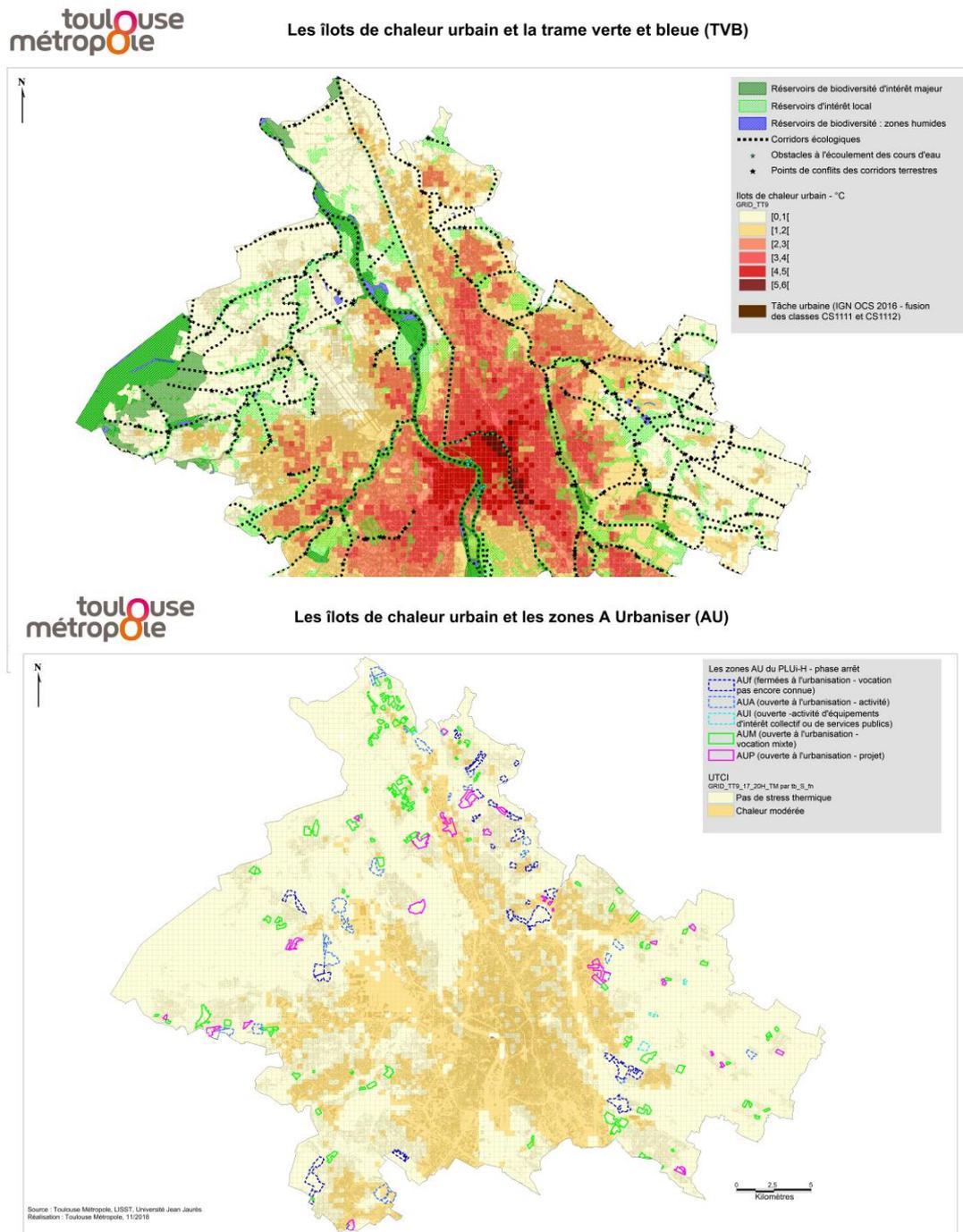


Figure 10. Exemple de cartes d'analyse pour l'îlot de chaleur urbain, l'indicateur de stress thermique et le vent.

#### C.4.3.5 Du diagnostic microclimatique au projet, les cartes de Recommandations

La collection de cartes d'analyse climatique (ICU nocturne, stress thermique diurne, vent) croisée avec les éléments qui décrivent la surface urbaine comme par exemple la carte de LCZ (Figure 11) et les éléments du projet (TVB, Zonage, OAPs, ...) doit permettre

d'alimenter le débat entre acteurs afin de co-construire une traduction réglementaire qui apporte des orientations et recommandations stratégiques.

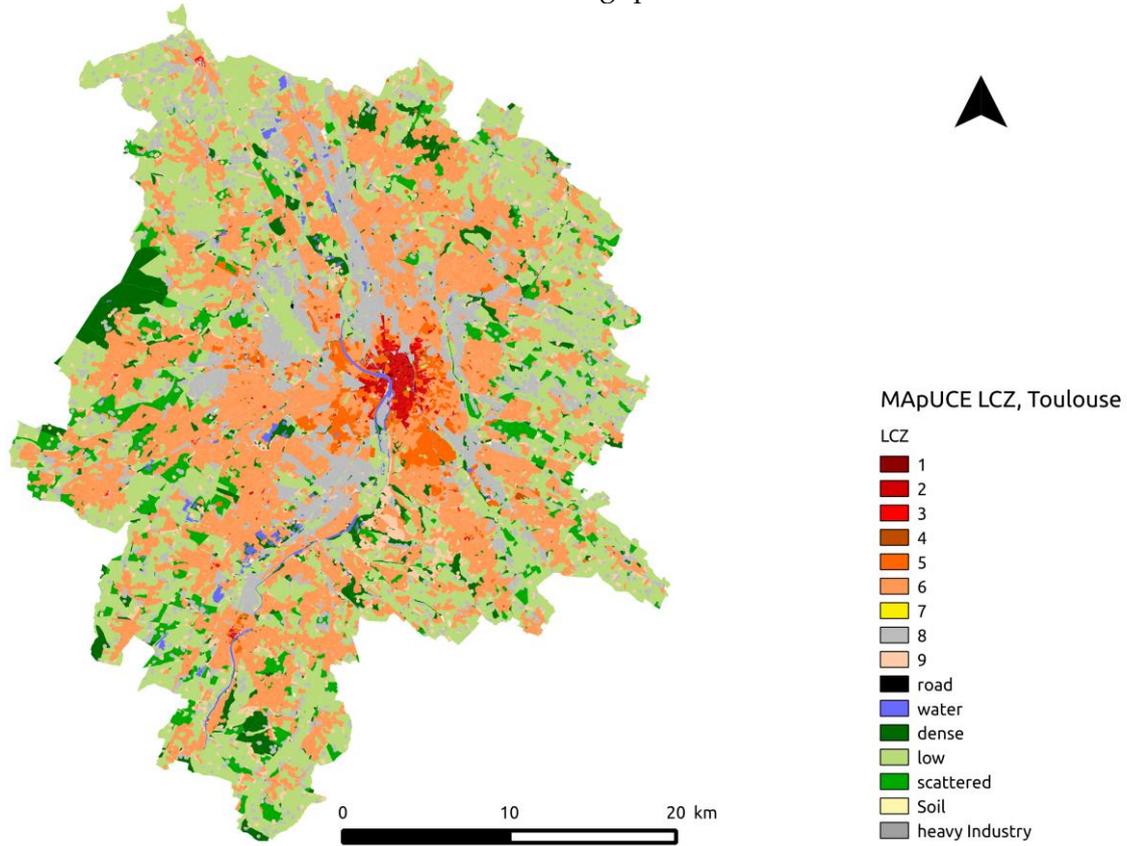


Figure 11 : carte des LCZ sur l'unité urbaine de Toulouse

Voici en guise d'exemple la première proposition de zones à enjeux identifiées pour Toulouse. Des ateliers en cours avec les services de la collectivité permettront de dégager les recommandations publiées en forme de guide.

- **Hypercentre** : cette zone se comporte comme un îlot de fraîcheur pendant la journée car ses rues étroites produisent de l'ombrage le matin et en fin d'après midi empêchant la surchauffe de la rue. Par contre la nuit, cette configuration va empêcher un rafraîchissement satisfaisant, ce qui se traduit par un îlot de chaleur intense sur cette zone. Les places publiques très minéralisées (Capitole, Esquirol) font exception en journée, avec des niveaux de stress moins confortables que dans les rues adjacentes.

*Leviers actionnables* → il est difficile sur cette zone de végétaliser en pleine terre ou de perméabiliser le sol, y compris sur les places à cause de la présence de parkings. Sur les places, l'ombrage peut améliorer le confort du piéton comme par exemple avec la présence d'arcades sur la place du Capitole. Pour préserver cet îlot de fraîcheur, qui représente la zone de l'hypercentre, les apports de chaleur anthropique (notamment par les rejets de climatisation), tant en journée que de nuit, sont à minimiser.

- **Faubourgs de première couronne** : les faubourgs (Saint Cyprien, Sain Michel, Bonnefoy, ....) présentent la journée les niveaux de stress thermique les plus élevés du centre-ville à cause d'une configuration des rues plus ouverte qui favorise le réchauffement de la chaussée et des murs exposés. La nuit, ces zones vont connaître un rafraîchissement supérieur à celui de l'hypercentre ; mais leur proximité au centre-ville et l'extension de la ville font que ces faubourgs sont exposés à une intensité d'îlot de chaleur urbain élevée.

*Leviers actionnables* → l'orientation des bâtiments/rues. Les rues orientées Nord-Sud permettent des logements traversant avec une face non exposée au soleil tandis que sur les rues Est-Ouest, les murs sont exposés en continu. La configuration en îlot de ces faubourgs présentent un potentiel intéressant à la fois du point de vue de l'orientation des logements et de la présence de végétation qui serait à protéger, voir à renforcer.

En général et sur ces deux zones (hypercentre et faubourgs), on observe un ralentissement du vent par le bâti. Les couloirs de ventilation d'air propre existants (Garonne, canaux, collines) sont donc à préserver et la présence de bâtiments de grande hauteur aux abords ainsi que les barrières à la ventilation sont déconseillés.

- **Centres villes des communes de première couronne** : A différence de ce qu'on pourrait croire, les centres villes de ces communes contribuent également d'une manière importante (>3 degrés) à l'îlot de chaleur urbain.

- **Zones commerciales et d'activité** : ces zones présentent des niveaux de stress thermique importants pendant la journée à cause de l'absence d'ombrage, la forte imperméabilisation du sol et le fort taux de climatisation. La nuit, on observe une contribution importante à la température de l'air des zones d'activité qui présentent une forte activité anthropique nocturne (production, logistique, etc.) et/ou sont situées dans la vallée de la Garonne (notamment celles situées au sud-ouest et au nord du centre-ville).

*Leviers actionnables* → perméabilisation et végétalisation ; ombrières ou arbres sur les zones de parking ; réduction du besoin en climatisation.

- **Masses arborées** : peu présentes en centre-ville, elles jouent par contre un rôle important dans la régulation thermique de par leur effet d'ombrage et d'évapotranspiration. La nuit, en centre-ville, ces zones arborées sont approximativement 2 degrés plus fraîches que les zones bâties, alors que bien qu'aussi importantes, elles sont plus fraîches de seulement 0.5 degrés que les zones bâties dans les communes de première couronne.

- **Grandes masses d'eau** : La Garonne et les canaux vont jouer un rôle à la fois de régulateur thermique et de couloir de ventilation d'air propre.

- Concernant le rôle de régulateur thermique, celui-ci s'explique plus par la présence d'arbres et de végétation que par l'évaporation. L'évaporation diminue de façon très localisée la température, mais une forte humidité de l'air peut élever la sensation de stress thermique. La nuit en été, l'eau de la Garonne peut avoir une température proche de celle de l'air et ne contribue donc pas au rafraîchissement.
- Concernant le rôle de couloir de ventilation, les vents prédominants dans la région sont ceux de sud-est et nord-ouest. La Garonne et sa vallée, avec une orientation très similaire, canalisent le vent en situation de fort vent, mais en situation de faible vent, elles présentent des vitesses de vent faibles surtout sur le centre-ville et en aval car le vent stagne dans les zones de vallée.

- **Zones en hauteur avec végétation** : la nuit, la topographie peut jouer un rôle important dans la création de brises de pente (air frais et propre qui descend des collines). Ce mécanisme est efficace tant que la présence de végétation est effective en hauteur pour assurer une différence de température suffisante à la création d'une brise et que la masse d'air n'est pas bloquée par un élément d'infrastructure (par exemple la barrière antibruit de la rocade au pied de Pech David).

- **Éléments d'infrastructure** : Les grandes voies de circulation (rocade, autoroute, etc.) constituent des couloirs de ventilation d'air pollué et plutôt chaud, surtout aux heures de forte circulation.

Ce zonage reste assez classique bien que le comportement climatique soit spécifique à chaque ville. Les recommandations doivent prendre en compte ce diagnostic afin de spécifier les leviers à mobiliser et les actions à envisager pour chaque zone.

#### C.4.4 INTEGRATION DE CES OUTILS DANS LES DOCUMENTS D'URBANISME /LEVIERS D'ACTION MOBILISABLES POUR AGIR SUR LE MICROCLIMAT URBAIN.

