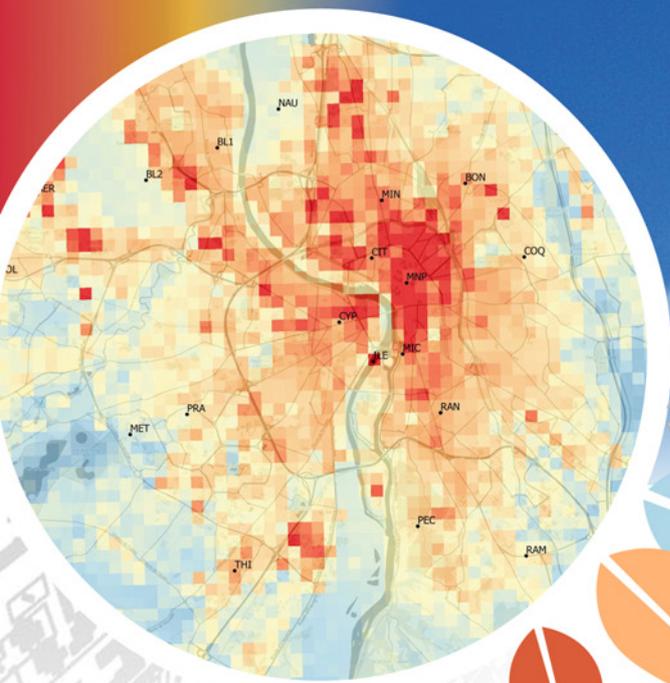


Urbanisme & (micro-)climat

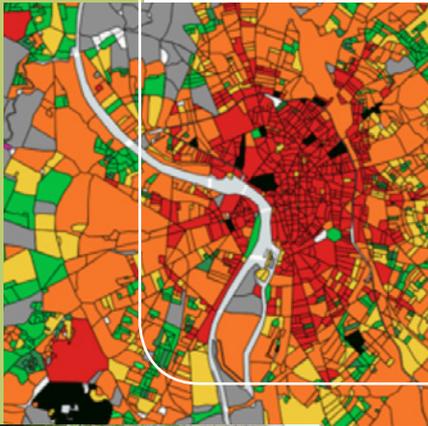
OUTILS ET RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES
POUR LES DOCUMENTS DE PLANIFICATION

issus du projet MAPUCE



Modélisation Appliquée
et droit de l'Urbanisme :
Climat urbain & Énergie



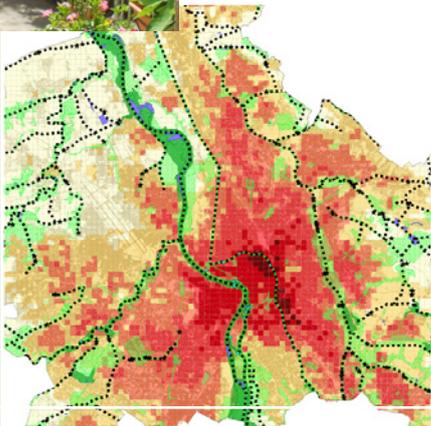


Le programme de recherche pluridisciplinaire

ANR **MApUCE** (Modélisation Appliquée au droit de l'Urbanisme: Climat urbain et Énergie), financé par l'ANR, a associé huit 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 programme a permis de développer une **méthodologie de production de données urbaines et climatiques nécessaires au diagnostic microclimatique des territoires urbanisés**. Il propose également des leviers juridiques (fondements, outils juridiques et rédactions) d'intégration dans les **outils de planification urbaine, des données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie**.



RECHERCHE PLURIDISCIPLINAIRE :



CNRM
Modélisation
climat urbain
et énergie du bâti



FNAU
Réseau d'agences
d'urbanisme



Lab-STICC
Traitement
de données
géographiques



LATTS
Comportements
énergétiques



LIENSs
Analyse spatiale et
statistique de données



LIEU
Droit de l'urbanisme



LISST
Dynamique de territoires
et politiques urbaines



LRA
Morphologie urbaine
architecture

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Agence Nationale de la Recherche portant la référence ANR-a13-VBDU-0004-06

SOMMAIRE

Introduction générale

Le programme MApUCE

Pourquoi ? Les enjeux énergie-climat

Quoi ? L'adaptation au changement climatique - La lutte contre les îlots de chaleur urbains

Qui ? Des compétences locales renouvelées

Quand ? L'évaluation environnementale des documents d'urbanisme

Comment ? Le croisement des attentes des professionnels, des retours d'expérience, et des travaux des chercheurs

- Analyse à partir de retours d'expériences
- Enseignements issus de ces retours d'expérience
- Etat des attentes et des pratiques professionnelles des agences d'urbanisme
- Lecture de ces recommandations

p. 4

I. Données urbaines et microclimatiques produites dans MApUCE

A – Données urbaines : la base de données MApUCE

B – La modélisation des comportements énergétiques

C – La modélisation de l'îlot de chaleur urbain

p. 12

II. La territorialisation des outils : les cartes climatiques de l'environnement urbain

A – Pour un diagnostic microclimatique dans les exercices de planification

B – Description de l'outil : les cartes climatiques

1 - Choix faits dans le cadre de MApUCE

2 - Méthodologie proposée - Application sur Toulouse

3 - Du diagnostic microclimatique au projet urbain, les cartes de recommandations

p. 20

III. Intégration de ces outils dans les documents d'urbanisme : leviers d'actions mobilisables pour agir sur le microclimat urbain

A – Outils mobilisables sur de l'urbanisme dense existant afin de lutter contre les ICU

1 - Végétalisation - Effet canopée et évapo-transpiration

2 - Eaux de surface - Effet de rafraîchissement et de gestion des risques de ruissellement

3 - Albedo des matériaux urbains - Effet sur le stockage de la chaleur

B – Leviers mobilisables dans des zones à urbaniser et/ou lors d'opérations de densification

1 - Performances environnementales renforcées

2 - Forme urbaine et orientation des voies – Effets sur la ventilation naturelle des voies et bâtiments

3 - Hauteur, distance et orientation des bâtiments - impacts sur l'ombre portée et ensoleillement

p. 30

Conclusion

Ressources

p. 43



2019



Introduction générale



Le programme MApUCE

Un programme pluridisciplinaire

Le programme de recherche pluridisciplinaire ANR MApUCE (Modélisation Appliquée au droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Énergie), a associé huit laboratoires de recherche en météorologie, climatologie urbaine, urbanisme, architecture, géographie, géomatique, sociologie et droit de l'urbanisme, ainsi que la FNAU (Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme).

Les résultats et livrables du programme

Ce projet a permis de développer une méthodologie de production de données urbaines et climatiques nécessaires au diagnostic microclimatique des territoires urbanisés. Par ailleurs, ce programme propose des leviers juridiques d'intégration dans les outils de planification urbaine, de données quantitatives liées au microclimat urbain, au climat et à l'énergie.

POURQUOI ? Les enjeux énergie-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) qui est aujourd'hui légalement imposée.

Précision technique

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 et les documents d'urbanisme n'ont cessé de s'élargir vers de nouvelles thématiques environnementales. La lutte contre le changement climatique – et dans une moindre mesure l'adaptation à ce changement – sont devenues des objectifs de ces documents d'urbanisme depuis la loi Grenelle 2, 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.

La réforme du Code de l'urbanisme en 2015 a clarifié la rédaction du nouvel article L101-2 en donnant mission aux politiques publiques en matière d'urbanisme d'atteindre les objectifs de « lutte contre le changement climatique et l'adaptation à ce changement ».

Précision technique

Article L101-2 du 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 ;

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

Un des enjeux essentiels de l'adaptation des villes au changement climatique, face à l'élévation des températures globales, consiste à réduire la dégradation du climat urbain estival ainsi que l'apparition des îlots de chaleur urbains.

QUOI ? **L'adaptation au changement climatique** **La lutte contre les îlots de chaleur urbains**

Le changement climatique se traduit en ville par une dégradation du confort thermique en raison de l'augmentation des températures et l'apparition d'îlots de chaleur urbains, particulièrement lors des vagues de chaleur estivales. L'îlot de chaleur urbain (ICU) est un phénomène physique 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 peut être liée à la structure et la morphologie de la ville. La minéralisation des surfaces, l'orientation des rues et des bâtiments par rapport au soleil ou aux vents dominants, l'absence ou la présence d'espaces verts ou d'eaux de surface sont ainsi, avec les conditions météorologiques locales, des facteurs impactant le microclimat local. Enfin, les activités humaines telles que l'usage de la climatisation, les activités industrielles dégageant de la chaleur ou la circulation automobile sont aussi des facteurs d'aggravation des ICU.

QUI ? **Des compétences locales renouvelées**

Les outils de planification urbaine permettent d'encadrer les composantes de la ville (forme et matériaux urbains, végétalisation, déplacements, etc.) et apparaissent comme des destinés à limiter l'impact de l'urbanisation sur le climat local.

On peut donc considérer que l'action des collectivités locales en la matière est non seulement imposée par leurs compétences d'urbanisme, mais encore par leurs autres missions visées par le code de l'urbanisme : 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. Plus généralement, 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 contrairement à une bonne maîtrise de l'énergie, tandis que le coût d'utilisation de ces dispositifs peut aggraver la précarité énergétique. Prévenir les ICU apparaît donc lié aux enjeux de transition énergétique, de maîtrise de l'énergie, de protection de la santé publique, d'amélioration du cadre de vie et de valorisation économique des centres villes.

De fait, le plan national d'adaptation au changement climatique de 2011 a tenté d'engager les autorités locales sur les mesures à prendre. Il énonce qu'en matière d'urbanisme et de construction, l'adaptation consiste à « *intégrer les effets du changement climatique au niveau des documents d'urbanisme notamment par la prise en compte de la biodiversité, des risques et des effets liés au changement climatique* », à « *adapter la gestion de la nature en ville et la gestion des espaces verts ; lutter contre la canicule en ville et limiter l'effet d'îlot de chaleur* » et à « *agir pour le confort du bâti dans un contexte de hausse globale des températures notamment par le renforcement des exigences de confort d'été dans les bâtiments* ».

Afin d'assurer cette mission d'adaptation aux changements climatiques, la loi a progressivement confié aux autorités locales décentralisées de nouvelles compétences et de nouveaux outils susceptibles d'être mobilisés dans le cadre de la planification (plans climat-air-énergie territoriaux, prévention des risques naturels, « verdissement » des documents d'urbanisme, ouverture d'espaces urbanisés soumis à un objectif de performance énergétique et environnementale, production d'énergies renouvelables, gestion des réseaux de chaleur et de froid, gestion des déplacements urbains, zones de faibles émissions...).

Ces nouvelles compétences entraînent de nouvelles responsabilités, et donc de nouveaux risques de condamnation. D'une part, un contentieux récent se développe en matière de lutte contre le changement climatique et de protection de la qualité de l'air en ville.

Précision technique

En 2015, les juges de la Cour supérieure de l'État de Washington ont condamné cet État, pour ne pas avoir respecté son obligation de réguler de façon suffisante les émissions de gaz à effet de serre sur son territoire (Our Children's c. État de Washington, 19 novembre 2015). D'autres procès semblables sont actuellement en cours dans 5 autres États américains.

En Europe, 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 (Cour de District de La Haye, 24 juin 2015, Fondation Urgenda c. Pays-Bas).

En France, l'État a été condamné du fait de son action insuffisante en matière de lutte contre les pollutions atmosphériques urbaines (Conseil d'État, 12 juillet 2017, Association Les Amis de la Terre France). Enfin en mars 2019, plusieurs ONG françaises ont engagé une procédure afin d'engager la responsabilité de l'État pour inaction climatique.

D'autre part, l'État dispose de la possibilité de se retourner contre les autorités locales en cas de condamnation par l'Union Européenne pour non-respect de ses engagements climatiques, en partie explicable par l'inaction ou la carence des collectivités territoriales, ce qui pourrait faire 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 (article L.1611-10 du Code général des collectivités territoriales).

QUAND ? L'évaluation environnementale des documents d'urbanisme

La phase d'évaluation environnementale d'un document de planification ou d'un projet urbain semble être le meilleur moment pour envisager un diagnostic microclimatique du territoire et réfléchir aux mesures d'adaptation au changement climatique et de limitation de l'impact de la ville sur le climat local.

Les documents d'urbanisme sont pour la plupart soumis à évaluation environnementale lors de leur élaboration ou de leur évolution, soit de manière systématique, soit après un examen au cas par cas⁽¹⁾.

Cette évaluation environnementale, directement intégrée au rapport de présentation des documents d'urbanisme, tels que le SCoT et le PLU, 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⁽²⁾. C'est donc dans le cadre de cette évaluation que pourront être mobilisés les outils et données proposés par le programme MApUCE et présentés dans ce guide.