Les données issues des outils de modélisation fournis par le programme MApUCE, peuvent être intégrées dans les outils de planification urbaine. Ces derniers peuvent alors agir sur la végétalisation des espaces urbains, la présence de l'eau comme facteur de rafraîchissement, l'albédo des matériaux urbains, l'orientation des voies et bâtiments etc... Pour ce faire, des fiches-outils et des fiches-exemples ont été rédigées à l'attention des collectivités désireuses d'intégrer des aspects énergie-climat dans leurs documents réglementaires ou dans leurs outils de planification.

On rappellera que les autorités publiques en charge de l'élaboration des plans d'urbanisme doivent désormais traiter de l'adaptation au changement climatique. En effet, l'article L101-2 du code de l'urbanisme donne mission aux politiques urbaines et aux documents d'urbanisme de lutter contre l'effet de serre et de s'adapter au changement climatique.

Certaines thématiques peuvent être mobilisées pour améliorer le microclimat urbain de quartiers déjà construits existants (C.4.4.1) et d'autres seront plus facilement abordées lors de la conception ou la rénovation de quartiers en devenir (C.4.4.2). En effet, les règles modifiant en profondeur la morphologie urbaine (orientation de rues à créer, définition de la hauteur ou de l'alignement des constructions...), ne pourront être mises en œuvre que lors d'opérations portant sur un terrain à urbaniser ou peu urbanisé.

Voici donc une analyse des divers leviers mobilisables dans les documents d'urbanisme. Ces résultats sont détaillés dans les fiches méthodologiques en ligne et le **guide méthodologique** qui sera diffusé à destination des urbanistes et collectivités (synthèse et extraits ci-dessous).

#### *C.4.4.1 Outils mobilisables sur de l'urbanisme dense existant afin de lutter contre les ICU.*

L'intégration d'espaces végétalisés, de l'eau ou l'obligation d'utiliser des matériaux ou des enduits de façade à fort albédo pour les immeubles constituent les outils les plus facilement mobilisables au sein des documents d'urbanisme afin de prévenir ou résorber les ICU en particulier dans des espaces déjà densément urbanisés.

A fortiori, ces outils pourront également être mobilisés dans des zones à construire ou lors d'opérations de densification afin de prévenir la formation d'ICU.

#### *Végétalisation – effet canopée et évapotranspiration*

Le législateur a progressivement enjoint les rédacteurs de SCoT et de PLU(I) de prévoir des mesures visant à végétaliser certains espaces urbains, soit pour respecter les objectifs de protection des milieux naturels et des paysages, de préservation des espaces verts et des continuités écologiques<sup>15</sup>, soit pour transposer à l'échelon intercommunal ou communal les trames vertes identifiées par les schémas régionaux. Ces leviers peuvent donc être doublement mobilisés pour lutter contre la formation des îlots de chaleur dans les espaces urbains.

**Le SCoT** peut traiter de la végétalisation dans son rapport de présentation, dans son PADD et dans les mesures du DOO, selon l'article L141-4 du Code de l'Urbanisme. A ce titre, le DOO, qui est seul opposable au PLU<sup>16</sup>, est justifié à prévoir des mesures en faveur de l'identification, la préservation d'espaces naturels ou la restauration, voire la création de liaisons végétalisées susceptibles de traverser des espaces urbains<sup>17</sup>. Il lui est possible de prescrire aux documents d'urbanisme locaux et intercommunaux la mise en œuvre de politiques de végétalisation des espaces urbains, comme l'obligation de réserver un pourcentage d'espaces végétalisés sur les unités foncières publiques (stationnements, voirie...) ou privées (nombre d'arbres plantés en pleine terre, végétalisation des pieds de façade, des toitures et des façades, dalles...), toutes mesures qui peuvent s'avérer très efficaces contre les ICU.

**Le PADD du PLU** peut traiter de la végétalisation urbaine, orientant le PLU vers une végétalisation des espaces publics ou des opérations de construction, l'intégration d'îlots verts lors des opérations de densification ou de nouvelles constructions, ou encore privilégier les essences végétales le plus adaptées au climat (palette végétale) par le biais, par exemple, d'une charte de végétalisation Il peut ainsi justifier l'intégration d'éléments plus prescriptifs dans le règlement du plan.

<sup>15</sup> Article L101-2 6° du Code de l'urbanisme

<sup>16</sup> Article L142-1 du code de l'urbanisme

<sup>17</sup> Article L141-10 du Code de l'urbanisme

**Les Orientations d'Aménagement et de Programmation (OAP)** peuvent également « *définir les actions et opérations nécessaires pour mettre en valeur l'environnement, notamment les continuités écologiques* ». Elles peuvent constituer des orientations propres à un secteur particulier ou des orientations générales thématiques applicables à tout le territoire<sup>18</sup>.

Une OAP générale peut préciser les principes d'aménagement des espaces extérieurs afin de privilégier ou préserver la végétalisation des espaces (le cas échéant selon une palette végétale particulière). Une OAP sectorielle peut prévoir plus précisément le maintien ou le renforcement d'une trame végétale dans un espace déjà urbanisé (alignements d'arbres, haies, bandes enherbées...). Dans un espace à densifier ou à construire, ce document peut localiser les espaces verts publics existants ou à créer, préciser les éléments remarquables à maintenir, localiser des bandes végétales en pied de façade. Les OAP peuvent également faire figurer un coefficient de biotope par surface, qui devra être néanmoins précisé par le règlement.

Le **règlement du PLU** pour enfin définir les surfaces végétales dans les villes. L'objectif motivant la création d'espaces végétalisés vise a priori la préservation de la biodiversité et des trames vertes ou l'amélioration du cadre de vie, mais ces mesures ont également un effet sur le confort d'été et la limitation des ICU, et contribuent donc à l'objectif d'adaptation au changement climatique.

Depuis la réforme du PLU de 2015, les règles de constructibilité dans la zone urbaine doivent être organisées selon trois corpus de prescriptions : la destination et les usages des sols, les caractéristiques des constructions et de leur environnement et les conditions de desserte des zones. Cette nouvelle organisation du règlement est venue remplacer la précédente forme de rédaction en 16 articles et permet de composer des règles prescriptives par zones potentiellement plus souples, notamment dans les zones urbanisées (U).

Le règlement peut ainsi imposer :

- au titre des caractéristiques des constructions et de leur environnement, un alignement ou un retrait des immeubles par rapport à la voirie, une emprise au sol des constructions limitée de nature à permettre de végétaliser les pieds d'immeubles et l'espace public. Il peut limiter la constructibilité des fonds de terrain, pour maintenir des espaces libres et végétalisés dans la partie arrière des parcelles, et la présence de cœurs d'îlots végétalisés au sein de zones minéralisées. Il peut par le biais des règles relatives à l'aspect extérieur des bâtiments, permettre la création de toitures et de façades végétalisées, fixer un coefficient d'imperméabilisation maximum et prévoir la plantation d'arbres d'un certain type sur les espaces non bâtis et les stationnements. Le règlement peut enfin prévoir des annexes référençant une palette végétale d'espèces adaptées aux changements climatiques, et aux feuilles caduques permettant de conserver un ensoleillement hivernal.

Le règlement peut identifier les espaces boisés classés au sein des secteurs urbanisés dans les périmètres concernés par les îlots de chaleur urbains pour y maintenir ou y créer des boisements ou plantations.

Le PLU peut encore, depuis la loi ALUR de 2014, imposer un « coefficient de biotope » défini comme « *une part minimale de surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables, éventuellement pondérées en fonction de leur nature, afin de contribuer au maintien de la biodiversité et de la nature en ville* »<sup>19</sup>. Ce dispositif n'est pas imposé par la loi mais peut s'avérer utile pour garantir la présence d'espaces végétalisés notamment au sein des espaces privés.

---

<sup>18</sup> Article L151-7-1° du Code de l'Urbanisme

<sup>19</sup> Article L151-22 du Code de l'Urbanisme

Enfin, le règlement du PLU peut préserver les zones végétalisées si elles participent au maintien des continuités écologiques.

### *Eaux de surface – effet de rafraîchissement*

La présence de l'eau et sa circulation dans les espaces urbains constituent des facteurs de rafraîchissement du microclimat local. Toutes les techniques qui permettent de maintenir cette présence, de ralentir les écoulements pluviaux dans les réseaux de collecte ou de préserver les cours d'eau en milieu urbain peut à la fois participer à la fonctionnalité des trames bleues, préserver la biodiversité et améliorer le confort climatique d'été.

La présence de l'eau en ville est susceptible d'être traitée dans le **SCoT**, en tant qu'élément de l'environnement, ressource naturelle ou composante des trames bleues. Concernant ces trois éléments, le SCoT peut prescrire des orientations à destination des politiques d'urbanisme locales, afin de renforcer la présence en surface de l'eau dans la ville, limiter l'imperméabilisation des sols, encourager la création de jardins inondables ou de bassins d'infiltration, de fossés ou de noues retenant et filtrant une partie de ces eaux.

Le **PLU(i) doit** préserver les zones identifiées comme des trames bleues par le SRCE (Schéma régional de cohérence écologique). Le **PADD** peut préciser les orientations en faveur d'une meilleure gestion de l'eau: récupération et recyclage des eaux pour l'arrosage des espaces verts, gestion à la parcelle du ruissellement des eaux pluviales, stockage en surface, bassins, noues....

Les **OAP** pourront reprendre ces objectifs afin de lutter contre la formation des îlots de chaleur en milieu urbain. Le niveau de prescription et la précision de rédaction des OAP thématiques peuvent leur donner une valeur juridique variable. Une OAP de secteur pourra définir des objectifs plus précis: pourcentage maximum d'espaces imperméabilisés à l'échelle du projet, dimensionnement des ouvrages et des équipements en tenant compte des épisodes extrêmes aggravés par le changement climatique, tout en permettant une certaine souplesse dans leur réalisation par les aménageurs.

Le **règlement et les documents graphiques** peuvent garantir la préservation des trames bleues en les qualifiant en espaces non constructibles et/ou protégés.

En outre, le règlement du PLU permet d'appréhender les questions de circulation et d'infiltration des eaux, par le biais des prescriptions relatives au traitement environnemental et paysager des espaces non bâtis et des abords des constructions : gestion des eaux pluviales et du ruissellement, clôtures entre parcelles permettant l'écoulement des eaux et la continuité des trames vertes et bleues, part de sol non imperméabilisé sur les parcelles construites.

### *Albédo des matériaux urbains – effet sur le stockage de la chaleur*

L'accumulation de chaleur par les matériaux urbains à faible albédo, et sa restitution la nuit, aggrave les épisodes caniculaires. Il convient donc de privilégier dans la conception ou le renouvellement urbain l'utilisation de matériaux présentant un albédo élevé (matériaux clairs) capables de réfléchir une partie de l'énergie solaire sans la stocker.

Le **SCoT** ne semble pas constituer le document approprié pour traiter de l'albédo des bâtiments, du fait de son échelle territoriale trop large et son contenu plus général que celui des PLU. Certains rédacteurs de SCoT récents mettent néanmoins en avant la nécessité de lutter contre la minéralisation excessive des espaces publics ou privés, et notamment les routes et les places de stationnements dont l'albédo peu élevé capte la chaleur. Ils proposent

notamment l'utilisation de matériaux plus clairs sur les espaces de voirie dans les zones sujettes aux ICU.

Le **PLU** peut utilement transposer ces orientations, et réguler l'aspect esthétique ou la nature des matériaux utilisés pour les constructions. Si les principes d'aménagement peuvent être énoncés dans le PADD et le rapport de présentation, les **OAP** constituent un outil opérationnel permettant de les préciser utilement. Les orientations peuvent établir des objectifs généraux ou sectoriels visant à contingenter les espaces bitumés à faible albédo (voiries et parkings), limiter les surfaces dédiées à la circulation, limiter les emprises des aires de stationnement...

Le **règlement** peut influencer sur les matériaux ayant un effet sur les ICU par le levier de la qualité architecturale et environnementale des constructions. La prévention des ICU peut justifier une réglementation des matériaux et de la couleur de l'enduit des façades des constructions : le règlement peut prescrire une palette de couleurs claires pour les façades des constructions, limiter les matériaux sombres, brillants ou réfléchissants.

L'eau, la végétalisation et l'albédo constituent donc, on le voit, des outils plus facilement mobilisables dans des espaces déjà urbanisés où la capacité de prescription des documents d'urbanisme reste limitée. En revanche, dans le cas d'un espace en voie de densification ou ouvert à la construction, la capacité d'intégrer une réflexion et des mesures énergie-climat dans le document d'urbanisme apparaît plus étendue. Outre les aspects déjà étudiés de végétalisation, perméabilité des sols, gestion de l'eau et de l'albédo, de nouvelles actions, portant sur la forme et la structuration urbaine, peuvent se cumuler.

#### *C.4.4.2 Leviers mobilisables dans des zones à urbaniser et/ou lors d'opérations de densification.*

La forme urbaine (densité des constructions, compacité des bâtiments, hauteur des bâtiments, largeur des rues, dimensions des cœurs d'îlots ou des espaces interstitiels) peut permettre d'orienter les voies et donc des façades des bâtiments par rapport à la course du soleil, à la topographie et aux vents dominants (en tenant compte de la protection contre les vents d'hiver mais de la nécessité de maintenir une ventilation l'été, notamment des pieds d'immeubles). Ces paramètres vont influencer de manière complexe sur le climat local, et de manière parfois contrastée entre le climat d'hiver et d'été.

Il ne saurait donc être question ici de donner des « recettes » ou des préconisations types, applicables uniformément sur l'ensemble des villes. Bien au contraire, une approche bioclimatique et une réflexion sur l'évolution du climat local et la forme urbaine la plus désirable localement, ne pourra être menée que dans le cadre d'études fines et de diagnostics de la thermie et de la ventilation effectués dans le cadre du diagnostic climatique.

Pour autant, juridiquement et techniquement, lorsqu'un document d'urbanisme est en capacité de concevoir et organiser *ab initio* la morphologie d'un espace à urbaniser, il peut plus facilement prévenir la formation d'îlots de chaleur en limitant les impacts négatifs des futures constructions.

Le premier levier consiste à modéliser et favoriser la ventilation des espaces urbains (bâtiments et chaussées) afin de permettre un rafraîchissement des espaces construits l'été. Le second vise à optimiser l'ombre portée des bâtiments afin de limiter l'exposition des chaussées au soleil l'été, permettant une conservation de la fraîcheur dans les centres urbains, tout en préservant un ensoleillement des façades l'hiver.

## *Forme urbaine et orientation des voies – effets sur la ventilation naturelle des voies et bâtiments.*

Le choix entre une forme urbaine compacte, ou au contraire le maintien de coupures d'urbanisation doit tenir compte des besoins en logement, mais aussi du contexte climatique et de la topographie de la zone. La compacité urbaine est plutôt favorable au confort d'hiver (meilleure performance énergétique et effet de coupure des vents dominants) et peut avoir des effets bénéfiques sur le confort d'été (effet d'ombrage). En revanche, le phénomène d'ICU peut obliger, dans certains quartiers, à favoriser les coupures d'urbanisation afin d'améliorer la ventilation naturelle des espaces publics.

Dans le même sens, la définition du recul des bâtiments par rapport à la voirie peut dépendre du type de construction souhaité dans un quartier donné et des caractéristiques environnementales propres à la zone. Un recul des bâtiments par rapport à la voirie peut être favorable en termes de ventilation, mais peut aussi renforcer l'ensoleillement des façades et des voies, et devrait donc être associé à une végétalisation des espaces de recul. De même les prescriptions relatives à la hauteur maximale des constructions peuvent accentuer la ventilation des rues et l'ombre portée des bâtiments sur la voirie.

Le **SCoT** a peu de prise sur la forme urbaine, son échelle territoriale ne permettant pas de s'adapter aux caractéristiques propres à chaque ville ou quartier. Certains SCoT ont toutefois intégré dans leur **PADD** une incitation à optimiser la ventilation naturelle dans les PLU(i), ce qui permet *a minima* d'alerter les collectivités territoriales sur cette facette de la prévention des ICU lors de la rédaction des plan d'urbanisme. Le **DOO** du SCoT peut traiter, au moins indirectement, de la prévention des ICU en portant attention au maintien d'une bonne ventilation des rues, y compris en milieu urbain dense, notamment par la fixation d'une densité maximale. Mais peu de SCoT le font.

A une échelle géographique plus fine, le **PLU** peut tenir compte des spécificités topographiques, d'ensoleillement et de vent du territoire, et intégrer les aspects énergie-climat dans les choix de localisation générale, d'organisation spatiale et d'orientation bioclimatique des zones urbanisables.

Le **rapport de présentation** a vocation à définir les principales caractéristiques climatiques du territoire, et le **PADD** est tout désigné pour développer une réflexion sur le rafraîchissement naturel et la ventilation des quartiers urbains et des espaces publics afin de traduire directement les objectifs d'adaptation au changement climatique mentionnés à article L.101-2 du code de l'urbanisme.

Une **OAP** sectorielle sur les secteurs AU peut constituer l'outil adéquat pour prescrire, selon les caractéristiques de vent et de topographie propres à chaque zone à urbaniser, des règles assurant le maintien de couloirs de ventilation adaptés aux caractéristiques locales. Ces prescriptions seront renforcées par leur traduction dans le **règlement** du PLU, ou par la réalisation d'un schéma d'aménagement référençant les principales caractéristiques de ventilation des voies et espaces publics en fonction de leur orientation et de leur forme (hauteur des bâtiment, largeur des voies), afin d'orienter le choix des aménageurs vers une disposition des immeubles permettant de prévenir la formation d'ICU tout en leur laissant suffisamment de flexibilité dans le choix des constructions à réaliser.

C'est dans le **règlement** du PLU que seront privilégiées les prescriptions (en matière architecturale et environnementale ou de réseaux et voirie) permettant de régir l'implantation des constructions par rapport aux voies et emprises publiques, aux limites séparatives, et aux autres bâtiments sur une même propriété afin de créer des couloirs de vent, soit le long des voies publiques, soit le long de bâtiments en prévoyant notamment des distances minimales entre les bâtiments.

Le PLU peut ainsi agir sur la compacité de la forme urbaine afin de définir les choix d'aménagement les plus adéquats en termes d'adaptation au climat local et au réchauffement urbain.

*Hauteur, distance et orientation des bâtiments : impacts sur l'ombre portée et l'ensoleillement.*

Le **SCOT** peut également porter une réflexion sur l'ensoleillement et l'ombre portée des bâtiments, en définissant la compacité des espaces à urbaniser, malgré sa nature faiblement prescriptive et son échelle territoriale trop large du schéma ne semblent pas adéquates pour traiter de cette question.

L'échelle du **PLU** semble plus appropriée. Le **PADD** peut définir des orientations permettant de prendre en compte l'ombre portée des bâtiments afin de réduire la surchauffe des voiries l'été, tout en rappelant la nécessité de maintenir un ensoleillement des façades l'hiver. Mentionner la prise en compte de l'ensoleillement dans les nouveaux projets de construction apparaît comme un préalable indispensable.

Une approche bioclimatique pourra être développée, notamment dans **les OAP**, prévoyant une orientation des bâtiments avec des façades vitrées exposées au sud, ensoleillées durant les mois les plus froids, protégées du soleil d'été par des protections solaires et privilégiant l'ombre portée des bâtiments sur les parkings et les voiries très minéralisés.

Enfin, le **règlement** du PLU peut intégrer des prescriptions relatives aux caractéristiques architecturales et à la hauteur maximale des constructions pour agir sur l'ensoleillement.

On constate donc que les documents d'urbanisme permettent largement d'intégrer des dispositions favorables à l'amélioration des micro-climats urbains.

La difficulté principale réside cependant dans la cohérence des choix techniques en fonction des caractéristiques (climat, topographie, vents dominants, espaces disponibles pour la végétalisation...) de la zone et de la sensibilité du territoire, qui exigera de moduler intelligemment la distance entre les bâtiments, la hauteur des constructions et leur ombre portée, afin de bénéficier à la fois d'un ensoleillement l'hiver (apports solaires passifs) et de protéger les rues et les bâtiments contre le froid et le vent, mais aussi le soleil en été.

C'est pour parvenir à ces choix urbains cohérents que les outils de modélisation et les catégories architecturales développées dans le programme MApUCE présentent tout leur intérêt pour les porteurs de projets urbains.

## C.5 EXPLOITATION DES RESULTATS

### C.5.1 TRANSFERTS

#### C.5.1.1 Par les formations universitaires

Les résultats du programme MAPUCE, notamment en termes de traduction des questions énergie-climat dans les documents d'urbanisme, ont été valorisés par des enseignements dans différentes formations de niveau Master 2, notamment à Aix-Marseille Université et à l'université Jean Jaurès à Toulouse:

- Master 2 Droit et métiers de l'Urbanisme Durable
- Master 2 Transition des Métropoles et Coopération en Méditerranée
- Master 2 Gestion de l'Environnement et du Climat (GEE-GEC-MAEVA)
- Master 2 Gestion des Risques Naturels (GERINAT)

En outre, des stagiaires provenant d'autres Universités ont été recrutés et intégrés aux recherches du LIEU (Université de Perpignan, Université de Montpellier)



Figure 12 : exemple de site de réaménagement et verdissement urbain à Marseille étudié pendant un stage de Master 2 dans le cadre du projet.

Un atelier a été proposé dans les masters de l'université Toulouse Jean Jaurès:

2015-2016 : Atelier Master 1 Villes et Territoires, parcours « Villes et Environnement ». Titre de l'atelier : Mise en œuvre territoriale des stratégies climatiques : l'exemple de collectivités petites et moyennes autour de Toulouse.

De nombreux stages de Masters 1 et 2 des deux universités (Aix-Marseille et Jean Jaurès à Toulouse) ont porté sur le projet MAPUCE, ou exploité ses résultats.

Plusieurs mémoires d'étudiants en droit ont été dirigés sur ces sujets par ML Lambert:

- Brossard Justine, Mjati Sophie et Malviya Chetna : *Etude de cas et retour d'expériences de la prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans les droits étrangers*, Master en Droit international et européen de l'environnement, 2015, AMU
- Pauline Schiano, *Les échelles pertinentes de planification de la lutte contre les îlots de chaleur urbains*, Master 2 Droits et métiers de l'urbanisme, en cours de rédaction

Les stagiaires des Masters toulousains accueillis dans le cadre du projet de recherche sont :

- Guillem Thomasset (M2 Eco-Ingénierie, INP) : Matériaux et stratégies d'adaptation des villes face au climat (mars-septembre 2015)
- Camille Franceschi (M1 Ville et Environnement, UTJJ) : Contribution à l'étude de cas exemplaires de villes en matière de climat et d'énergie (Avril-Juin 2015)
- Meghane Gyan (M1 Ville et Environnement, UTJJ) : Evolution de la production scientifique dans le domaine de la climatologie urbaine pour l'urbanisme (mai-juillet 2015)
- Guillaume Dumas (M1 Ville et Environnement, UTJJ) : Proposition d'une méthodologie générale pour cartographier les zones climatiques locales (LCZ) des villes françaises (avril-juin 2016)
- Guillaume Dumas (M2 Ville et Environnement, UTJJ) : Conception et mobilisation des cartographies des zones climatiques locales, entre recherche en climatologie urbaine et métiers de l'urbanisme (avril-juin 2017)
- Thomas Gardes (M2 Sigma, UTJJ) : Automatisation d'une méthode d'interpolation pour la modélisation de l'îlot de chaleur urbain sous QGIS (Mars-juin 2017)

#### *C.5.1.2 Par des journées d'échanges entre acteurs publics*

Deux demi-journées d'échanges du 26 janvier 2016 et du 13 juin 2016 organisées par le LIEU, sur le retour d'expérience d'Agén, en matière d'outils d'intégration énergie-climat. Echanges entre Karine GOOLEN, Arnaud CARRE-GAILLE (agglomération d'Agén), Françoise HUG (Mairie Aix, service urbanisme), Corine PINA (CPA, service environnement- climat), Gweltaz MORIN (AGAM), Valérie FERULLA (DREAL PACA, Urbanisme et énergie), Marie LOOTVOET (GREC PACA), Isabelle TURCHETTI (Urbaniste CR PACA), Emmanuel DELANNOY (Institut INSPIRE).

D'autres journées ont aussi été organisées, notamment :

- une présentation à la journée DREAL du 14 octobre 2016, Toulouse
- l'organisation d'une journée d'étude sur les OAP (intervention : « les objectifs énergie-climat dans les OAP »)
- la présentation à l'Atelier des territoires 18 mai 2018 , organisé par la DDTM des Bouches du Rhône et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée, sur le thème : Traitement du pluvial, perméabilisation des sols, solutions alternatives






**L'intégration des aspects climat-énergie dans les documents d'urbanisme – apports législatifs récents et recherches en cours**

**Demi-journée d'échanges organisée par le LIEU Laboratoire Interdisciplinaire en Environnement et Urbanisme**

Aix-Marseille Université, faculté de droit  
Mardi 26 janvier 14h-17h



### Objectifs

- Présenter le projet de recherche ANR-MAPUCE (Modélisation Appliquée à la Planification Urbaine-Climat et Energie)
- Présenter le retour d'expérience de l'agglomération d'Agen
- Echanger sur les fiches méthodologiques

### Programme:

Présentation du projet ANR-MAPUCE par **Marie-Laure LAMBERT**

Interventions de l'agglomération d'Agen : **Karine GOOLEN, Arnaud CARRE-GAILLE**

**Table ronde avec :** *Françoise HUG* (Mairie Aix, service urbanisme), *Corine PINA* (CPA, service environnement-climat), *Gweltaz MORIN* (AGAM), *Valérie FERULLA* (DREAL PACA, Urbanisme et énergie), *Marie LOOTVOET* (GREC PACA), *Isabelle TURCHETTI* (Urbaniste CR PACA), *Didier VYE* (MC Université de la Rochelle) et *Emmanuel DELANNOY* (Institut INSPIRE).