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 avancées. Elles permettront de justifier les mesures contenues d'autres parties des documents dont les effets sont plus prescriptifs (DOO du SCoT, OAP ou règlement du PLU(i)).

1 – Articles L104-1 et R104-1 et suivants du Code de l'urbanisme

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

Pour commencer, le rapport de présentation du SCoT, soit au sein de l'état initial de l'environnement, soit à l'occasion de l'évaluation environnementale, doit identifier les enjeux environnementaux du territoire et envisager les effets du schéma sur ces derniers. Ce premier document est donc 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 ⁽³⁾.

Ainsi, le SCoT de l'agglomération lyonnaise précise-t-il 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 l'état initial de l'environnement que l'objectif de limiter la minéralisation des sols, de végétaliser les sols et développer la présence d'eau en centre-ville constitue un outil utile pour prévenir les ICU ⁽⁴⁾.

En second lieu, le rapport de présentation du PLU(i) et son évaluation environnementale doivent également comporter un état de l'environnement et de sa sensibilité 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 qui identifie les phénomènes d'ICU la nuit, les zones à fort stress thermique pendant la journée, ainsi que les couloirs de ventilation et zones faiblement ventilées, afin de préciser des mesures de prévention concernant les espaces urbains vulnérables dans la partie réglementaire.

Le PLUI-H de Toulouse arrêté en 2017 a ainsi 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 ⁽⁵⁾.

Enfin, d'autres outils de planification tels que les Plans Climat-Air-Énergie Territoriaux (PCAET) doivent aussi identifier 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 d'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.

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.

3 – Pour le détail, voir la fiche SCoT (ressource page 45)

4 – Pour le détail, voir la fiche PLU(i) (ressource page 45)

5 – Voir : http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/6_G_Bretagne_J_Hidalgo.pdf

COMMENT ? Le croisement des attentes des professionnels, des retours d'expériences, et des travaux des chercheurs

Analyse à partir de retours d'expériences

Un des volets du projet MApUCE a consisté à identifier des approches territoriales que l'on peut qualifier d'exemplaires en matière de prise en compte des enjeux énergétiques et climatiques dans différents exercices d'urbanisme, tant au niveau de la planification, que des opérations d'aménagement urbain. L'objectif de valoriser

Précision technique

Un large panel d'expériences a été identifié, tant en France qu'à l'étranger, à partir de la littérature grise et scientifique, d'entretiens exploratoires menés avec des chercheurs et praticiens experts du domaine, et de recherches effectuées sur les sites web de réseaux de villes engagées sur le climat et l'énergie (ICLEI, Villes Post-Carbone, Alliance Climat, etc.). 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.

ces retours d'expériences de «**bonnes pratiques**» était double: d'une part comprendre quels sont les leviers et les verrous d'une bonne intégration des thématiques climat-énergie dans les outils d'urbanisme, et d'autre part s'inspirer autant que possible de ces «**cas exemplaires**» pour nos propres exercices d'accompagnement de collectivités dans leur démarche énergie-climat.

Six cas d'étude ont été sélectionnés en France (Paris, Lyon, Grenoble, Agen, Frontignan-la-Peyrade et l'opération Euro-Méditerranée à Marseille), et quatre à l'international (Stuttgart en Allemagne, Arhem aux Pays-Bas, Barcelone et Vitoria en Espagne).

Précision technique

Pour chacune de ces expériences, la littérature scientifique et institutionnelle a été analysée et des entretiens semi-directifs ont été conduits avec les parties prenantes, le plus souvent des praticiens de l'urbanisme et des chercheurs en climatologie urbaine. Pour chaque cas, une attention particulière a été portée aux 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 ont été pris en compte ; à la manière dont les connaissances autour de l'îlot de chaleur urbain ont été intégrées ; à la configuration d'acteurs et aux leviers clés qui expliquent le succès du projet. Une fiche descriptive et analytique, ainsi qu'un schéma qui synthétise les interactions entre acteurs, ont été produits pour chaque situation.

Enseignements issus de ces retours d'expérience

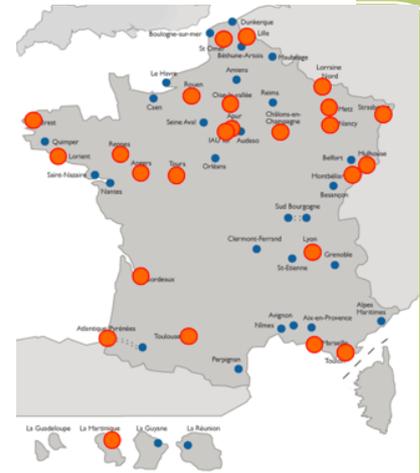
Trois enseignements principaux ont été tirés de l'analyse transversale de ces cas exemplaires :

- Les thématiques 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.
- La plupart des cas exemplaires présente une même succession d'étapes pour la mise en œuvre de mesures et d'actions en faveur du confort climatique urbain : d'abord une phase d'étude ou d'investigations, au travers de campagnes de mesures, de modélisation, d'approches historiques ou de diagnostic ; puis une étape d'expérimentation sur des sites ou des opérations témoins, là encore au travers de campagnes de mesures et de modélisations avec souvent un suivi dans le temps et selon les saisons ; ensuite une phase de 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 essentiel que jouent des personnes-relais entre les sphères scientifique et experte qui produisent les connaissances climatiques, et celui des utilisateurs ou des praticiens des collectivités locales. Ces personnes peuvent jouer un rôle de "passeurs" grâce à leur sensibilisation à l'intérêt de la démarche, à leur implication et à leur insertion dans les réseaux d'acteurs multiples.

Etat des attentes et des pratiques professionnelles des agences d'urbanisme

Partenaire du projet MAPUCE, la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme (FNAU) s'en est saisi pour identifier et caractériser les pratiques actuelles d'urbanistes sur l'intégration des considérations énergie-climat dans les exercices d'urbanisme.

*Agences d'urbanisme en France
(en orange : agences d'urbanisme ayant répondu
au questionnaire de la FNAU)*



Précision technique

La 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. Cette enquête 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. Au total, 25 agences d'urbanisme sur 52 ont répondu à l'enquête (48 %), représentatives à la fois des différentes tailles d'agences et de différentes situations géographiques et climatiques.

Cette enquête réalisée en 2015 a créé l'opportunité d'écouter les agences d'urbanisme françaises à deux niveaux :

- 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 ;
- 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...

2005 marque un tournant dans l'engagement des agences d'urbanisme sur les problématiques énergie-climat : l'évolution du contexte législatif, le déroulement d'événements caniculaires, l'apparition d'outils ont aidé à la prise de conscience sur ces sujets et à leur nécessaire prise en considération dans les réflexions en aménagement du territoire.

L'engagement de ces acteurs de l'urbanisme résulte de différents contextes : la création de nouveaux partenariats locaux (INSEE, ADEME, DREAL, AASQA, ALEC, bureaux d'études...), l'implication dans des travaux de recherche et prospective, l'intégration de nouveaux enjeux de développement durable, et surtout l'évolution du cadre législatif et ses incidences sur les exercices de planification.

Les agences d'urbanisme s'impliquent individuellement sur ces problématiques, principalement à travers les démarches territoriales de SCoT ou PLU/PLUi qu'elles accompagnent largement, et notamment le processus d'évaluation environnementale qui leur est associé. Les réflexions sectorielles (PCAET, Bilan Carbone, Eco-Cité, démarche AEU...) sont globalement moins investies.

Le développement des axes stratégiques énergie-climat apparaît assez variable parmi les agences : vulnérabilités énergétiques et contraintes carbone, vulnérabilité aux effets des changements climatiques, politiques énergétiques, risques naturels, disponibilité des ressources, plus récemment modalités d'atténuation et d'adaptation au changement climatique... Les sujets autour de la sobriété énergétique, des énergies renouvelables et des émissions de GES sont traités de façon relativement récurrente. Les questions du microclimat urbain et des comportements énergétiques des ménages et usagers sont quant à elles très peu abordées.

Les pratiques prospectives des agences d'urbanisme dans le cadre des travaux de SCoT et de PLUi restent ciblées sur la réalisation de scénarios sociodémographiques, l'analyse de la consommation de l'espace. Quelques rares besoins de modélisation ont été repérés, pour la territorialisation des données énergétiques et climatiques, de vulnérabilité aux effets du changement climatique. Cependant, l'approche SIG est plutôt "légère", surtout du côté des agences d'urbanisme de petite taille.

Près de la moitié des agences est par ailleurs impliquée ou anime un observatoire qui aborde en tout ou partie les questions énergétiques et climatiques. Cette activité est prometteuse pour le suivi et l'évaluation des exercices d'urbanisme, mais on constate encore des difficultés à définir et suivre des indicateurs pertinents et récurrents sur ces sujets.

Le travail réalisé sur les dispositions normatives et non normatives, en matière d'énergie-climat, est principalement axé sur les thématiques «*logement*», «*végétalisation*» et «*déplacements*». Beaucoup de mesures adaptées relèvent *a priori* de la gestion et non pas du document d'urbanisme. Aucun exemple (au moment de l'enquête) n'a pu être obtenu sur l'intégration de l'îlot de chaleur urbain dans les PLU/PLUi ou dans les SCoT.

Si de multiples enjeux sont globalement investis, des limites restent cependant à dépasser pour réellement intégrer les problématiques Energie et Climat dans les réflexions territoriales et répondre à la fois aux exigences réglementaires et aux enjeux socio-économiques de la prise en compte de ces sujets aux échelles pertinentes.

Quatre difficultés principales sont ainsi mises en cause par les agences d'urbanisme :

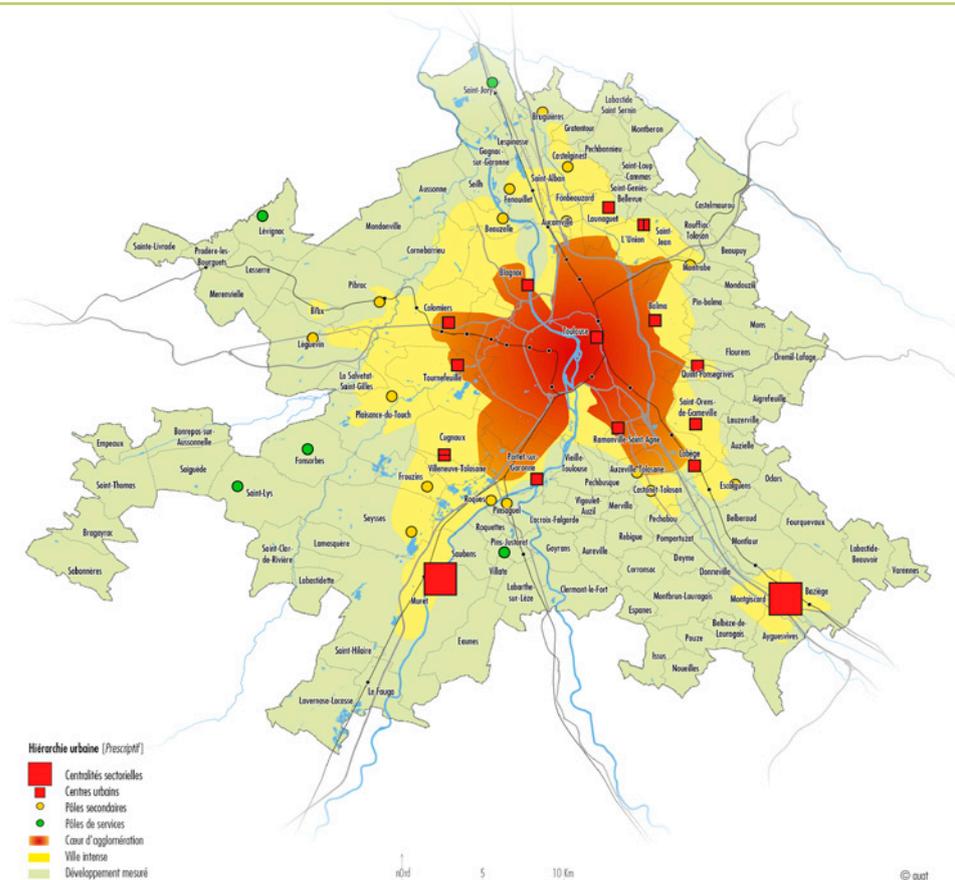
- la complexité du sujet : une **transversalité des compétences** est à mettre en place ;
- une compréhension et une appropriation difficiles : un **vocabulaire commun**, une **pédagogie**, une **acculturation** sont nécessaires à partager ;
- le manque généralisé ou la difficulté d'**accès aux données** (liée à une confidentialité des données, néanmoins progressivement et récemment levée par les politiques d'Open data à l'œuvre), une **échelle** parfois inadaptée ;
- le manque de **méthodes et d'outils génériques adaptés** (en termes de diagnostic, de prospective, d'animation), pour tout type de territoire (urbain, rural) y compris les agglomérations peu denses, permettant d'intégrer ces données à l'ensemble des documents de planification élaborés sur leurs territoires.

Lecture de ces recommandations

C'est notamment pour répondre à ces attentes que le programme MAPUCE a souhaité diffuser le présent guide de recommandations générales, structuré comme suit.

Les **données urbaines** fournies par le programme MAPUCE, qui sont pour la plupart librement disponibles en ligne, complétées de **données microclimatiques** fines pouvant être issues de simulations⁽⁶⁾ (I), peuvent être intégrées dans les **outils cartographiques** (II) et dans les pratiques de **planification urbaine** qui présentent le meilleur potentiel pour agir favorablement sur le climat urbain, qu'il s'agisse d'intervenir sur le tissu urbain déjà existant ou de concevoir ou rénover des quartiers en devenir (III).

Pour ce faire, des **fiches-outils** 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. Ces fiches sont le fruit de recherches et de réflexions en matière d'énergie-climat, inspirées de documents existants de diverses villes et agglomérations françaises. Elles traitent de l'atténuation du changement climatique et de l'adaptation à ce changement par la réduction de l'impact de l'urbanisation sur le climat local. (ressources page 45)



Exemple de cartographie d'un SCoT (Toulouse Métropole)

6 – De telles données microclimatiques peuvent aussi être observées par un réseau de stations météorologiques urbaines et périurbaines placées sur le territoire.



I. Données 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 bâtiments, des typologies de quartiers en lien avec le micro-climat, des indicateurs socio-économiques) et des méthodes d'analyse et de simulation (types de temps sensibles, analyse géo-morphologique, amélioration des modèles atmosphériques en ville).

A – Données urbaines : la base de données MApUCE

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 du 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 l'INSEE à l'échelle de l'IRIS (maillage statistique homogène et infra-communal).

Afin de démontrer la **généricité des indicateurs produits dans MApUCE**, ces derniers ont été calculés sur plus de 40 unités urbaines ; 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. 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.

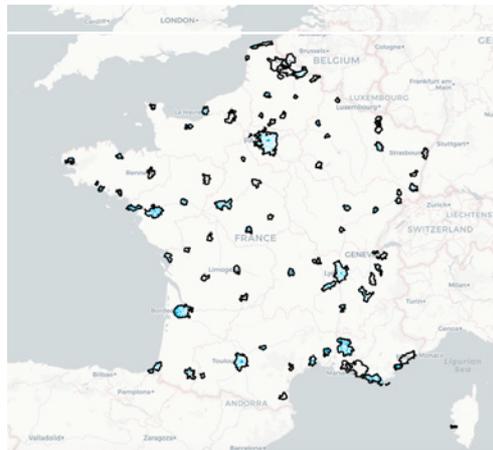
L'objectif de cette base de données est de fournir des **indicateurs utiles** et à une **échelle spatiale pertinente** pour les objectifs d'adaptation au changement climatique, en lien avec le microclimat urbain et la consommation énergétique. Après analyse du questionnaire auprès des agences d'urbanisme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

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 urbaines.
- Des **indicateurs** directement **liés au microclimat urbain**, comme les types de temps auxquels est soumise une agglomération, et l'intensité de l'îlot de chaleur urbain en été.

Précision technique

Ces indicateurs ont été calculés avec des outils de modélisation atmosphérique à haute résolution (250m) sur 43 agglomérations : Paris, Grenoble, Lyon, Caen, Toulouse, Dijon, Nantes, La Rochelle, Bordeaux, Avignon, Belfort, Besançon, Montbéliard, Chalon-sur-Saône, Angers, Arras, Amiens, Boulogne-sur-Mer, Béthune, Bayonne, Beauvais, Clermont-Ferrand, Saint-Nazaire, Calais, Colmar, Compiègne, Creil, Douai-Lens, Rouen, Dunkerque, Le Havre, Lille, Lorient, Montpellier, Metz, Mulhouse, Nancy, Nice, Nîmes, Orléans, Valenciennes, Pau, Reims, Saint-Etienne, Thionville, Tours, Toulon.



En bleu, les villes disposant actuellement des indicateurs urbains MAPUCE

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 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...). De plus, 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 présence de verdure en ville, outre d'autres qualités, permet de rafraîchir l'air.

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 gratuitement

mapuce.orbisgis.org

Voici quelques exemples de ces indicateurs, qui sont calculés sur chaque îlot urbain (ou pâté de maisons, appelés techniquement « unités spatiales de référence »).

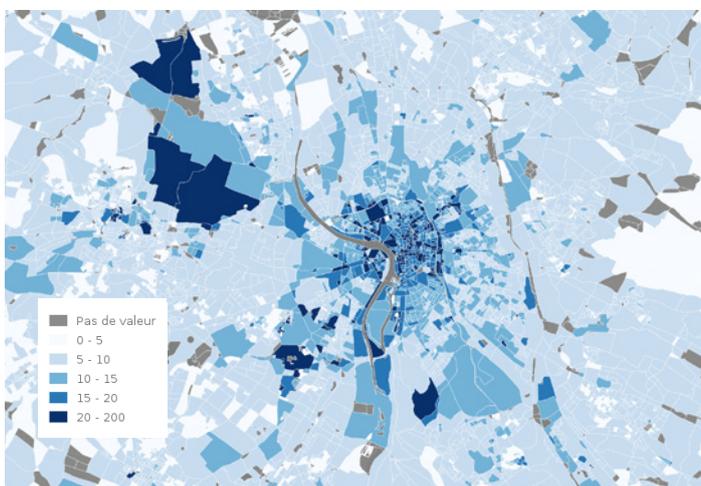


Figure 1 : Cartographie des hauteurs moyenne des bâtiments sur le centre-ville de Toulouse à l'échelle des îlots urbains (source : mapuce.orbisgis.org)

Précision technique

La figure 1 montre un indicateur parmi les 28 indicateurs morphologiques qui ont été calculés : la hauteur moyenne des bâtiments.

Une typologie des bâtiments, composée de 10 archétypes architecturaux représentatifs de la plupart des bâtiments français (figure 2) a été définie à partir d'une analyse architecturale et du questionnaire auprès des agences d'urbanisme. Les types de bâtiments majoritaires et secondaires ont aussi été calculés à l'échelle des îlots urbains.

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 3).

De plus, une recherche bibliographique sur le patrimoine architectural de différentes régions de France (figure 4) ainsi qu'une étude des matériaux locaux a permis la construction d'une

Figure 2 : Cartographie des types de bâtiments sur le centre-ville de Toulouse, à l'échelle des îlots urbains.

(source : mapuce.orbisgis.org)

- Batiment d'activité
- Batiment de grande hauteur
- Immeuble continu sur îlot ferme
- Immeuble continu sur îlot ouvert
- Immeuble discontinu
- Local
- Pavillon continu sur îlot ferme
- Pavillon continu sur îlot ouvert
- Pavillon discontinu
- Pavillon semi-continu
- Inconnu

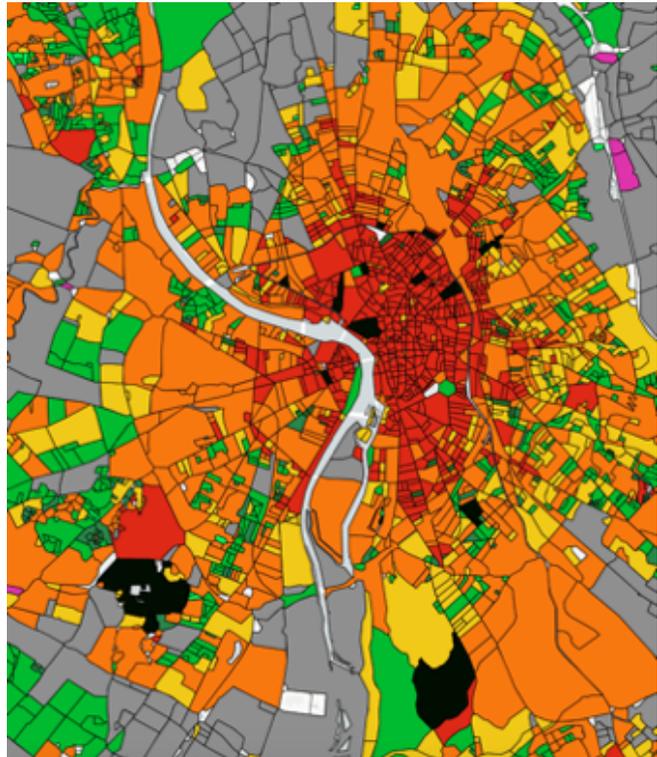
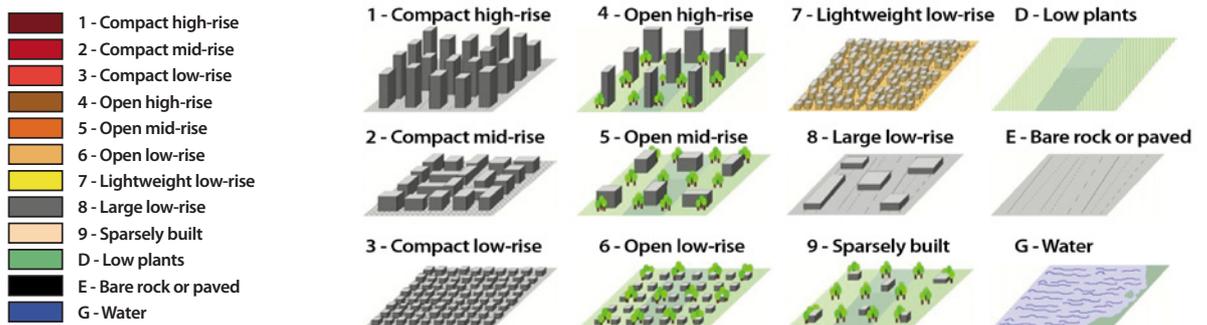
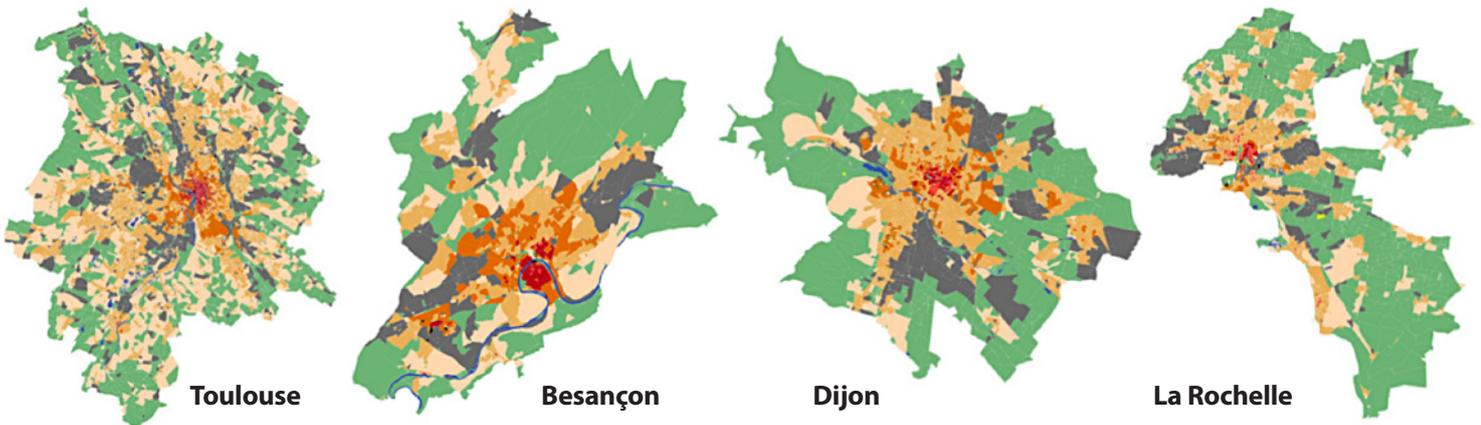
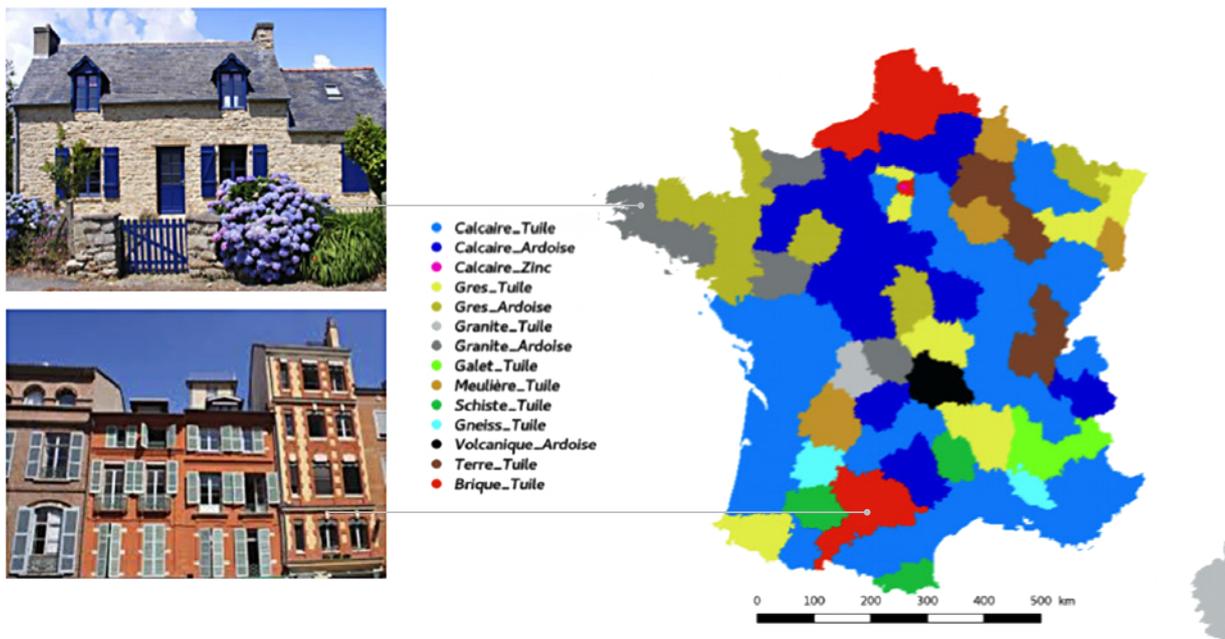