Contact et inscription (obligatoire) :  
*Pauline SCHIANO DI COLELLO*, stagiaire LIEU AMU  
pauline.schiano-di-colello@etu.univ-amu.fr

Figure 13 : une des journées d'échange avec les acteurs de l'urbanisme

Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional & Laboratoire Interdisciplinaire Environnements Urbanisme

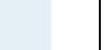
## Les OAP :

### Interface entre urbanisme de planification et urbanisme de projet

Journée d'étude  
Aix-en-Provence, Faculté de droit et de science politique  
Amphi M. Site Montperin  
Vendredi 24 novembre 2017 de 9h00 à 17h00





**Matinée 9h30 - 12h30**

9h00 à 9h30 : Accueil  
De quoi parle-t-on? Les OAP, outil hybride de l'urbanisme

- L'OAP, de la loi SRU au décret ALUR : historique d'une notion mouvante  
Elise Carpentier, Professeur de droit public, AMU
- Entre planification et conception : l'OAP outil de composition urbaine  
Frédérique Hemandot, Professeur en aménagement et urbanisme, AMU
- L'OAP, chaînon manquant entre planification réglementaire et urbanisme opérationnel ?  
Françoise Zitouni, Maître de conférences en droit public, AMU

**Les OAP, pour une approche multisectorielle de l'urbanisme**

- OAP et paysages  
Jean-Noël Consales, Maître de conférences en aménagement et urbanisme, AMU
- L'OAP Agricole, nouvel outil d'un projet urbain, agricole et alimentaire  
Michel Chiappero, Professeur associé en aménagement et urbanisme, Aix Marseille Université
- Les objectifs climat-énergie dans l'OAP  
Marie Laure Lambert, Maître de conférences en droit public, AMU
- OAP et urbanisme commercial  
Jean Pierre Ferrand, Maître de conférences en droit public, AMU

**Après-midi 14h - 15h30**

**L'OAP, un outil au service de la stratégie d'aménagement**

- L'OAP outil d'aménagement métropolitain  
Yvan Ferry, chargé d'études, direction de la planification, de l'urbanisme, de l'aménagement et du foncier, Métropole Aix-Marseille Provence
- L'OAP multisites, un outil au service de projets mieux contextualisés  
Mathieu Miralles, responsable du service planification-foncier à l'AGAM
- L'OAP comme vecteur d'intensité urbaine et des enjeux environnementaux  
Lise Debrye, chargée d'études PLU, Toulouse Métropole
- Des OAP pour accompagner les mutations du territoire, quels exemples sur Aix en Provence ?  
Patrick Lefauconnier, Directeur de la planification urbaine, Ville d'Aix-en-Provence

2

Figure 14 : une autre journée d'échanges avec les acteurs

### C.5.1.3 Par des formations ou des présentations professionnelles

Une présentation du volet juridique au stage de formation de la DREAL PACA : « Transition énergétique dans les PLU et les PLUi » a été réalisée le 28 juin 2018 de 9h à 17h au CVRH d'Aix-en-Provence (public : agents des services en DDT(M) en charge de l'urbanisme de la connaissance ou du conseil aux territoires et agents de l'unité évaluation environnementale de la DREAL)



MINISTÈRE DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

MINISTÈRE DE LA COHÉSION  
DES TERRITOIRES

Direction régionale de l'Environnement,  
de l'Aménagement et du Logement  
Provence Alpes Cote-d'Azur

Centre Ministériel de Valorisation des Ressources Humaines  
Centre de Valorisation des ressources humaines  
d'Aix-en-Provence

## « TRANSITION ENERGETIQUE DANS LES PLU, PLUi »

le 28 juin 2018 de 9h à 17h  
au CVRH d'Aix-en-Provence

### PUBLIC

La formation vise, en priorité, les agents des services en DDT(M) en charge de l'urbanisme de la connaissance ou du conseil aux territoires et les agents de l'unité évaluation environnementale de la DREAL.

Elle s'adresse, en second lieu, à tout agent de l'État ou d'un établissement public de l'État concerné par la thématique abordée (DDT, DREAL, ADEME, ARS...).

Figure 15 : exemple d'action de valorisation auprès des acteurs.

### C.5.1.4 Par des présentations au grand public (GREC PACA, FNE, MOOC)

Des synthèses des enjeux du programme MApUCE ont été intégrées dans des ouvrages pédagogiques visant les élus et le grand public :

- ouvrage du GREC PACA (Groupe régional d'Experts sur le Climat en Provence-Alpes-Côte d'Azur) : *La région Provence-Alpes-Côte d'Azur face au changement climatique*, a été diffusé à l'occasion de la MEDCOP à Marseille les 4 et 5 juin 2015. Voir l'article Les micro-climats urbains dans les politiques publiques, p.25 - diffusé à l'occasion de la MEDCOP à Marseille les 4 et 5 juin 2015

<http://www.air-climat.org/publications/publications-institutionnelles/comprendre-le-climat-de-paca-et-son-evolution/>

- cahier *Climat et ville : interactions et enjeux en Provence-Alpes-Côte d'Azur* du GREC PACA publié en 2016

<http://www.grec-paca.fr/article/toutes-nos-publications-en-un-seul-clic/>

Des présentations des résultats du programme MApUCE ont été faites par ML Lambert au congrès de l'association France Nature Environnement PACA « Villes et villages de demain », 21 avril 2016 à Carpentras. L'intervention portait sur « La nature en ville : un atout pour limiter les risques - Adaptation des villes au changement climatique »

- Une présentation grand public est intégrée à un MOOC (Massive Online Open Course, ou cours en ligne) « Nature en ville et changement climatique », dans le cadre du projet LIFE « Nature For City » coordonné par la Région SUD-Provence Alpes Côte d'Azur. 2019  
<https://vimeo.com/328128556/cbd52ede5d>

#### *C.5.1.5 Par des ateliers cartographiques*

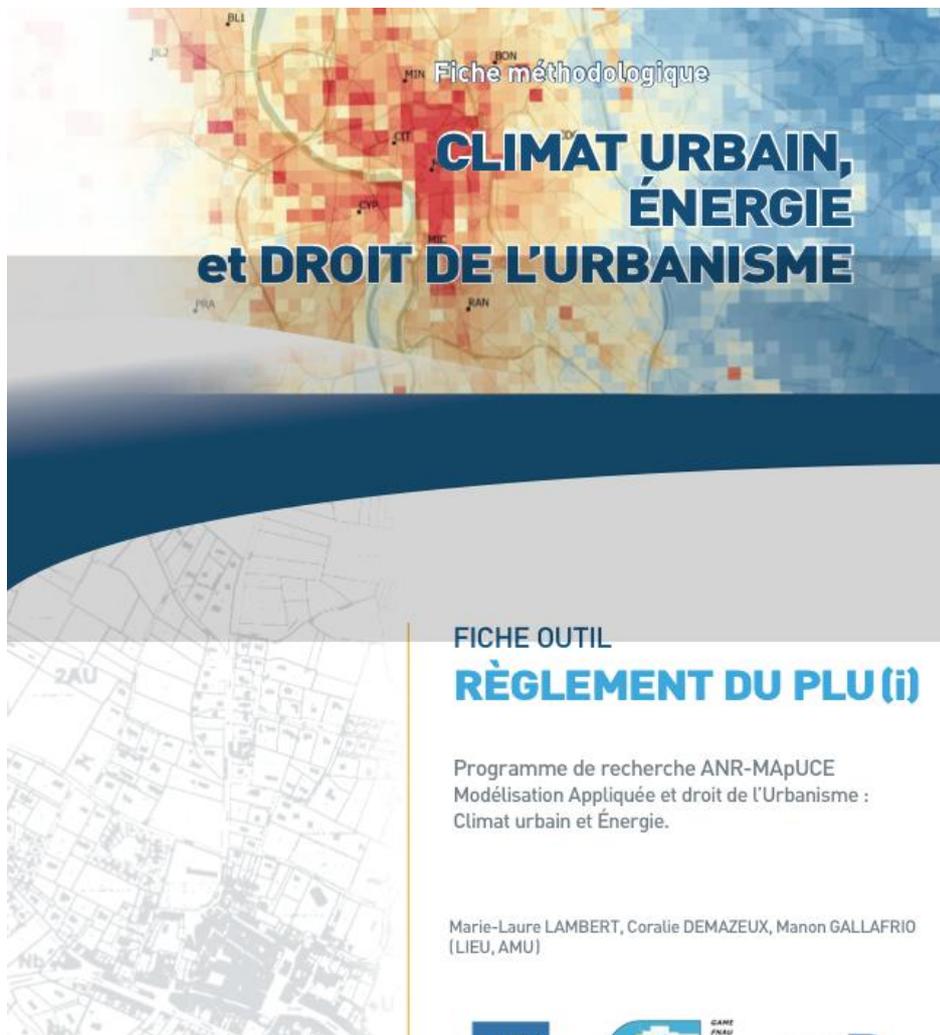
De plus, l'objectif du projet étant de produire un cadre méthodologique pour la production des cartes climatiques de l'environnement urbain, un groupe national de cartographes et de géomaticiens sont mobilisés dans le cadre des ateliers Geovisu 2018-2019 financés par le Labex SMS pour produire un référentiel cartographique pour l'élaboration de ces cartes. Les réflexions portent à la fois sur les méthodes de visualisation et de représentation. Ces ateliers ont été basés sur les données urbaines et micro-climatiques produites dans le projet MApUCE.

#### C.5.2 FICHES METHODOLOGIQUES

Les fiches méthodologiques du LIEU ont mises en ligne en accès libre sur la plateforme HAL :

<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354293>  
<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354275>  
<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354282>  
<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354285v1>  
<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354288>

Elles sont en outre valorisées sur le site du GRIDAUH, dans les rubriques qui est fréquemment consulté par les rédacteurs des documents d'urbanisme.



### Article 10

L'article 10 du règlement peut favoriser l'installation d'énergies renouvelables de diverses manières :

- Il peut prévoir des autorisations de dépassement de la hauteur maximale des constructions pour l'installation d'équipements d'énergies renouvelables ;
- Il peut limiter la hauteur maximale des constructions pour éviter l'ombre portée d'un bâtiment sur l'autre, et donc garantir le rendement des équipements d'énergie solaire en toiture ou en façade;
- Il peut permettre aux équipements de production d'énergie renouvelable comme les éoliennes individuelles, dans les secteurs peu denses, de déroger aux prescriptions de hauteur.

**Exemple de rédaction**, Art. 10 du PLUi d'Agen (dispositions applicables à toutes les zones)

**La hauteur maximale ne s'applique pas « aux éoliennes destinées à une production électrique individuelle, dans la limite de 12 mètres ». (p.21)**

Art. 10 du PLU de Grenoble, zone UM-B

**Un dépassement de la hauteur maximale autorisée par le règlement pourra être autorisé quand il est « nécessaire à la production d'énergies renouvelables » (p.109).**

### Article 11

L'insertion des dispositifs de production d'énergies renouvelables peut déroger aux règles concernant l'aspect extérieur des bâtiments ou des toitures.

**Exemple de rédaction**, Art. 11 PLU de Lyon

**« Les toitures terrasses pourront être conçues sous forme [...] d'insertion de panneaux photovoltaïques [...]. Les locaux et installations techniques, à l'exception des équipements utilisant les énergies naturelles, doivent être bien intégrés, couverts et masqués ».**

Figure 16 : fiche outil sur le PLUi : page de couverture et extrait du document.

### C.5.3 GUIDE METHODOLOGIQUE

Le livrable final du projet MApUCE consiste en un guide méthodologique d'une trentaine de pages. Celui-ci synthétise les résultats du projet.