Figure 3 : Exemple de LCZ calculées sur quatre unités urbaines, à l'échelle de chaque îlot urbain.



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 de l'évolution des réglementations thermiques.

Figure 4 : Matériaux de construction dominants (mur porteur – recouvrement du toit) pour les constructions avant 1948



B – La modélisation des comportements énergétiques

Dans le but de mieux prendre en compte les interactions entre bâti, microclimat et consommation d'énergie, le programme MAPUCE a souhaité intégrer **les comportements des habitants et usagers en matière de consommation d'énergie dans les bâtiments** au sein du modèle de climat urbain TEB (Town Energy Balance). La littérature scientifique et les apports de projets précédents ont en effet montré que ces comportements énergétiques influent 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.

Les deux comportements qui ont été modélisés sont :

- l'intensité d'équipement et d'usage (par m²), qui permet d'estimer l'énergie spécifique utilisée 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 propice à diminuer la température du bâtiment.

Ces comportements ont été reliés statistiquement à des informations sociologiques du recensement (ménages, logements), en utilisant des enquêtes dédiées (programme antérieur Energie-Hab, enquête nationale logements). De ce fait, ces indicateurs comportementaux sont **disponibles à l'échelle des IRIS sur toute la France**, et il est possible de les désagréger de manière

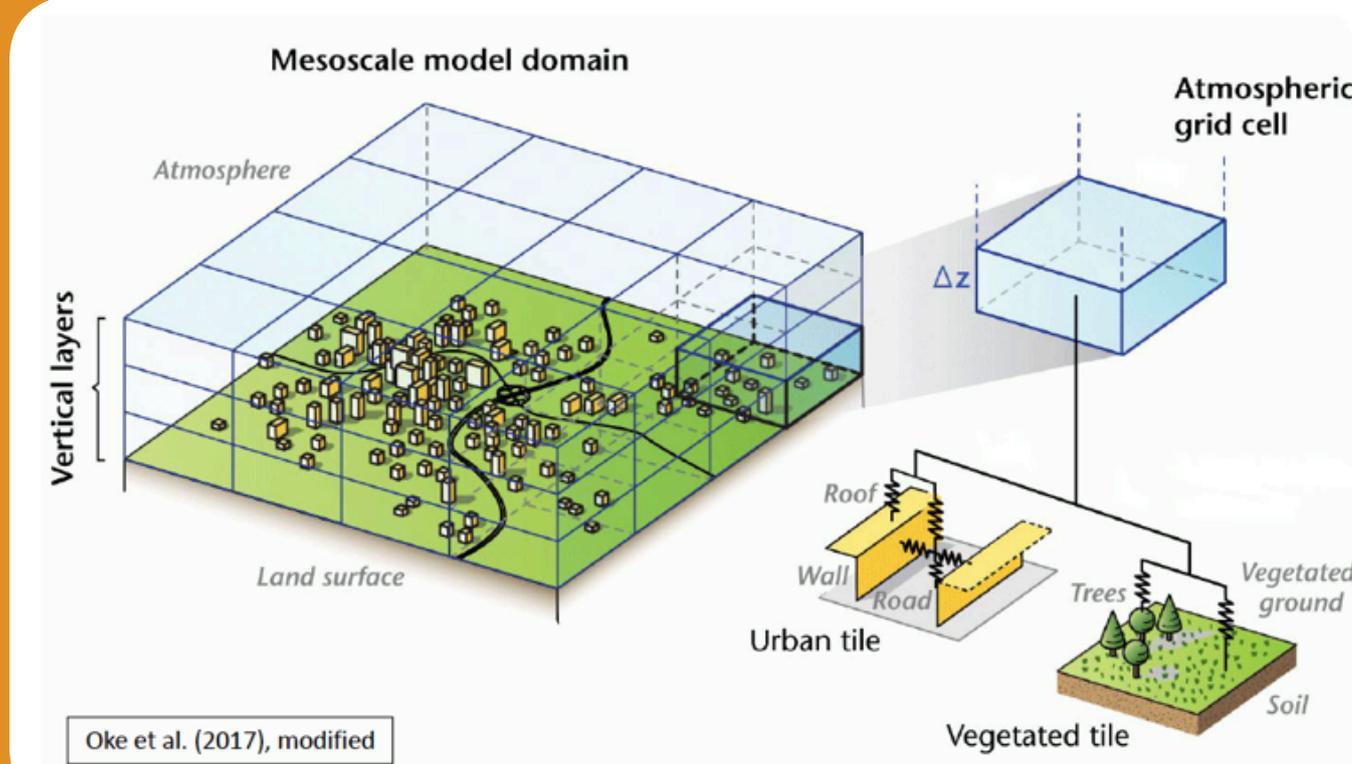
relativement simple (en fonction du type de bâtiments, individuel ou collectif) à l'échelle de l'îlot urbain. Cela permettra de modéliser en tout point le comportement énergétique des habitants et usagers à partir de leur profil ménage-logement. De telles données pourraient être utilisées par exemple pour étudier, sous forme de scénarios, l'impact du vieillissement de la population sur la consommation énergétique.

□ – La modélisation de l'îlot de chaleur urbain

Pour chacune des 43 villes traitées, des modèles atmosphériques sur ordinateur ont permis d'estimer le microclimat sur la ville (dont l'îlot de chaleur urbain), le niveau de stress thermique et les conditions aérauliques 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 250 m de côté, et de quelques dizaines de mètres à la verticale. Les mailles les plus basses sont en contact et en interaction avec la surface terrestre (surfaces végétales, mer, ville, etc.). 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 (Town Energy Balance). Il respecte les caractéristiques des quartiers dans chaque maille, comme la hauteur moyenne des bâtiments et leur densité au sol, ou la surface de murs et les matériaux utilisés. Ces données urbaines proviennent de la base de données MApUCE.

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



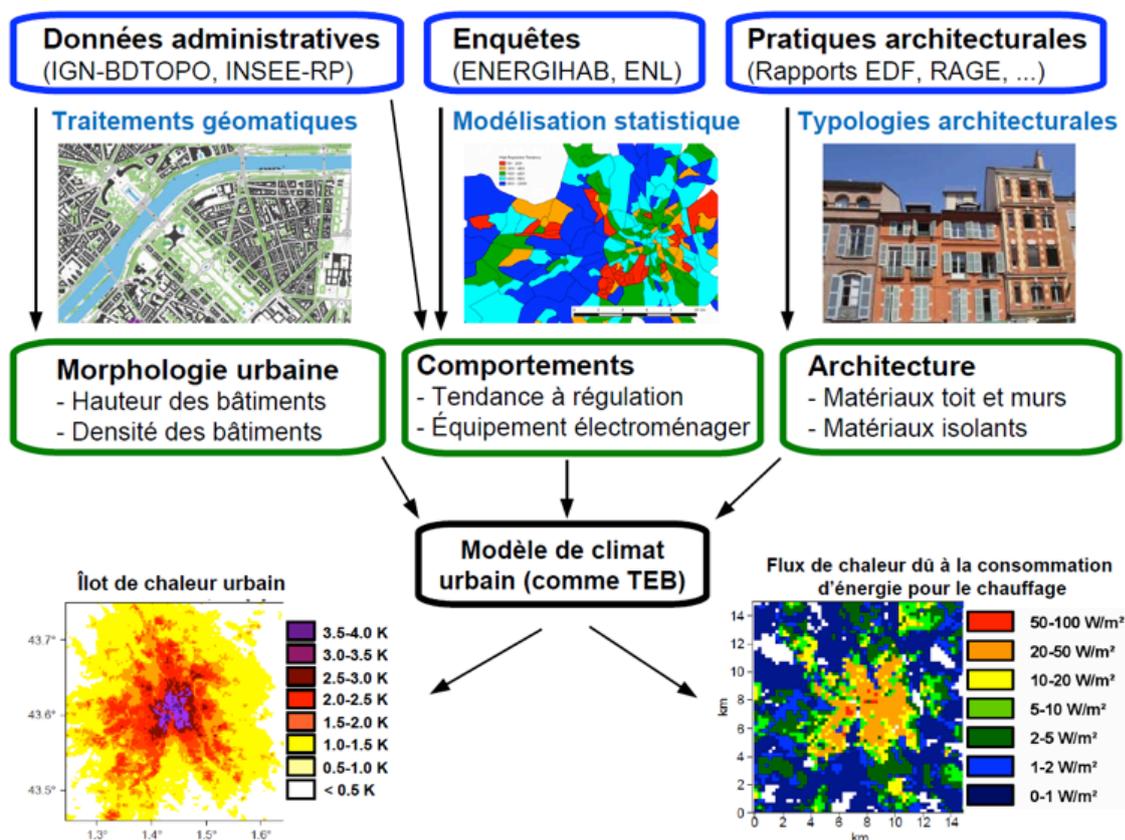
La figure 6 montre un exemple d'usage des données de la base de données MAPUCE pour l'évaluation de l'îlot de chaleur urbain. Une telle méthode pourrait être mise en œuvre par des bureaux d'études travaillant avec les collectivités dans le cadre d'évaluations environnementales.

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 les chercheurs disposaient 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.

Précision technique

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 l'aéroport de Blagnac. 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 permet d'estimer leur chance de se produire.

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



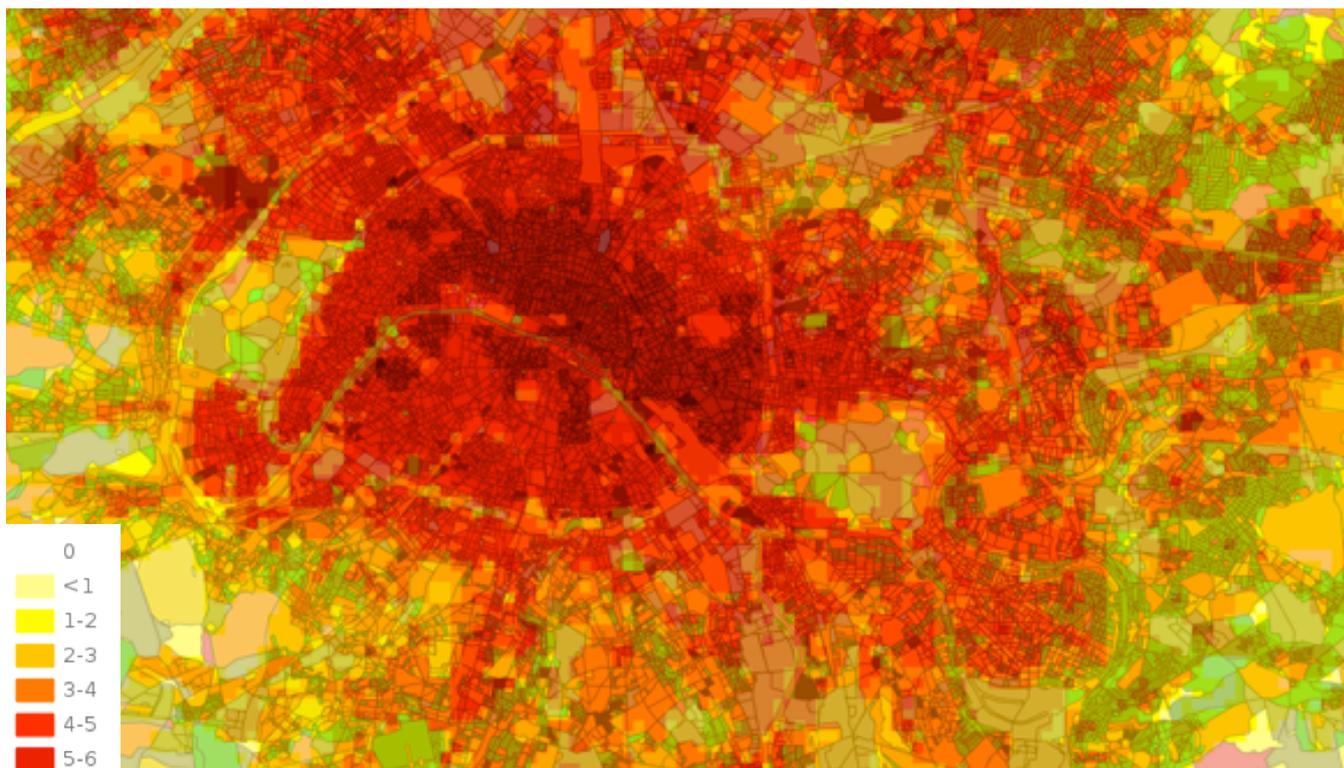


Figure 7 : Îlot de chaleur nocturne estival (en °C) sur Paris (à 250m de résolution) superposé au type de bâtiment (mapuce.orbisgis.org)

Comme mentionné ci-dessus, les nouveaux développements ont permis de simuler l'îlot de chaleur.

Précision technique

À partir des informations de la base de données (dont les hauteurs et densité de bâtiments, usages, population, surfaces de plancher), ont été initialisés dans chaque maille du modèle jusqu'à six usages différents, notamment pour les bâtiments collectifs : commercial (par exemple le rez-de-chaussée), tertiaire, non chauffé (comme les paliers, réserves et escaliers), et trois usages résidentiels en fonction de l'indicateur de régulation énergétique des ménages.

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 250 m.

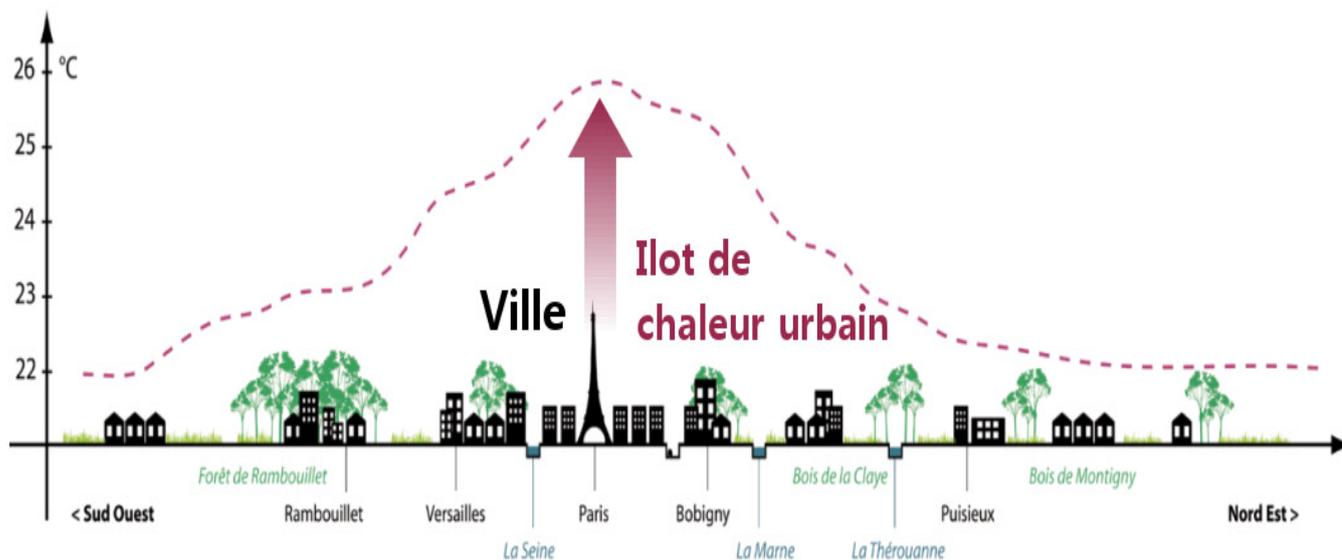
EXEMPLE

L'îlot de chaleur sur Paris augmente la température de 8°C sous ces conditions atmosphériques (figure 7), ce qui peut fortement aggraver les conséquences d'épisodes caniculaires. Sur les autres villes, on constate des intensités maximales d'îlots de chaleur urbains (nocturnes) variables (de 5°C à Lille à 1,5°C à Arras par exemple).

L'intensité de l'ICU apparaît donc corrélée à un ensemble de facteurs de morphologie urbaine (densité et hauteur du bâti notamment), facteurs qui se trouvent synthétisés dans les LCZ. On constate logiquement qu'une unité urbaine comprenant une plus grande proportion de LCZ hautes et denses tend à générer un îlot de chaleur de plus forte intensité. Néanmoins, l'impact des LCZ –et donc, par extension, de la morphologie urbaine– sur l'intensité d'îlot de chaleur (nocturne) n'est pas homogène pour toutes les agglomérations. 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 îlot de chaleur nocturne 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-continentale présentent en moyenne un écart plus de deux fois plus important (1,6°C).

Précision technique

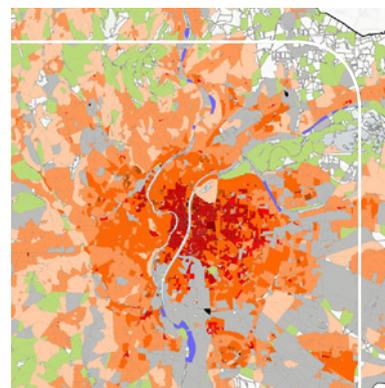
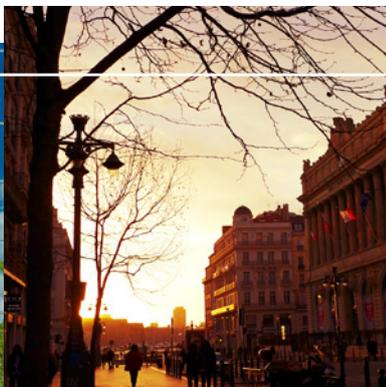
On simule ainsi par exemple un îlot de chaleur moyen dans les zones denses de 3°C à Bordeaux contre 0,5°C à Montpellier. Ceci pourrait être causé par l'évacuation de la chaleur urbaine par la brise de mer forte en soirée en été sur Montpellier. Mais cette hypothèse, bien que fort plausible, n'a pas encore été vérifiée formellement à partir des simulations atmosphériques MApUCE.



Modèle TEB (Town Energy Balance)
Source : Aude Lemonsu, CNRM



II. La territorialisation des outils : LES CARTES CLIMATIQUES DE L'ENVIRONNEMENT URBAIN



A – Pour un diagnostic microclimatique dans les exercices de planification

Le diagnostic territorial dans les exercices de planification constitue une étape fondamentale dans la mesure où son contenu oriente et détermine largement les étapes suivantes, en particulier le projet de planification. 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 désormais une opportunité d'enrichir le rapport de présentation, 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.

Précision technique

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 propres au territoire. Cependant, la directive européenne relative à l'évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement (2001, article 5§1) précise 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 (...) et les interactions entre ces facteurs ».

Pour l'instant, on constate 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 » (CGDD, **L'évaluation environnementale des documents d'urbanisme** - Le guide, 2011). 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 le caractère récent de la préoccupation climatique peut-il expliquer 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 l'échelle locale de phénomènes traités habituellement à des échelles plus globales, 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 constitue 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, par le biais des cartes de bruit et les Plans de Prévention du Bruit dans l'Environnement (PPBE). L'articulation bruit-urbanisme se fait 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 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, le processus de planification.

Précision technique

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 collectivités locales).

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 (1/2500).

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 Ruhr, 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 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).

EXEMPLE

Précision technique

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 (https://www.vdi.eu/nc/guidelines/vdi_3787_blat_1-umweltmeteorologie_klima_und_lufthygienekarten_fuer_staedte_und_regionen/). 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 et aux pratiques français.

Précision technique

La méthode MApUCE 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 ». 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.

(<https://www.cerema.fr/fr/actualites/clim-urba-outil-au-service-planification-prise-compte-du>)

– 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://cartoviz.iau-idf.fr/?id_appli=imu)

L'apport du programme MApUCE par rapport à ces outils est de fournir une méthodologie spatialisée automatique généralisable à l'ensemble du territoire.

B – 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 fondé sur un ensemble de cartes, appelées couramment « cartes d'analyse », et croisé avec d'autres éléments de la planification (Trame Verte et Bleue, zonage, etc.).

– 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.

Les choix techniques pour la réalisation de cet ensemble de cartes et de recommandations vont dépendre des enjeux climatiques locaux, des données disponibles pour la description de la ville et du climat urbain, du cadre réglementaire et du contexte scientifique et culturel des acteurs (chercheurs et parties prenantes) impliqués dans le projet.

Précision technique

Les cartes d'analyse doivent permettre d'identifier un certain nombre de zones à enjeux d'un point de vue :

- thermique (typologies des zones urbaines en fonction de leur densité ou structure urbanistique, espaces thermorégulateurs comme les masses d'eau et de végétation, zones commerciales et/ou d'activité souvent très minéralisées et avec un fort recours à la climatisation, et zones de transition)
- 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 minéralisées ou avec recours à la climatisation par exemple - et les zones qui font obstacle au vent).

1 – Choix faits dans le cadre de MApUCE

Il existe une grande variabilité climatique sur le territoire français, qui se décline en fonction de la situation géographique et de la topographie, en climats océanique, méditerranéen, semi-continentale, montagnard, ainsi que des régimes mixtes qui représentent des formes dégradées des catégories de climat précédentes. Les villes du Sud de la France présentent ainsi un climat plus doux en hiver mais qui peut être sévère en été avec des températures élevées, de jour comme de nuit. Ces situations avec un fort stress thermique estival sont également observées pour les villes continentales situées à l'est et au nord du pays.

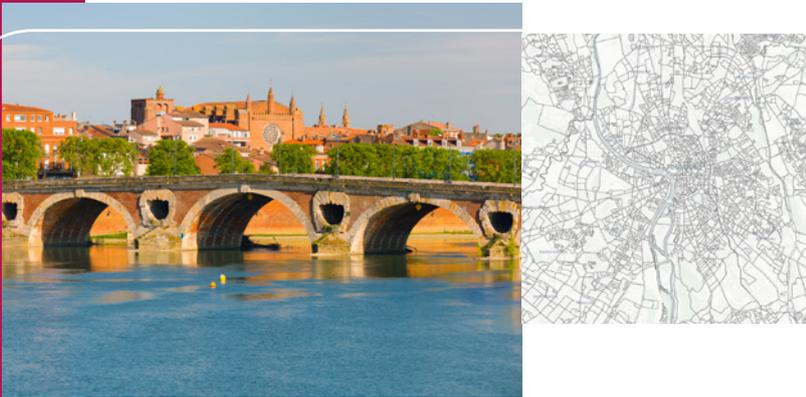
Précision technique

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 : la modélisation numérique du climat permet d'étudier un éventail large de situations météorologiques et facilite un accès large et homogène aux données de température de l'air, de stress thermique, de vent, etc.

La Base de Données Urbaines 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 potentielles voies d'accélération de celui-ci.

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.



2 – Méthodologie proposée. Application sur Toulouse ⁽⁷⁾.