Figure 17 : Guide méthodologique issu du projet MApUCE

## C.5.4 COLLABORATION LOCALES ENTRE CHERCHEURS ET COLLECTIVITES ET ACTEURS SUR LES TERRAINS D'ETUDES

### C.5.4.1 La Rochelle

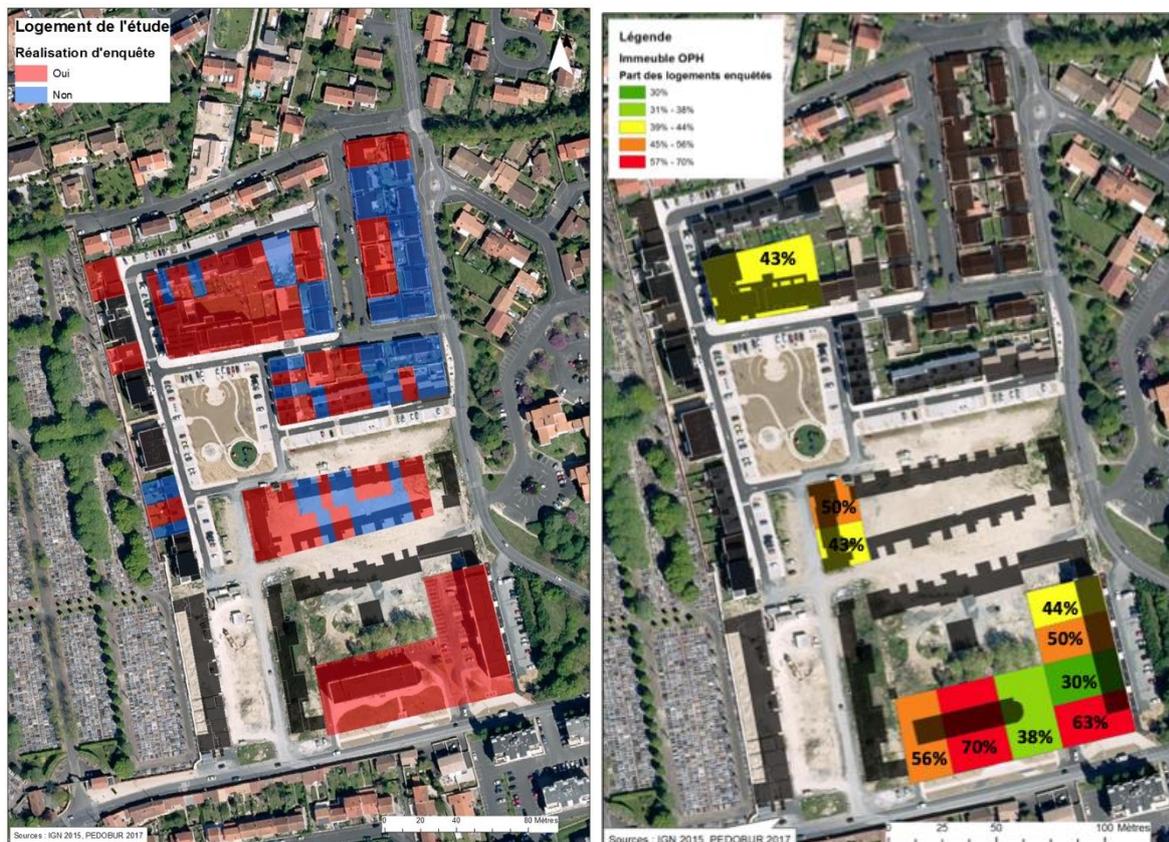


Figure 18 : Terrain d'étude de la cité des géraniums, La Rochelle

Le projet MaPUCE a permis d'approfondir un partenariat déjà bien engagé entre l'Université de La Rochelle (et notamment le LIENSs) et la Communauté d'agglomération de La Rochelle autour du thème de la « Ville littorale durable ». Plusieurs réunions entre les chercheurs du LIENSs et plusieurs services de la CdA (service environnement, service urbanisme, service territoire et prospective) ont permis de définir des thématiques prioritaires : le choix s'est porté sur le lien entre les formes urbaines (et les types de bâti résidentiel) et les usages des habitants en matière de consommation énergétique domestique. En effet l'analyse de ce lien permettra à la CdA de mieux calibrer les choix d'aménagement (dans le cadre du PLUi en cours de finalisation) et de mieux cibler les actions de sensibilisation notamment dans le cadre du PCAET.

Cela s'est concrétisé par la réalisation d'une enquête auprès des habitants d'un quartier d'habitat social de la ville-centre (Les Géraniums) qui a connu une importante opération de renouvellement urbain avec en parallèle un objectif de densité et de mixité (sociale, des types de logement). Le service environnement de la CdA a joué un rôle essentiel facilitant la mobilisation du réseau local et notamment l'office public HLM ou le centre social. Cela a permis de réaliser, dans le cadre d'un stage de M2, une enquête auprès 99 ménages sur 185 logements accessibles assurant ainsi une bonne représentativité de l'échantillon. Les principaux profils des habitants ont été identifiés avec une prédominance de familles monoparentales aux revenus modestes habitant pour la première fois dans un logement BBC.

Ces profils ont été croisés avec certains comportements. Il en résulte qu'au sein du parc locatif social pourtant récemment rénové, il existe un décalage important entre l'efficacité énergétique du bâti et la faible sensibilisation d'une partie des habitants.

Ainsi, trois types de comportement ont pu être identifiés et que l'on peut classer selon le degré de concernement des ménages (*Sensibilité relative à un problème ou à un espace donné qui s'exprime par un comportement plus ou moins actif selon Brunet, 2008*)

- Les « *peu concernés* » (26 ménages): constitués majoritairement de personnes seules, ces ménages chauffent peu leur logement dans la mesure où ils ont des exigences moindres en matière de confort thermique et qu'ils habitent des appartements bien situés (exposés sud, à l'étage), qu'ils occupent de manière plus temporaire.
- Les *grands consommateurs* d'énergie (45 ménages) constituent le type majoritaire. Ils correspondent aux ménages aux plus faibles revenus logeant dans des appartements HLM rénovés. Les comportements sont les plus énergivores avec une exigence de confort thermique plus élevée, chauffant toujours à la même température. Ils sont faiblement sensibilisés à l'efficacité énergétique du logement et n'ont pas choisi d'habiter en logement BBC, leur mobilité résidentielle étant avant tout dictée par les opportunités offertes par le parc social. Les charges de chauffage sont également mutualisées ce qui peut conduire à des formes de déresponsabilisation.
- Les *adaptatifs* (28 ménages) sont caractérisés par les comportements les plus vertueux. Ce type comporte la plus grande part de propriétaires habitant en maison neuve ce qui se traduit par un degré de concernement plus élevé. Ils adaptent ainsi le chauffage en fonction de leur présence, modifient la température dans les pièces inoccupées, quand ils aèrent ou partent.

Ce travail réalisé dans le cadre de MaPuce est actuellement en train d'être poursuivi dans le cadre de plusieurs programmes de recherche (programme CPER/FEDER PEDOBUR, Programme Région Nouvelle-Aquitaine EQLORE). Ainsi, un modèle informatique est développé afin de simuler la consommation énergétique des ménages à partir de paramètres issus de l'enquête menée à La Rochelle ainsi que de la littérature grise et scientifique. Cette simulation est participative et vise à être déployée auprès des acteurs publics locaux afin qu'ils puissent développer une vision intégrée de leurs projets de rénovation urbaine tenant compte des comportements en matière de consommation énergétique.

#### *C.5.4.2 Toulouse*

Dans le cadre du projet MapUCE, une collaboration a été établie depuis 2015 entre l'équipe projet et les services de la Réglementation urbaine et de l'Environnement de Toulouse Métropole. L'objectif pour l'équipe de Toulouse Métropole était de développer la thématique « Confort urbain » de l'axe « Climat/énergie » du premier Plan Local d'Urbanisme Intercommunal (PLUi-H) de Toulouse Métropole. L'objectif pour l'équipe de chercheurs a été d'enrichir et d'appliquer les méthodes développées dans le cadre du projet MApUCE sur un terrain d'étude pertinent sur les plans scientifique et institutionnel et du point de vue des temporalités. Ce tandem a bénéficié de plus de l'appui de l'Aua/T, partenaire à la fois du projet de recherche et assistant à maîtrise d'ouvrage auprès de Toulouse métropole pour l'élaboration du PLUi-H.

Dans ce cadre, l'équipe a contribué avec ses partenaires à enrichir le Diagnostic du PLUi-H par des apports portant sur le *Profil climatique de Toulouse Métropole* et *Les types de temps sensibles dans région toulousaine et leur influence sur l'îlot de chaleur urbain*. De plus, elle a participé à produire des fiches destinées aux agents des services de Toulouse Métropole : une portant sur *l'îlot de chaleur urbain* ([http://www.aua-toulouse.org/sites/www.aua-toulouse.org/IMG/pdf/fiche\\_no2\\_icu.pdf](http://www.aua-toulouse.org/sites/www.aua-toulouse.org/IMG/pdf/fiche_no2_icu.pdf)), l'autre portant sur l'apport d'informations synthétiques sur le climat dans les opérations d'aménagement urbain (Mémento à usage interne).

Ces interactions entre les chercheurs de MApUCE et les acteurs de l'urbanisme ont de plus permis de réaliser des avancées méthodologiques en matière de cartes climatiques par des applications sur le territoire de Toulouse Métropole (cf C.4.3.4).

Les fruits de ces collaborations ont été capitalisés au travers de la production de :

- Un *Guide de recommandation sur la prise en compte du climat dans la planification et l'aménagement urbains* à destination des services de Toulouse Métropole qui en portent l'édition et la publication.
- Un *Atlas de cartes d'analyse climatique* à l'échelle de chaque commune de Toulouse Métropole. L'édition et la publication sont portées par le partenaire Aua/T.



Figure 19 : Photo d'un des trois ateliers inter-services organisés avec Toulouse Métropole pour la proposition des recommandations incluses dans le Guide de recommandation sur la prise en compte du climat dans la planification et l'aménagement urbains

En parallèle, une collaboration a pris naissance entre Toulouse Métropole, le CNRM et le LISST sur la mise en place d'un réseau de mesures de l'îlot de chaleur urbain. Ceci n'est pas en lien direct avec les actions menées au cours du projet, bien qu'il ait pu y contribuer par la prise de conscience croissante des collectivités et des élus sur ces problématiques, par exemple via la carte d'îlot de chaleur urbain produite à partir des mesures de la campagne CAPITOUL (figure 8). Ce réseau de mesure compte 60 stations météorologiques, afin de connaître en temps réel l'îlot de chaleur urbain, et de produire à terme des services climatiques urbains.



Figure 20 : une des stations météorologiques du réseau de Toulouse Métropole.

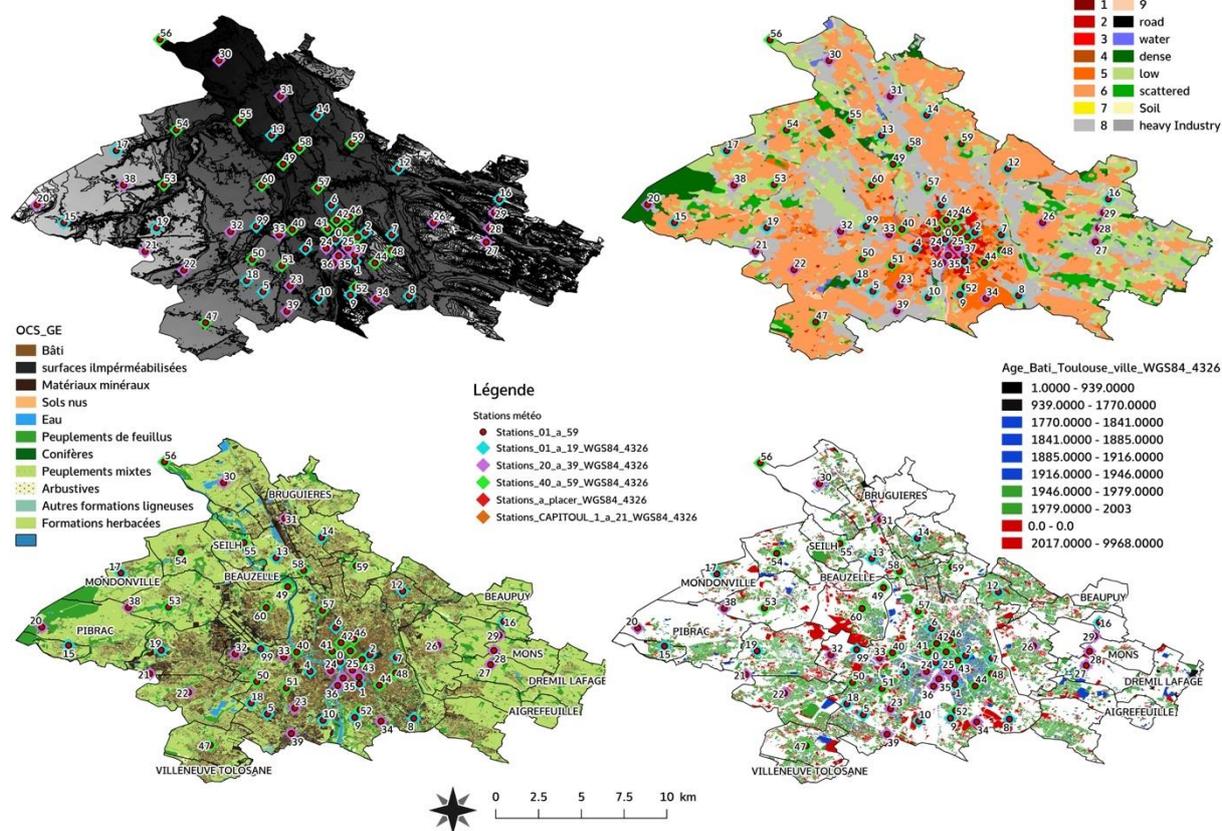


Figure 21 : emplacement des sites des 60 stations météorologiques (fond de carte : relief, LCZ issues de MApUCE, occupation du sol de l'IGN, âge des bâtiments).

### C.5.4.3 Aix-en-Provence

Des actions de valorisation et d'acculturation des acteurs urbains sur les problématiques de la transition énergétique et de l'urbanisme ont été menées par le LIEU.