Dans le cadre du programme MApUCE, une collaboration a été établie depuis 2015 entre l'équipe de chercheurs et les services de la Réglementation Urbaine et Environnement de Toulouse Métropole. L'objectif pour l'équipe de Toulouse Métropole était de développer au mieux la thématique « climat/énergie » du premier Plan Local d'Urbanisme Intercommunal de Toulouse Métropole en cours d'élaboration. L'objectif pour les chercheurs était d'enrichir et d'appliquer les méthodes développées dans le cadre du programme MApUCE sur un terrain d'étude pertinent du point de vue scientifique, institutionnel et des temporalités.

EXEMPLE

Le territoire de Toulouse Métropole est composé de 37 communes et compte environ 750000 habitants en 2017. Toulouse constitue une métropole attractive, ce qui 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 atteint 4°C en moyenne (*figure 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 (*figure 9*), pouvant atteindre une amplitude de 4°C, soit une valeur comparable à celle de l'ICU moyen à l'échelle de la ville.

7 – Sources : Hidalgo, J., Jougla, R. 2018 On the use of local weather types classification to improve climate understanding: An application on the urban climate of Toulouse PLoS ONE 1312p. E0208138

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

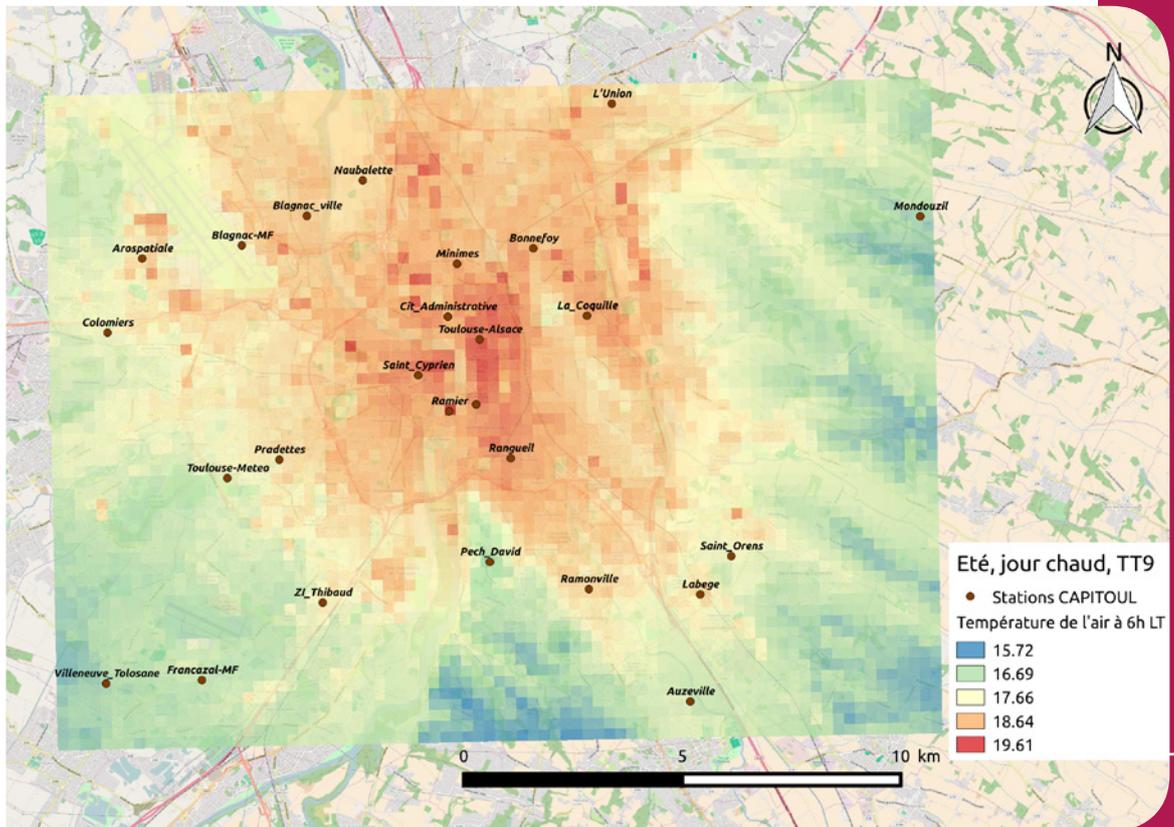
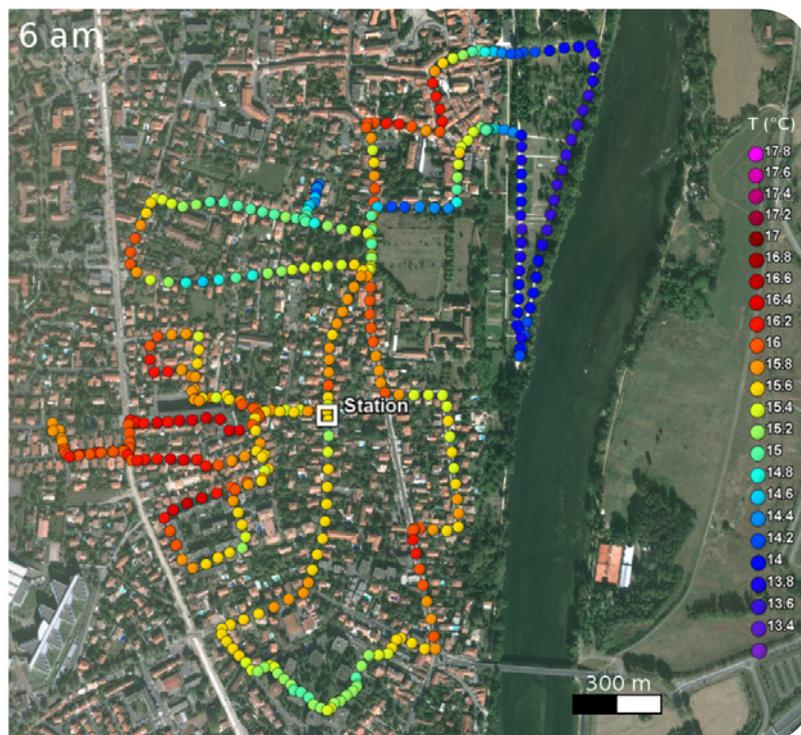


Figure 9: Température de l'air dans un quartier périurbain (Blagnac) à partir des relevés par vélo instrumenté
 Source: A. Lemonsu (CNRS/CNRM)



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 jours de forte stabilité atmosphérique et de forte insolation. Deux types de situations 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).

Même si cette approche est très intéressante car elle permet de ramener la description du climat local à des situations météorologiques spécifiques, ce nombre de situations est trop large pour être efficacement utilisé dans le cadre d'actions opérationnelles d'urbanisme. Il peut être néanmoins réduit si l'on se concentre sur les situations à enjeux qui sont en lien avec une problématique donnée. Pour Toulouse, il a été décidé avec le groupe de travail de la collectivité de se focaliser en premier lieu sur les types de temps suivants :

- Jour avec du vent d'Autan au printemps (TTS 2) → 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 (TTS 9) → 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 (Cluster 5) → 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 type de temps sensibles et par saison des données de simulation numérique a été effectuée pour plusieurs plages horaires.

Les îlots de chaleur urbain, la trame verte et bleue (TVB) et les zones A Urbaniser (AU)

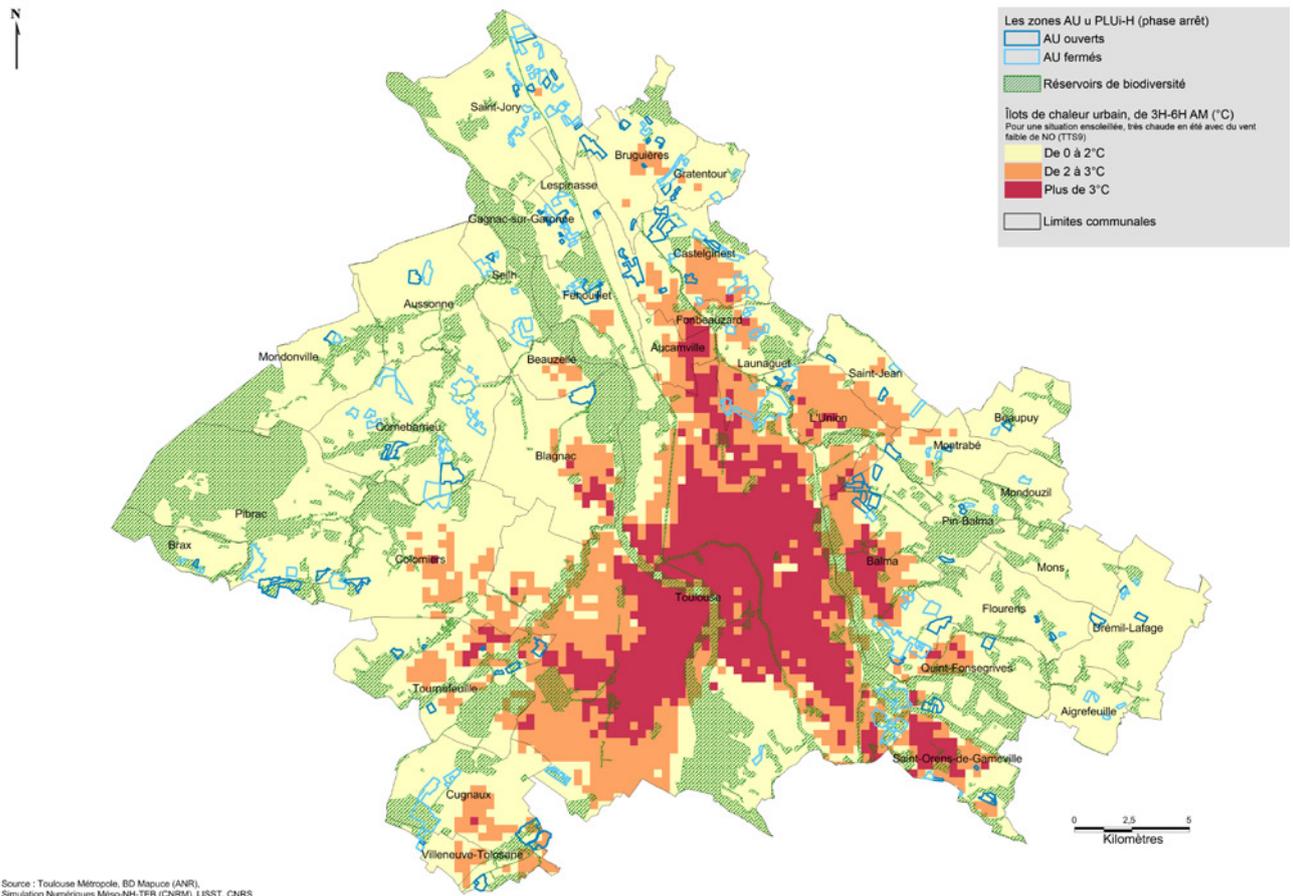


Figure 10 : Contribution nocturne de la surface urbanisée à l'îlot de chaleur urbain.
Source : N. Touati et A. Bayol (UT2J/LISST, Toulouse Métropole)

L'objectif est d'identifier des zones à enjeux de façon récurrente d'un point de vue thermique et aéraulique. Le travail s'est tout d'abord concentré sur la situation d'été car le stress thermique avait été identifié comme prioritaire. 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 (Saint Cyprien, Saint Michel, Minimes, Bonnefoy...).

**Indicateur de stress thermique, la trame verte et bleue (TVB),
les zones A Urbaniser (AU) et les parcs d'activités économiques**

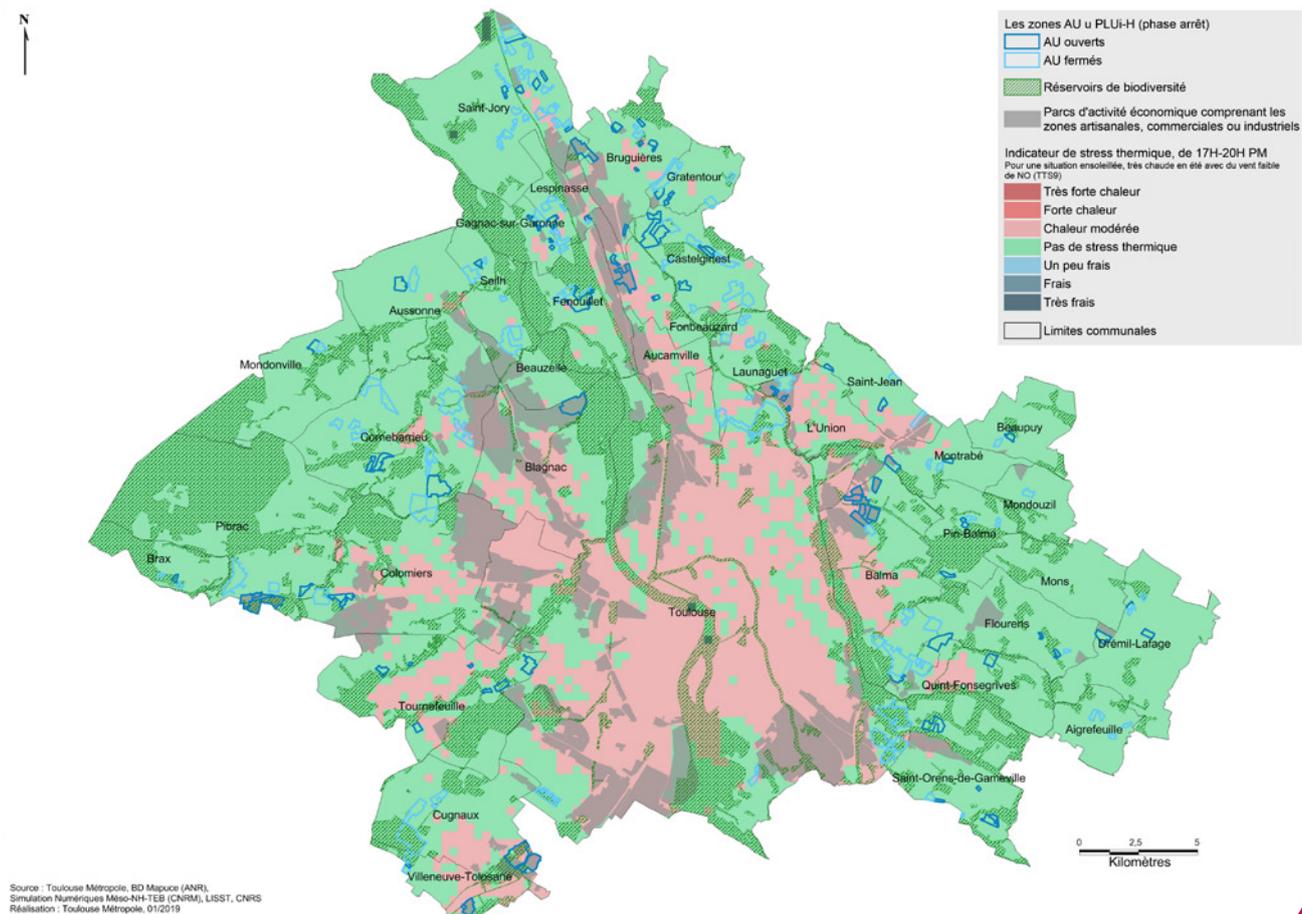


Figure 11 : Niveau de stress thermique diurne.
Source : N. Touati et A. Bayol (UT2J/LISST, Toulouse Métropole)

3 – Du diagnostic microclimatique au projet urbain, les cartes de recommandations

Le croisement de cartes d'analyse climatique (ICU nocturne, stress thermique diurne, vent) avec les éléments qui décrivent la surface urbaine comme par exemple la carte de LCZ et les éléments du projet urbain (TVB, zonage du PLU, OAP, ...) doit permettre d'alimenter le débat entre acteurs afin de co-construire une traduction réglementaire qui apporte des orientations et recommandations stratégiques.

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 des recommandations qui seront publiées sous la forme d'un guide pour la prise en compte des enjeux microclimatiques dans la planification urbaine de Toulouse Métropole.

EXEMPLE



– **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. En revanche 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 thermique 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 souterrains. Sur les places, l'ombrage, comme par exemple celui des arcades de la place du Capitole, peut améliorer le confort du piéton. 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, Saint Michel, Bonnefoy) présentent dans 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. L'attention doit être portée sur des logements traversants, qui favorisent la ventilation naturelle. L'orientation des rues doit tenir compte du confort d'hiver du confort d'été, de l'ensoleillement des façades et des chaussées. La configuration en îlot de ces faubourgs présente 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, voire 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** : Contrairement à ce que l'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 en revanche un rôle important dans la régulation thermique 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 alentour. Dans les communes de première couronne, elles sont plus fraîches de seulement 0.5 degrés que les zones bâties alentour.

- **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.

Le rôle de régulateur thermique s'explique davantage 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 dominants dans la région sont 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.

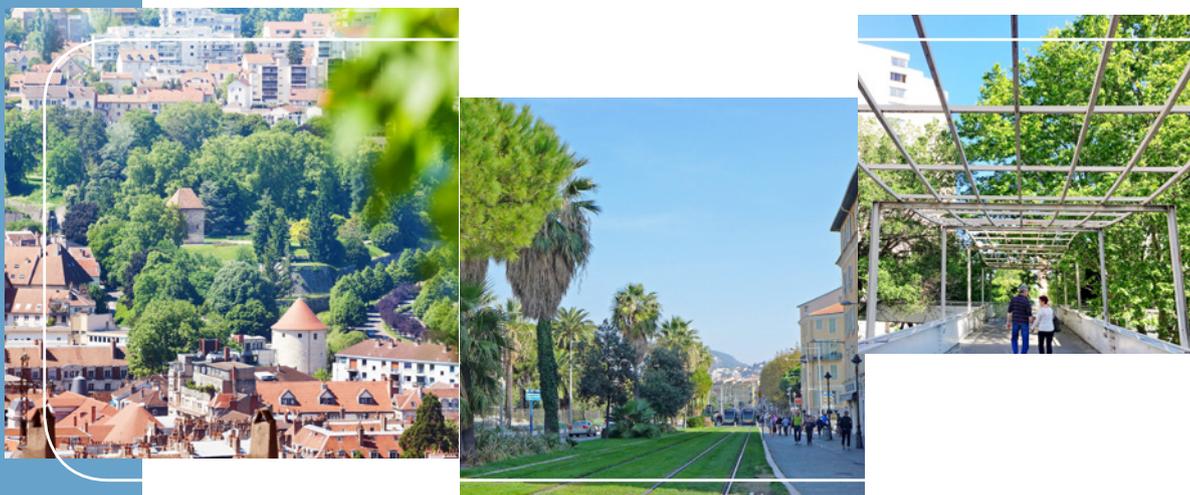
- **ZONES EN HAUTEUR AVEC VÉGÉTATION** : la nuit, la topographie peut jouer un rôle important dans la création de brises de pente (air frais et propre qui descend des collines). Ce mécanisme est efficace tant que la présence de végétation est effective en hauteur pour assurer une différence de température suffisante pour 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 le diagnostic afin de spécifier les leviers à mobiliser et les actions à envisager pour chaque zone.

III. Intégration de ces outils dans les documents d'urbanisme :

LEVIERS D' ACTIONS MOBILISABLES POUR AGIR SUR LE MICROCLIMAT URBAIN



Les données issues des outils de modélisation fournis par le programme MApUCE, peuvent être intégrés dans les **outils de planification urbaine**. Ces derniers peuvent alors agir sur certaines thématiques comme la **végétalisation des espaces urbains**, la **présence de l'eau** comme facteur de rafraîchissement, l'**albedo 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.

Précision technique

L'albedo est le pouvoir de réflectivité des matériaux, qui leur permet de renvoyer le rayonnement solaire ou au contraire de l'absorber. Il est compris entre 0 et 1. Un albedo fort correspond généralement à des couleurs claires (blanc, beige) et un albedo faible à des couleurs sombres (noir, gris foncé).

Un matériau avec un albedo faible influe sur le microclimat urbain en absorbant le rayonnement dans la journée, et en le restituant la nuit, en aggravant l'ICU. Le bitume a par exemple un albedo de 0.08, alors qu'il est environ de 0.30 pour les murs clairs.

Ces fiches méthodologiques sont en ligne en libre accès.

Traduction des objectifs climat/énergie dans le PLU et le SCOT- Fiches méthodologiques et retours d'expériences :

- Fiche-outil **Le SCOT** : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354275v1>
- Fiche-outil **Le PLU(i) - Rapport de présentation et PADD** : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354282v1>
- Fiche-outil **Le PLU(i) - Règlement** : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354285v1>
- Fiche-outil **Le PLU(i) - OAP** : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354288v1>
- Fiche exemple **Retour d'expérience : Agen** : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354293v1>

Précision technique

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, le rapport de compatibilité établi entre l'article L101-2 du Code de l'urbanisme et les documents d'urbanisme implique que les rapports de présentation doivent rechercher si le territoire peut être impacté par des ICU. Les auteurs du document doivent également justifier les choix d'urbanisme à l'aune de ce diagnostic et ne peuvent donc ignorer totalement la prévention du stress thermique dans le règlement.

Certaines thématiques peuvent être mobilisées pour améliorer le microclimat urbain de quartiers existants (A) et d'autres seront plus facilement abordées lors de la conception ou la rénovation de quartiers en devenir ou faisant l'objet d'opérations de densification (B). 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. L'intégration de telles prescriptions dans des espaces déjà densément construits pourrait difficilement être mise en œuvre, sauf à mobiliser des outils plus lourds, qu'ils soient juridiques (expropriation, préemption) ou techniques (démolition-reconstruction). On notera cependant que, au-delà de nos frontières, la ville de Hong-Kong met aujourd'hui en œuvre de telles techniques pour améliorer la ventilation naturelle de quartiers en forte surchauffe, en modifiant des pieds d'immeubles pour créer des ouvertures permettant la circulation de l'air au niveau des chaussées.

A – Outils mobilisables sur de l'urbanisme dense existant afin de lutter contre les ICU

La désimperméabilisation des sols, l'intégration d'espaces végétalisés (1), de l'eau (2) ou l'obligation d'utiliser des matériaux ou des enduits de façade à fort albedo pour les immeubles (3) 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.

1 - 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⁽⁸⁾, soit pour transposer à l'échelon intercommunal ou communal les trames vertes identifiées par les schémas régionaux, ou encore pour assurer la compatibilité des documents locaux avec les chartes de parcs naturels. Ces leviers peuvent donc être doublement mobilisés pour lutter contre la formation des îlots de chaleur dans les espaces urbains.

Précision technique

Les Trames Vertes et Bleues (TVB) sont identifiées par les Schémas Régionaux de Cohérence Ecologiques (SRCE) ayant vocation à s'intégrer aux Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET) depuis la loi ELAN de 2018. Ce schéma s'impose aux documents d'urbanisme locaux selon un rapport de compatibilité limitée.

Pour sa part, 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, « le schéma peut fixer les objectifs des politiques publiques [...] de qualité paysagère, de protection et de mise en valeur des espaces naturels, agricoles et forestiers, de préservation et de mise en valeur des ressources naturelles, [...] de préservation et de remise en bon état des continuités écologiques ». A ce titre, le DOO, qui est seul opposable au PLU⁽⁹⁾, 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⁽¹⁰⁾.

EXEMPLE



- SCoT de l'agglomération lyonnaise (évaluation environnementale, DOG)
- SCoT de la région urbaine grenobloise (Diagnostic territorial, état initial de l'environnement, PADD, DOO)
- PADD du SCoT région mulhousienne
- DOO SCoT du Pays de Lorient

C'est notamment sur le fondement du maintien ou de l'amélioration de la biodiversité qu'il est possible de prescrire aux documents d'urbanisme la mise en œuvre de politiques de végétalisation des espaces urbains, comme par exemple 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.

A l'échelon communal et intercommunal, orienter la végétalisation des espaces urbains afin de lutter contre la formation des ICU est utile dès l'élaboration du **PADD du PLU**.

En effet, le PADD doit définir « les orientations générales des politiques [...] de paysage, de protection des espaces naturels, agricoles et forestiers, et de préservation ou de remise en bon état des continuités écologiques »⁽¹¹⁾; il est donc tout à fait légitime à traiter de la végétalisation urbaine.

En outre, les dispositions du PADD permettent de justifier l'intégration d'éléments plus prescriptifs dans le règlement du plan. Une première référence à l'effet bénéfique de la végétation sur la prévention des ICU constitue en ce sens, une étape profitable. Le PADD peut alors définir une stratégie de végétalisation de diverses manières, 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 les plus adaptées au climat (palette végétale) par le biais, par exemple, d'une charte de végétalisation.

EXEMPLE



- PLU de Grenoble (évaluation environnementale intégrée au rapport de présentation et PADD)
- PLUi de l'agglomération d'Agen (PADD)

Traduction opérationnelle du PADD, des **OAP** peuvent également « définir les actions et opérations nécessaires pour mettre en valeur l'environnement, notamment les continuités écologiques ». Elles peuvent constituer, soit des orientations propres à un secteur particulier (OAP sectorielle), soit des orientations générales thématiques applicables à tout le territoire (OAP thématique)⁽¹²⁾.