Travaux de recherche appliquée :

Une collaboration étroite a été entretenue avec les services de l'environnement et de l'urbanisme de la mairie Mairie d'Aix-en-Provence, pendant toute la durée du programme. Elle donne lieu à des travaux de recherche appliquée des étudiants en droit du Master 2 Droit et métiers de l'Urbanisme Durable :

En 2016-2017 :

Introduire des critères énergie-climat dans le PLU d'Aix-en-Provence (Laure CAM, Alexia FABIA, Guillaume FLORI, Lisa MARCHETTI)

En 2017-2018 :

Inscrire la problématique de l'ensoleillement dans le PLU d'Aix-en-Provence (BALIA Marie-Caroline, CAPRONI Délia, CILIA Michael)

Intégrer des critères de performances énergétiques renforcées dans le PLU (ASCHERO Emmanuelle, MICHELET Paule, RENARD Roxane)

En 2018-2019 :

Désimperméabilisation des sols dans les documents d'urbanisme (Marine MANHES, Nelly Moreira, Manon Dahan, Mickael Gastardi, Sacha Schmidt)

En 2018-2019, une collaboration équivalente a eu lieu avec la Région PACA, dans le cadre du programme LIFE Nature for City Life :

Intégration de la nature en ville, requalification du cours Pierre Puget à Marseille (Aude Gallea, Lea Richier, Tifenn Rolland, Soria Thanh Hoa, Pierre Maurin, Aurélie Deloffre)

Valorisation auprès des acteurs publics de l'urbanisme :

Les fiches méthodologiques ont été présentées à des acteurs locaux travaillant dans les domaines de l'aménagement et de l'urbanisme :

Deux séminaires de travail ont été organisés, avec les acteurs locaux de la Métropole Aix-Marseille, de la Communauté des Pays d'Aix, des mairies d'Aix-en-Provence et Marseille, de l'AGAM et de la DREAL :

- séminaire « L'intégration des aspects climat-énergie dans les documents d'urbanisme - apports législatifs récents et recherches en cours », 26 janvier 2016, Aix-en-Provence

- séminaire « L'intégration des aspects climat-énergie dans les documents d'urbanisme –fiches méthodologiques et retour d'expérience à Agen », 13 juin 2016, Aix-en-Provence

Il est à noter que ces deux séminaires ont été l'occasion de rencontres fructueuses entre des services, parfois au sein de la même intercommunalité, dont les fonctionnaires ne se connaissaient pas auparavant.

## C.6 DISCUSSION

*Discussion sur le degré de réalisation des objectifs initiaux, les verrous restant à franchir, les ruptures, les élargissements possibles, les perspectives ouvertes par le projet, l'impact scientifique, industriel ou sociétal des résultats.*

Les objectifs initiaux ont tous été atteints. Ceux-ci étaient ambitieux, à deux titres.

D'une part, il s'agissait d'objectifs interdisciplinaires. Ce projet a permis de poursuivre l'acculturation mutuelle entamée dans les projets précédents (comme le projet ANR MUSCADE ou le projet ACCLIMAT sur Toulouse). Même si la plupart des partenaires avaient déjà travaillé ensemble, le degré d'intégration et d'interdépendance des disciplines était bien plus important dans MApUCE. Une mesure de cette intégration est le contenu du guide méthodologique à destination des acteurs, qui se base sur l'ensemble des résultats de tous les partenaires : données urbaines et architecturales, simulations micro-climatiques et analyse en types de temps, identification des enjeux et bonnes pratiques, en urbanisme, définition d'une nouvelle méthodologie pour les diagnostics et recommandations, identification des leviers et de leur implantation au sein des documents juridiques et réglementaires pertinents.

Ainsi, l'on peut dire que le projet permet d'améliorer la mise en œuvre des politiques d'économie d'énergie et de gestion du micro-climat, en les intégrant dans les dispositifs de planification « **au bon moment, au bon endroit, avec le bon outil** ».

D'autre part, le projet promettait non seulement de définir une méthodologie générale de création de données, mais aussi de **l'appliquer** sur une cinquantaine de villes, montrant ainsi cette genericité. C'était un enjeu de taille, à la fois technique du fait du volume et de la diversité des données à traiter, et scientifique, les divers partenaires en géomatique et géographie directement impliqués (Lab-STICC, LIENSs, LISST) ayant auparavant l'habitude de travailler, lors de chaque projet de recherche, sur des territoires bien plus restreints (en général une seule agglomération). Le même enjeu se posait aussi pour les architectes du LRA, plus habitués à travailler à l'échelle des opérations d'aménagement ou du bâtiment. Le projet MApUCE a permis de définir et construire les méthodes et outils pour construire une base de données génériques. L'application à l'échelle de toutes les grandes agglomérations de France a montré quelques limites sur certains algorithmes et des contraintes de stockages, sans toutefois bloquer la généralisation à 43 agglomérations en France. Ces données sont visualisables et téléchargeables en open-data sur le site web <http://orbisgis.mapuce.org>.

Ces recherches du projet MApUCE sur la création d'une base de données vont se poursuivre. Dans le cadre de deux projet, PAENDORA (ADEME) et URCLIM (Europe), la chaîne de calcul des indicateurs a déjà été adaptée afin de pouvoir être utilisée à partir des données de la BDtopo de l'IGN mais également avec les données OpenStreetMap. Les données urbaines vont ainsi être calculées sur l'ensemble des communes de France et sur quelques agglomérations en Europe. De plus, l'approche proposée par MApUCE pour la constitution des données architecturales a été retenues dans l'initiative internationale WUDAPT (Ching et al 2018, 2019). Celle-ci, menée par des climatologues urbains, vise à fournir des données urbaines pertinentes pour les modèles micro-climatiques urbains sur l'ensemble du globe.

## C.7 CONCLUSIONS

L'objectif général du projet MApUCE était 1) d'obtenir des données quantitatives énergie-climat à partir de simulations numériques et 2) de proposer une méthodologie pour intégrer de telles données quantitatives dans les procédures juridiques et les politiques urbaines. La ville étant un système complexe, le consortium était très interdisciplinaire, regroupant des chercheurs en météorologie, architecture, géomatique, géographie, urbanisme, sociologie et énergie, en droit, ainsi qu'un acteur opérationnel : la fédération nationale des agences d'urbanisme. Cette collaboration transdisciplinaire, a permis d'atteindre ces objectifs et d'obtenir des résultats originaux, dans une très bonne ambiance de collaboration scientifique.

Le projet MApUCE a ainsi permis de produire des bases de données urbaines originales (comme les typologies de bâtiments ou les zones climatiques locales), pour les études en lien avec le micro-climat mais avec un potentiel plus large. Ces données sont mises à disposition librement en open-data et peuvent ainsi servir de support à la communauté de scientifique. Les cartes climatiques urbaines représentent un outil de diagnostic microclimatique du territoire urbain et de co-construction pour la traduction réglementaire des enjeux identifiés.

Les résultats ont été publiés dans des revues internationales, mais aussi vers les acteurs des collectivités territoriales. Une attention particulière a été donnée pour contribuer à enrichir les enseignements de niveau master, notamment en urbanisme et en droit de l'environnement.

Construit collectivement à partir des contributions et de la complémentarité de l'ensemble des partenaires, un guide méthodologique à destination des collectivités et agences d'urbanisme présente les données, identifie les leviers et regroupe des recommandations pour la prise en compte du micro-climat urbain dans les documents réglementaires et d'urbanisme.

## D LISTE DES LIVRABLES

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
Juillet 2015	1.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recensement et expertise des bases de données potentiellement utilisables pour définir la morphologie et les caractéristiques des ménages</li> <li>✓ Documentation (modèle UML) des bases de données locales</li> <li>✓ Outil de qualification et intégration des données sources, semi-automatisé et testé</li> </ul>	<p>Rapport</p> <p>Rapports</p> <p>Outil + doc</p>	LIENSs	
Août 2015  Mars 2017	1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Base de données des paramètres architecturaux et thermiques des bâtiments typiques de France</li> <li>✓ Tornay et al (2017): GENIUS: A methodology to define a detailed description of buildings for urban climate and building energy consumption simulations, <i>Urban Climate</i>, 20, 75-93</li> </ul>	<p>Base de données + Rapport (190pp)</p> <p>Article scientifique</p>	LRA	
Décembre 2015	1.3	Rapport descriptif de la méthode d'analyse automatique des îlots urbains en France	Rapport	LRA	
Juillet 2017	1.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Un synopsis des indicateurs sous la forme d'une carte mentale</li> <li>✓ Un service de traitement de données à distance avec chaîne de production des indicateurs pilotable et interface graphique, et compatible avec la spécification WPS.</li> <li>✓ Des jeux de données résultants des traitements</li> </ul>	<p>Synopsis</p> <p>rapport</p> <p>service WPS</p>	Lab-STICC	Données visualisables et accessibles en ligne : <a href="http://Mapuce.orbisgis.org">Mapuce.orbisgis.org</a>
Janvier 2018	1.5	Article scientifique, Bocher et al 2018: "A geoprocessing framework to compute urban indicators: The MApUCE tools chain", <i>Urban Climate</i>	Article scientifique	Lab-STICC	Le document de synthèse prévu a pris la forme d'un article scientifique.
Juillet 2017	2.1	Le modèle de comportement énergétique dans l'habitat et le tertiaire: Bourgeois et al (2017): Modeling and mapping domestic energy behavior: Insights from a consumer survey in France, <i>Energy Research &amp; Social Science</i> (32), 180-192	Article scientifique	LATTS	
Mars 2016	2.2	Intégration du comportement énergétique dans un modèle de climat urbain	Codes R Code Fortran	CNRM	Code en cours d'intégration dans la version officielle du code SURFEX.
Juillet 2017	2.3	Schoetter et al (2017): Parametrisation of the variety of human behaviour related to building energy consumption in the Town Energy Balance (SURFEX-TEB v. 8.2), <i>Geosci. Model Dev.</i> , 10, 2801-2831	Article Scientifique	CNRM	
Janvier 2018	3.1	-Infrastructure de calcul alimentée et interrogeable avec les services de traitements et	Base de données	Lab-STICC	Mise en œuvre sur toute la France et quelques villes en

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
		de diffusion des données - Documentation pour la prise en main des services et formation des membres du projet. - Une base de données complète (indicateurs urbains) par ville.	Rapport  Données géoréférencées sur 43 villes		europe poursuivie dans les projets PAENDORA et URCLIM
Mai 2019	3.2	Résultats de simulation énergie-climat sur un panel de villes françaises	Article scientifique en cours de soumission.		
Prévu Août 2019	3.3	- Profils de villes en fonction de paramètres énergie-climat et leur analyse spatiale - Déterminants de cette spatialisation. - Rapport de vulgarisation sur ces variables explicatives ville-énergie-climat	Article scientifique	LIENSs	Travail poursuivi en aval du projet. Soumission de l'article prévue été 2019
Août 2016	4.1	Recensement et analyse des pratiques énergie-climat existantes dans les outils juridiques	5 fiches juridiques	LIEU	Fiches disponibles en ligne
Nov. 2016	4.2	Synthèse des bonnes pratiques identifiées. Analyse de son applicabilité au cas français et en particulier aux terrains d'expérimentation	Fiches d'analyse sur 6 villes	LISST	Paris, Agen, Lyon, Grenoble, Marseille, Frontignan
Sept 2015	4.3	✓ Liste des besoins des agences d'urbanisme en termes d'informations énergie-climat :  ✓ Questionnaire transmis au réseau des agences d'urbanisme	Rapport (140pp)  Données	FNAU	
Avril 2019	4.4	- Méthodologie générale de définition et construction des vecteurs de transfert des informations quantifiées énergie-climat vers les documents d'urbanisme.	rapport	LISST	
Avril 2019	5.1	Compte rendu de l'accompagnement sur Toulouse	Présentation Toulouse Métropole Et rapport tâche 4.4	LISST	
Dec. 2018	5.2	Compte rendu de l'accompagnement sur Aix en Provence	Rapports de stage Master	LIEU	
Sept 2017	5.3	Compte rendu de l'accompagnement sur La Rochelle : « <i>Analyse des comportements des habitants en matière de consommation énergétique domestique au sein du quartier des Géraniums à La Rochelle.</i> »	Rapport de stage Master 2	LIENSs	
Mai 2019	5.4	Recommandations générales pour faciliter la prise en compte des résultats de modélisations dans les documents/ et pratiques politiques urbaines	Guide méthodologique	LIEU	30 pages

## E IMPACT DU PROJET

### E.1 INDICATEURS D'IMPACT

*Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)*

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaires
International	Revue à comité de lecture	7	9
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		
	Communications (conférence)	21	4
France	Revue à comité de lecture		
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	1 (guide méthodologique)	
	Communications (conférence)	5	5
Actions de diffusion	Articles vulgarisation	4	
	Conférences vulgarisation	18	
	Autres		

*Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)*

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	
Brevet internationaux en cours d'obtention	
Brevets nationaux obtenus	
Brevet nationaux en cours d'obtention	
Licences d'exploitation (obtention / cession)	Diffusion des bases de données en open-data <a href="http://orbisgis.mapuce.org">http://orbisgis.mapuce.org</a> Diffusion des outils en open source <a href="https://github.com/orbisgis/MAPUCE_tools">https://github.com/orbisgis/MAPUCE_tools</a>
Créations d'entreprises ou essaimage	
Nouveaux projets collaboratifs	2 projets directement liés à MAPUCE : PAENDORA, URCLIM 1 projet proposé à l'ANR en cours d'évaluation utilisant les données MAPUCE : Cool-AMmetropolis
Colloques scientifiques	
Autres (préciser)	

### E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

#### E.2.1 PUBLICATIONS MONO-PARTENAIRES

Bocher E, G. Petit, J. Bernard, S. Palominos (2018): A geoprocessing framework to compute urban indicators: The MAPUCE tools chain, Urban Climate, 24, 153-174, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.01.008>

Bourgeois, A., Pellegrino, M., and Lévy, J.-P. (2017): Modeling and mapping domestic energy behavior: Insights from a consumer survey in France, *Energy Research and Social Science*, **32**, 180-192, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.06.021>

Ching J., D. Aliaga, G. Mills, V. Masson, L. See, M. Neophytou, A. Middel, C. Ren, E. Ng, Y. Huang, I. Stewart, J. Fung, M. Wong, X. Zhang, A. Shehata, A. Martilli, S. Miao, X. Wang, D. Duarte, L. Schwandner, W. Wang, Y. Li, B. Bechtel, 2019: Pathway using WUDAPT's Digital Synthetic City tool towards generating urban canopy parameters for multi-scale urban atmospheric modeling, *Urban Climate*, in revision.

Hidalgo J., S. Houès-Jouve, Les interactions chercheurs-acteurs institutionnels dans le projet de recherche MAPUCE. Cahier des Ateliers de dialogue. Atelier 8 ADIRAE « Villes et climat».

Bechtel, B., Alexander, P., Beck, C., Böhrner, J., Brousse, O., Ching, J., Demuzere, M., Fonte, C., Gál, T., Hidalgo, J., Hoffmann, P., Middel, A., Mills, G., Ren, C., See, L., Sismanidis, P., Verdonck, M., Xu, G., Xu, Y. 2019, Generating WUDAPT Level 0 data – Current status of production and evaluation, *Urban Climate*, **27**, p. 24-45

Hidalgo, J., Jouglà, R., 2018, On the use of local weather types classification to improve climate understanding: An application on the urban climate of Toulouse, *PLoS ONE*, **13**(12), E0208138

Touati, N., Gardes, T. and J. Hidalgo. A GIS plugin to model the Urban Heat Island from urban meteorological networks, *Urban Climate*, submitted

Jouglà, R., Hidalgo, J. et B. Pouponneau Définition des situations météorologiques locales pour une cinquantaine de villes françaises, *La Météorologie*, soumis

Lambert ML., Goze E. *Adapter les territoires aux changements climatiques, Outils d'urbanisme et d'aménagement des collectivités territoriales*, à paraître 2020 éditions Territorial.

## E.2.2 PUBLICATIONS MULTI-PARTENAIRES

Ching J., G. Mills, B. Bechtel, L. See, J. Feddema, X. Wang, C. Ren, O. Brousse, A. Martilli, M. Neophytou, P. Mouzourides, I. Stewart, A. Hanna, E. Ng, M. Foley, P. Alexander, D. Aliaga, D. Niyogi, A. Shreevastava, S. Bhalachandram, V. Masson, J. Hidalgo, J. Fung, M. de Fatima Andrade, A. Baklanov, D. Wei Dai, G. Milcinski, M. Demuzere, N. Brunsell, M. Pesaresi, S. Miao, F. Chen (2018) : World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT), an urban weather, climate and environmental modeling infrastructure for the Anthropocene, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **99**(9), 1907-1928, doi : 10.1175/BAMS-D-16-0236.1

Hidalgo J., G. Dumas, V. Masson, G. Petit, B. Betchtel, E. Bocher, M. Foley, R. Schoetter, G. Mills, (2019) : Comparison between Local Climate Zones maps derived from administrative datasets and satellite observations, *Urban Climate*, in press.

Hidalgo J., A. Lemonsu and V. Masson, (2019) : 'Between progress and obstacles in urban climate interdisciplinary studies and knowledge transfer to society', *Annals of the New York Academy of Science*, **1436**, 5-18, doi : 10.1111/nyas.13986

Kwok Y.-T., R. Schoetter, K. Lau, J. Hidalgo, C. Ren, G. Pigeon, V. Masson 2019 : How does the local climate zone scheme discern the urban thermal environment ? Evaluation for a European city (Toulouse) using numerical simulation data, *International Journal of Climatology*, in revision

Masson V., W. Heldens, E. Bocher, M. Bonhomme, B. Bucher, C. Burmeister, C. de Munck, T. Esch, J. Hidalgo, F. Kanani-Sühring, Y-T Kwok, A. Lemonsu, J.-P. Lévy, B. Maronga, D. Pavlik, G. Petit, L. See, R. Schoetter, N. Tornay, A. Votsis, J. Zeidler, (2019): City-descriptive input data for urban climate models : Model requirements, data sources and challenges, *Urban Climate*, submitted.

Schoetter R., V. Masson, A. Bourgeois, M. Pellegrino, and J.-P. Lévy (2017) : Parametrisation of the variety of human behaviour related to building energy consumption in TEB (SURFEX v. 8.2), *Geoscientific Model Development*, **10**, 2801–2831, doi : 10.5194/gmd-10-2801-2017

Tornay N., R. Schoetter, M. Bonhomme, S. Faraut, A. Lemonsu and V. Masson (2017) : GENIUS : A methodology to define a detailed description of buildings for urban climate and building energy consumption simulations, *Urban Climate*, **10**, 75-93, doi:10.1016/j.uclim.2017.03.002

### E.2.3 CONFERENCES INTERNATIONALES

Bocher E., G. Petit, N. Fortin, S. Palominos. H2GIS a spatial database to feed urban climate issues. 9th International Conference on Urban Climate (ICUC9), Jul 2015, Toulouse, France. 2015

Hidalgo J., G. Dumas, V. Masson, G. Petit, B. Bechtel, E. Bocher, M. Foley, R. Schoetter, and G. Mills (2018) : Comparaison between Local Climate Zones Maps Derived from Administratives Datasets and Satellite Observations, 10th International conference on Urban Climate, New York City, USA, 6-10 aout 2018

Hidalgo J., R. Jougla, R. Schoetter, N. Touati, V. Masson, and K. K. L. Lau, 2018: Taking into Account Atmospheric Dynamics and a Plurality of Weather Situations in Urban Climate Analysis Maps, 10th International conference on Urban Climate, New York City, USA, 6-10 aout 2018

Ka-Lun Lau K., J. Hidalgo, C. Ren, R. Schoetter, Y. T. Kwok, V. Masson, X. Zhang, and X. Li (2018) : Urban Climatic Analysis for Heat Stress Mitigation in French Cities: A Case Study for Toulouse, 10th International conference on Urban Climate, New York City, USA, 6-10 aout 2018

Long N., T. Gardes, Julia Hidalgo, Valéry Masson, Robert Schoetter, 2018, Influence of the urban morphology on the urban heat island intensity: an approach based on the Local Climate Zone classification, 5th Open source geospatial research & educational Symposium, Proceeding <https://peerj.com/preprints/27208/>, 9-11 octobre 2018, Lugano, Suisse

Lopez Claudia Ximena, Sinda Houès-Jouve, Julia Hidalgo, Integration of urban climate issues in urban planning: reflection on which are the keys of success », Proceeding of the 9th International Conference on Urban Climate, 20-24 Juillet, Toulouse, France

Masson V. (2018) et al, Integrated Urban Services: Paris Case, 1st Cities IPCC, Edmonton, Canada, 3-6 March 2018

Masson V. (2018) et al, What is needed for micro-climate & energy information at city scale ? 1st Cities IPCC, Edmonton, Canada, 3-6 March 2018

Masson V. et al, Urban Climate, Human behaviour and Energy consumption : from LCZ mapping to simulation and urban planning (the MapUCE project), 9th International Conference on Urban Climate, 20-24 juillet 2015, Toulouse

Masson, V., J. Hidalgo, A. Amossé, F. Belaid, E. Bocher, M. Bonhomme, A. Bourgeois, G. Bretagne, S. Caillerez, E. Cordeau, C. Demazeux, S. Faraut, C. Gallato, S. Haoues-Jouve, M-L. Lambert, A. Lemonsu, R. Lestringant, J-P. Lévy, N. Long, C-X. Lopez, M. Pellegrino, G. Petit, C. Pignon, C. Plumejeaud, V. Ruff, R. Schoetter, N. Tornay, D. Vye, 2015, Urban Climate, Human behavior & Energy consumption: from LCZ mapping to simulation and urban planning (the MapUCE project), Conference "Our common future", 7-10 Juillet 2015, Toulouse, France

Masson, V., J. Hidalgo, A. Amossé, F. Belaid, E. Bocher, M. Bonhomme, A. Bourgeois, G. Bretagne, S. Caillerez, E. Cordeau, C. Demazeux, S. Faraut, C. Gallato, S. Haoues-Jouve, M-L. Lambert, A. Lemonsu, R. Lestringant, J-P. Lévy, N. Long, C-X. Lopez, M. Pellegrino, G. Petit, C. Pignon, C. Plumejeaud, V. Ruff, R. Schoetter, N. Tornay, D. Vye, 2015, Urban Climate, Human behavior & Energy consumption: from LCZ mapping to simulation and urban planning (the MapUCE project), IPCC workshop, 15-18 sept 2015, Sao Jose dos Campos, Brésil

Masson V., J. Hidalgo, A. Amossé, E. Bocher, M. Bonhomme, A. Bourgeois, G. Bretagne, S. Caillerez, E. Cordeau; C. Demazeux; S. Faraut, C. Gallato, S. Haoues- Jouve, M.-L. Lambert, A. Lemonsu, J.-P. Lévy, N. Long; C.-X. Lopez, G. Petit, M. Pellegrino, C. Pignon, C. Plumejeaud, V. Ru-, R. Schoetter, N. Tornay, D. VyeUrban : Climate, Human behavior & Energy consumption: from LCZ mapping to simulation and urban planning (the MApUCE project), , First International conference on Urban Physics, Quito, Equateur, 26-30 septembre 2016

Masson V., Le climat urbain: de l'observation des processus à l'adaptation des villes au changement climatique, 30<sup>ème</sup> colloque de l'association internationale de climatologie, Sfax, Tunisie, 3-6 juillet 2017

Masson V., M. Bonhomme, J. Hidalgo, N. Tornay, S. Faraut, and R. Schoetter, Architectural Archetypes Database Propositions for WUDAPT, 13th Symposium on the Urban Environment, AMS general Assembly, Seattle, 22-26 janvier, 2017

Masson V., M. Bonhomme, J. Hidalgo, N. Tornay, S. Faraut, R. Schoetter, L. See, D. Duarte, L. S. Ferreira, J. Ching, and G. Mills (2018) : Using Architectural Archetypes and Crowdsourcing to Collect More Detailed Information for WUDAPT, 10th International conference on Urban Climate, New York City, USA, 6-10 aout 2018

Masson V., Marion Bonhomme, Julia Hidalgo, Nathalie Thornay, Serge Faraut, Robert Schoetter, Linda See, Jason Ching, Gerald Mills, Edward Ng, Chao Ren, Architectural Archetypes Database Propositions for WUDAPT, Passive Low energy Architecture 2017, Edinbourg, Ecosse, 3-5 juillet 2017

Masson V., R. Schoetter, E. Bocher, J. Hidalgo, A. Amosse, M. Bonhomme, A. Bourgeois, G. Bretagne, S. Faraut, S. Haoues-Jouve, R. Jouglu, M. L. Lambert, A. Lemonsu, J. P. Levy, N. Long, G. Petit, C. Plumejeaud, N. Tornay, and D. Vye (2018): How to Model Human Energetic Behaviors Influence in TEB? from Urban and Social Data to Energy Consumption Simulations, 10th International conference on Urban Climate, New York City, USA, 6-10 aout 2018

Masson V. , J. Hidalgo, E. Bocher, A. Amossé, M. Bonhomme, A. Bourgeois, G., S. Caillerez, E. Cordeau; C. Demazeux; S. Faraut, C. Gallato, T. Gardes, S. Haoues-Jouve, R. Jouglu, M.-L. Lambert, A. Lemonsu, J.-P. Lévy, N. Long; C.-X. Lopez, G. Petit, M. Pellegrino, C. Pignon, C. Plumejeaud, V. Ruff, R. Schoetter, N. Tornay, N. Touati D. Vye, How to include Urban Climate issues in Urban planning? From urban and social data production to legal documents, European International Conference on Transforming Urban Systems (EICTUS-2019) 26 – 28 June 2019, Strasbourg, France

Masson V., M. Bonhomme, J. Hidalgo, N. Tornay, S. Faraut, R. Schoetter, J-T Kwok, L. See, D. Duarte, L. S. Ferreira, J. Ching, and G. Mills, Architectural Archetypes Database Propositions for WUDAPT, Passive Low energy Architecture conference, Hong-Kong, 9-12 dec 2018

Plumejeaud-Perreau C., C. Poitevin, C. Pignon-Mussaud, N. Long, 2015, Building Local Climate Zones by using socio-economic and topographic vectorial databases, Proceeding of the 9th International Conference on Urban Climate, 20-24 Juillet, Toulouse, France

Schoetter R., A. Amosse, E. Bocher, M. Bonhomme, A. Bourgeois, S. Faraut, J. Hidalgo, A. Lemonsu, J. P. Levy, V. Masson, G. Petit, and N. Tornay, Evaluation of the Simulated Spatio-Temporal Variability of the Anthropogenic Heat Flux in the Agglomeration of Toulouse, France, 13th Symposium on the Urban Environment, AMS general Assembly, Seattle, 22-26 janvier, 2017

Schoetter R., A. Amossé, E. Bocher, M. Bonhomme, A. Bourgeois, S. Faraut, J. Hidalgo, A. Lemonsu, J.-P. Lévy, V. Masson, G. Petit, and N. Tornay, Evaluation of the simulated spatio-temporal variability of the anthropogenic heat flux in the agglomeration of Toulouse, France, European Meteorological society, 12-16 septembre 2016, Trieste, Italy

Schoetter R., J. Hidalgo and V. Masson, Evaluation of a statistical-dynamical downscaling for the urban heat island, building energy consumption and human thermal comfort, European Meteorological society, Dublin, Irlande, 4-8 septembre 2017

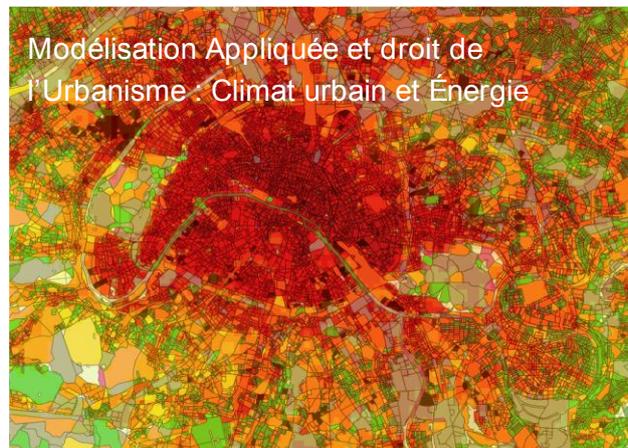
Schoetter R., J. Hidalgo, J. Pergaud, R. Jouglu, M. Goret, and V. Masson (2018) : Evaluation of a Statistical-Dynamical Downscaling for the Urban Heat Island and Building Energy Consumption, 10th International conference on Urban Climate, New York City, USA, 6-10 aout 2018

Tornay Nathalie, Bonhomme Marion et Faraut Serge. « GENIUS, a methodology to integer building scale data into urban microclimate and energy consumption modelling ». 9<sup>th</sup> Conference on Urban Climate, juillet 2015 à Toulouse (France).

## E.2.4 CONFERENCES NATIONALES

Colloque de fin de projet MApUCE, 22 janvier 2019, IAU-IdF, Paris

### Colloque MApUCE



MApUCE

Mardi  
22 janvier 2019  
9h30 - 17h00

IAU Île de  
France,  
15 rue Falguière,  
75015 PARIS



Ce projet a bénéficié d'une aide de l'Agence Nationale de la Recherche portant la référence ANR-13-VB0U-0004



**Matinée**

9h30-10h Introduction

10h-11h15 Données

Base de données urbaines  
Typologies architecturales



11h15-12h30 Modèles

Comportements  
îlot de chaleur &  
climat urbain

12h30 Buffet offert

**Après-midi**

14h-16h30 Urbanisme

Témoignage d'une collectivité  
Cartes climatiques urbaines

Guide méthodologique &  
fiches juridiques

16h30-17h Clôture

Pour en savoir plus sur le projet M ApUCE:  
V. Masson, Météo-France: [valery.masson@météo.fr](mailto:valery.masson@météo.fr)  
J. Hidalgo, UH: Toulouse: [julia.hidalgo@univ-tlse2.fr](mailto:julia.hidalgo@univ-tlse2.fr)  
<https://www.umr-cnrs.fr/ville-climat/>

Hidalgo J., Valéry Masson, Fateh Belaid, Erwan Bocher, Marion Bonhomme, Alexis Bourgeois, Geneviève Bretagne, Sophie Caillerez, Erwan Cordeau, Coralie Demazeux, Serge Faraut, Cécile Gallato, Sinda Haoues-Jouve, Marie-Laure Lambert, Aude Lemonsu, Renaud Lestringant, Jean-Pierre Lévy, Nathalie Long, Claudia-Ximena Lopez, Zohra Mhedhbi, Margot Pellegrino, Gwendall Petit, Cécilia Pignon, Christine Plumejeaud, Valentine Ruff, Robert Schoetter, Nathalie Tornay, Najla Touati, Didier Vye, Normaliser pour mieux prendre en compte les enjeux climatiques dans l'urbanisme. Le projet MApUCE, « Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat et Énergie », La ville durable à la portée des sciences ?, 15-16 juin, 2016, Toulouse, France

Lambert M.-L., Organisation d'un séminaire « L'intégration des aspects climat-énergie dans les documents d'urbanisme - apports législatifs récents et recherches en cours », 26 janvier 2016, Aix-en-Provence

Lambert M.-L., Organisation séminaire « L'intégration des aspects climat-énergie dans les documents d'urbanisme -fiches méthodologiques et retour d'expérience à Agen », 13 juin 2016, Aix-en-Provence

Lambert M.-L., intervention à l'Atelier Communication Créative sur le Climat (organisatrice Tara DePorte) le 17 septembre 2015, IMéRA (Institut Méditerranéen d'Etudes Avancées) LABEX OT- MED, Marseille, France.

Masson V. (2018), MAPUCE : Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Énergie , Conférence sur la recherche au service de la transition énergétique, Issy-Les-Moulineaux, France, 4-5 juin 2018.

Masson V. (2018), PÆNDORA: Planification, Adaptation, Energie: Données Territoriales et Accompagnement , Conférence sur la recherche au service de la transition énergétique, Issy-Les-Moulineaux, France, 4-5 juin 2018.

Masson V. et al: Atelier "Planification et climat, le projet MApUCE", 16ème assises internationales de la transition énergétique, 26-28Janvier 2016, Dunkerque

Pellegrino M., Consommation énergétique domestique: vers une modélisation multiscalaire. 6e Colloque M2E (Métiers de l'Énergie et de l'Environnement, 21 et 22 mai 2015, Ville d'Avray, 2015, Avray, France

Plumejeaud-Perreau C., 2016, Construction d'une base de données urbaine pour l'analyse du micro-climat, FOSS4G-fr, 10-12 Mai 2016, Paris, France

#### E.2.5 ARTICLES DE VULGARISATION

Brève consacrée à la présentation du projet MApUCE et de l'implication de 5 agences du réseau FNAU dans la revue "Traits d'Agences" n°26

Dossier FNAU n°36 "Planification et Climat" en cours de finalisation : un article consacré à MApUCE

L'équipe de recherche juridique du LIEU a intégré le Groupe régional d'experts sur le climat de Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC-PACA) qui s'est mis en place avec le soutien de la Région PACA et de l'ADEME.

Un premier ouvrage, La région Provence-Alpes-Côte d'Azur face au changement climatique a été publié et diffusé à l'occasion de la MEDCOP qui s'est tenue à Marseille les 4 et 5 juin 2015. Un chapitre concerne Les micro-climats urbains dans les politiques publiques, p.25  
<http://www.air-climat.org/publications/publications-institutionnelles/comprendre-le-climat-de-paca-et-son-evolution/>

#### E.2.6 CONFERENCES GRAND PUBLIC

Présentation du projet Mapuce auprès des membres du programme GeoPAL, le portail de l'information géographique en Pays de la Loire (30/03/2014)

Présentation du projet Mapuce auprès des élus de la commission "Aménagement du Territoire et Environnement" du Conseil Régional des Pays de Loire. (27/04/2014)

Club thématique Environnement FNAU "Energie, climat et exercices d'urbanisme" du 19 mars 2015, et son compte-rendu

Communication sur le projet MApUCE lors du club des directeurs d'agences d'urbanisme (5 mai 2015) et lors de deux réunions partenaires : FNAU / ERDF le 21 mai 2015 et FNAU / GRDF le 16 juin 2015

Colloque « CVT Athena » (Ministère de la Recherche), contribution "Simulation et climat : réaliser une base de données urbaines au service de la planification et du projet territorial ", 6 octobre 2015 (FNAU et LIENS)

Présentation de ML Lambert au congrès de France Nature Environnement PACA « Villes et villages de demain », 21 avril 2016 à Carpentras : intervention « La nature en ville : un atout pour limiter les risques - Adaptation des villes au changement climatique »

Organisation d'une matinée de séminaires ayant pour titre « Cartographier le climat au service de l'urbanisme », le 15/04/2016 à l'Université Jean Jaurès (LISST)

Organisation d'une matinée de séminaires ayant pour titre « Workshop on the Urban Climatic Mapping for Sustainable Urban Planning and Design Practices », le 28/06/2016 à l'Université Jean Jaurès (LISST)

Organisation d'une journée d'études "Aménagement et Climat : traduction des questions énergétiques et climatiques dans les documents d'urbanisme" avec la DREAL Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées, 14 octobre 2016, CVRH, Toulouse..

Organisation le 13 mars 2015 à l'université de Toulouse Jean Jaurès d'une journée d'étude sur le thème "Villes et climat : au carrefour de la recherche, de l'action et de la participation" dans le cadre du 8ème atelier de Recherche, Action et Expertise (ADIRAE). La démarche du projet Mapuce a été présentée à cette occasion par Julia Hidalgo.

COP21 : Intervention de V. Masson lors de la conférence "Villes et Climat : stratégies d'adaptation des villes au changement climatique et diffusion des connaissances scientifiques auprès des décideurs locaux.", side-event à la COP21, 3- 4 décembre 2015.

Masson V. (2018), Le Climat Urbain, semaine du développement durable de Toulouse Métropole, Toulouse, 30 mai 2018.

Masson V. et A. Lemonsu (2018), Le Climat Urbain, Journée thématique "Services climatiques urbains", Toulouse, 4 juillet 2018.

Masson V., Îlot de chaleur urbain, Changement climatique et stratégies d'adaptation des villes, Ministère de l'écologie, Paris La Défense, 12 décembre 2016

Masson V., Les climats dans les villes et leurs évolutions, association les mardis d'Assezats, Toulouse, 21 février 2017

Masson V., Coup de chaud sur la ville, conférence de l'association Assosciences, Toulouse, 6 juin 2017

Masson V., L'îlot de chaleur urbain, Agence de l'eau Adour-Garonne, Toulouse, 18 octobre 2017

Bocher E., G. Petit. : Méthodes et outils pour la construction de la base de données MApUCE. Réunion du Club Environnement FNAU, May 2017, Paris, France. 2017. [⟨halshs-01528773⟩](#)

### E.3 LISTE DES ELEMENTS DE VALORISATION

#### E.3.1 SITES WEB ET MISE A DISPOSITION DES DONNEES

Deux sites webs sont dédiés au projet.

Le premier décrit le projet et ses résultats :

<https://www.umr-cnrm.fr/ville.climat/spip.php?rubrique120>

Le second est une interface de visualisation cartographique des données urbaines et micro-météorologiques produites. A partir de ce site, **il est possible de télécharger, en open-data, l'ensemble des données produites** ainsi que de naviguer géographique sur l'ensemble des unités urbaines étudiées.

<http://mapuce.orbisgis.org>

Ajoutons que l'ensemble des algorithmes développés pour traiter les données géographiques ainsi que les logiciels de restitution sont disponibles en open source ([https://github.com/orbisgis/MApUCE\\_tools](https://github.com/orbisgis/MApUCE_tools)). Ce choix a été guidé par la volonté des acteurs du projet de contribuer également à la diffusion et l'appropriation des outils au-delà du cercle de ce projet.

Ainsi, plusieurs agences d'urbanisme ont téléchargé les données, et certaines, dont les villes ne sont pas couvertes par les données produites, ont demandé à ce que celles-ci soient produites (Strasbourg par exemple). Ceci sera fait dans le projet PAENDORA (cf ci-dessous).

Deux éléments de valorisation des travaux de MApUCE sur Toulouse ont été menés par l'aua/T :

- le montage en cours d'un atlas cartographique valorisant les résultats de cartes climatiques obtenues sur Toulouse Métropole : une 1ère livraison sur les cartes ICU a été produite début avril pour l'évènement Forum Toulouse + verte ; l'atlas complet est prévu pour l'été 2019.
- un article "Carte du mois" en cours de production pour la newsletter de l'aua/T du mois d'avril 2019, qui porte sur la notion d'ICU avec différentes données cartographiques, dont plusieurs issues du projet MApUCE sur Toulouse: <http://lib.aa-toulouse.org/CarteDuMois/170419/>

#### E.3.2 PROJET PAENDORA

Le projet PAENDORA, financé par l'ADEME est en quelques sorte une opérationnalisation de MApUCE, avec la production des données sur l'ensemble des communes de France, et un suivi des pratiques des acteurs et des agences d'urbanisme.