Une OAP thématique étendue à l'ensemble du territoire peut ainsi 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) et encourager la végétalisation des façades.

9 – Article L142-1 du Code de l'urbanisme

10 – Article L141-10 du Code de l'urbanisme

11 – Article L 151-5 du Code de l'urbanisme

12 – Article L151-7-1° du Code de l'urbanisme

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...), en définissant le cas échéant dans ces espaces l'objectif d'améliorer la situation initiale en termes de couverture arborée et de biodiversité. 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 (à ne pas minéraliser) ou encore prendre en compte l'ensemble de ces éléments dans l'implantation indicative du bâti, ainsi que dans l'appropriation des rez-de-chaussée (jardins collectifs, jardins privés...).

Les OAP peuvent également faire figurer un coefficient de biotope par surface, qui devra être néanmoins précisé par le règlement.

- PLU de la Communauté urbaine du Grand Lyon (OAP)
- PLUi de l'agglomération d'Agen (OAP)
- PLU de Grenoble (OAP)
- PLUi de Lille Métropole (OAP)

Le code de l'urbanisme donne compétence au **règlement du PLU** pour 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. Cependant 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, lequel peut donc justifier l'intégration de mesures supplémentaires en faveur de la végétalisation.

Précision technique

Depuis la réforme du PLU de 2015, les règles de constructibilité dans les zones urbaines 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 de nature à permettre de végétaliser les pieds d'immeubles et l'espace public (*ancien article 6*). Il peut également limiter l'emprise au sol des constructions en laissant ainsi davantage de place à la pleine terre et la végétation. Il peut permettre de privilégier la constructibilité de la bande la plus proche des voiries et des emprises publiques ou encore limiter la constructibilité des fonds de terrain, ce qui a pour effet de maintenir des espaces libres et végétalisés dans la partie arrière des parcelles, et assurer la présence de cœurs d'îlots végétalisés au sein de zones minéralisées.

Voir l'exemple du travail réalisé sur Aix-en-Provence par les étudiants du Master VMUD (ressource page 44)

Le règlement peut également permettre la création de toitures et de façades végétalisées par le biais des règles relatives à l'aspect extérieur des bâtiments (*ancien article 11*).

En outre, cette partie du règlement relative aux caractéristiques des constructions et de leur environnement peut fixer un coefficient d'imperméabilisation maximum autorisé après aménagement (portant notamment sur les places de stationnement) et prévoir la plantation d'arbres d'un certain type sur les espaces non bâtis et les stationnements (*ancien article 13*).

Le règlement peut enfin faire référence à des annexes référençant une palette végétale d'espèces adaptées aux changements climatiques, dont l'évapotranspiration est idéale en période de canicule, et aux feuilles caduques permettant de conserver un ensoleillement hivernal.

Outre ces règles de construction générales, le règlement peut identifier les espaces boisés classés au sein des secteurs urbanisés et ainsi limiter le défrichage ou le changement de destination de ces bois, voire constituer des réserves foncières dans les périmètres concernés par les îlots de chaleur urbains pour y créer des boisements ou plantations.

Précision technique

Selon l'article L113-1 du code de l'urbanisme, « les plans locaux d'urbanisme peuvent classer comme espaces boisés, les bois, forêts, parcs à conserver, à protéger ou à créer, qu'ils relèvent ou non du régime forestier, enclos ou non, appartenant ou non à des habitations. Ce classement peut s'appliquer également à des arbres isolés, des haies ou réseaux de haies ou des plantations d'alignements ». L'article R. 151-31 du même code précise par ailleurs : « dans les zones U, AU, A et N, les documents graphiques du règlement font apparaître, s'il y a lieu (...) Les espaces boisés classés définis à l'article L. 113-1 ».

Le PLU peut également, 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 »⁽¹³⁾. Ce pourcentage vise à créer un équilibre entre une surface végétalisée ou naturelle, et une surface urbanisée ou à construire. 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. Il est en outre très flexible et peut être adapté à des espaces construits, soit en imposant des espaces de pleine terre, soit des équivalences en couvertures végétales de toiture ou de façade, ou encore également préconiser un type de plantation particulier en fonction de ses effets sur le climat local.

Précision technique

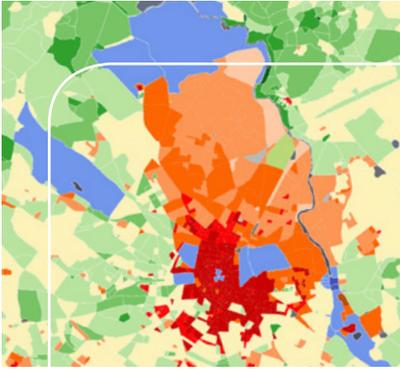
Le règlement du PLU « précise les types d'espaces, construits ou non, qui peuvent entrer dans le décompte de cette surface minimale en leur affectant un coefficient qui en exprime la valeur pour l'écosystème par référence à celle d'un espace équivalent de pleine terre ». Il peut également « imposer des obligations en matière [...] de plantations » (article R151-43 du Code de l'Urbanisme). Le coefficient de biotope donne des équivalences pondérées par rapport à la végétalisation de la pleine terre, aux différentes formes que prennent la perméabilisation des sols ou la végétalisation des espaces urbains. Il peut être adapté à chaque type de zones, aux différents types de travaux (réhabilitation ou constructions neuves). Il peut varier selon la destination des constructions (exemple : 0,30 pour les logements, 0,60 pour les équipements publics...) ou en fonction des espaces verts déjà présents dans le quartier (le taux sera d'autant plus important que le quartier est pauvre en espaces verts).

Enfin, le règlement du PLU peut préserver les zones végétalisées si elles participent au maintien des **continuités écologiques**. Il peut « identifier et localiser les éléments de paysage et délimiter les sites et secteurs à protéger pour des motifs d'ordre écologique, notamment pour la préservation, le maintien ou la remise en état des continuités écologiques et définir, le cas échéant, les prescriptions de nature à assurer leur préservation. [...] Il peut localiser, dans les zones urbaines, les terrains cultivés et les espaces non bâtis nécessaires au maintien des continuités écologiques à protéger et inconstructibles quels que soient les équipements qui, le cas échéant, les desservent »⁽¹⁴⁾.

- PLU de Grenoble (règlement)
- PLUi de l'agglomération d'Agen (règlement)
- PLU de la Communauté urbaine du Grand Lyon (règlement)
- PLU de Paris (règlement)
- PLU de Montreuil (règlement)

13 – Article L151-22 du Code de l'urbanisme

14 – Article L151-23 du Code de l'urbanisme



2 - Eaux de surface

Effet de rafraîchissement et de gestion des risques de ruissellement

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 présentent a fortiori un triple intérêt : rafraîchir la zone en limitant les îlots de chaleur urbains, retarder ou éviter l'engorgement des réseaux de collecte et des stations d'épuration en période de fortes précipitations. Par ailleurs la préservation des cours d'eau en milieu urbain peut participer à la fonctionnalité des trames bleues et préserver la biodiversité.

La présence de l'eau en ville est susceptible d'être traitée dans le **SCoT**, soit en la considérant comme un élément de l'environnement, une ressource naturelle ou une composante des trames bleues. Trois éléments que doit aborder le schéma et pour lesquels ces schémas ont donc l'opportunité de prescrire des orientations à destination des politiques d'urbanisme locales.

Cette thématique peut être abordée dans les **SCoT**, notamment par le prisme de la gestion des eaux pluviales. Le **SCoT** peut préconiser de renforcer la présence en surface de l'eau dans la ville. Il peut aussi, à destination des **PLU**, préconiser de 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.

- SCoT de la région urbaine grenobloise (évaluation environnementale, PADD et DOO)
- SCoT de l'agglomération lyonnaise (évaluation environnementale, DOG)
- SCoT du pays de l'Agenais (PADD, DOO)
- DOO du SCoT de la région mulhousienne

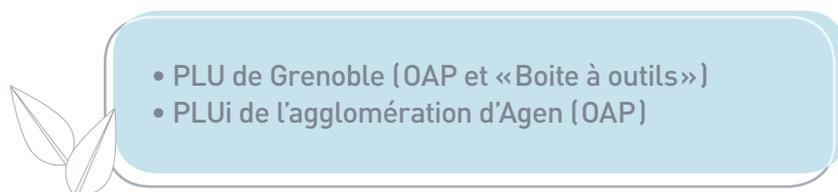
A l'échelon du **PLU(i)**, la réflexion sur les eaux de surface se fait d'abord par la préservation des zones identifiées comme des trames bleues par les schémas qui sont hiérarchiquement supérieurs au plan local (SRCE). Le **PADD** peut également préciser les orientations en faveur d'une meilleure gestion de l'eau du fait de sa fonction de rafraîchissement (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...).

- PLU de Grenoble (évaluation environnementale intégrée au rapport de présentation, PADD)
- PLUi de l'agglomération d'Agen (PADD)

A l'échelon opérationnel, les **OAP** pourront ainsi reprendre ces deux facettes relatives à la gestion de l'eau et du milieu aquatique 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. Ainsi elles pourront directement définir les actions et opérations susceptibles de mettre en valeur les continuités écologiques que constituent les trames bleues urbaines, comme le permet l'article L151-7 1° du Code de l'urbanisme, ou adopter une forme plus souple et incitative, sous la forme d'orientations générales à destination des aménageurs afin de les diriger vers des solutions en faveur de l'infiltration des eaux pluviales (le cas échéant en lien avec les règlements d'assainissement), le développement d'îlots en pleine terre permettant une imprégnation et/ou un stockage de l'eau ou ralentissant le ruissellement par le biais de toitures ou terrasses végétalisées, si le climat local le permet.

L'élaboration d'une OAP de secteur peut donner l'occasion de définir des objectifs plus précis notamment d'un point de vue quantitatif (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⁽¹⁵⁾. Cette facette du règlement du PLU(i) pourrait être mobilisée pour prescrire des installations ou modalités techniques de gestion des eaux pluviales et du ruissellement, des clôtures entre parcelles permettant l'écoulement des eaux et la préservation de la continuité des trames vertes et bleues, ou pour imposer une part de sol non imperméabilisé sur les parcelles construites.

Combinée avec les règles relatives à la desserte des constructions par les réseaux notamment en matière de voirie, d'assainissement d'écoulement et d'imperméabilisation⁽¹⁶⁾, les normes environnementales et architecturales peuvent donc prescrire des techniques de gestion des eaux pluviales alternatives au « tout tuyau » comme l'infiltration, en favorisant des noues ou fossés qui retiennent l'eau un certain temps ou encore le stockage et la récupération de l'eau notamment pour l'arrosage et partant, s'assurer une présence plus importante de l'eau de surface dans les espaces urbains.



15- Article R151-43 du Code de l'urbanisme

16- Articles R151-49 et suivants du Code de l'urbanisme

3 – Albedo des matériaux urbains

Effet sur le stockage de la chaleur

L'accumulation de chaleur par les matériaux urbains à faible albedo, 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 albedo 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'albedo des bâtiments. Son échelle territoriale trop large et son contenu plus général que celui des PLU ne lui donnent pas vocation à traiter d'une question aussi précise et aussi sensible aux particularités locales de morphologie et d'esthétique urbaine que la forme des constructions. Pourtant, même si la plupart des SCoT se limite à inviter les collectivités locales à réfléchir à cette question dans le cadre de leurs PLU, certains rédacteurs de SCoT plus récents mettent 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'albedo peu élevé (matériaux sombres) capte la chaleur. Ils proposent ainsi une limitation des espaces de voirie dans les zones sujettes aux ICU et l'utilisation de matériaux plus clairs pour ces aménagements.

- SCoT du Grand Albigeois (Rapport de présentation, PADD)
- SCoT de la région urbaine grenobloise (PADD et DOO)
- DOO du SCoT de la région mulhousienne

Ce sera toutefois la vocation du PLU d'envisager la transposition effective de ces orientations, et de réguler l'aspect esthétique et 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. Concernant notamment les espaces bitumés dédiés à la circulation automobile, en lien avec les mesures préconisées dans le PDU (Plan de déplacements urbains), les orientations peuvent établir des objectifs généraux ou sectoriels visant à contingenter les espaces bitumés à faible albedo (voiries et parkings) : optimiser chaque voirie afin de limiter la surface dédiée à la circulation, mutualiser les aires de stationnement pour limiter leur emprise (notamment entre des équipements publics et ceux des commerces), inscrire des emplacements réservés au co-voiturage, à l'auto-partage ou à des parkings relais, afin de favoriser des usages alternatifs de la voiture et ainsi limiter les espaces bitumés à faible albedo.

Le règlement de son côté peut influencer sur les matériaux ayant un effet sur les ICU par le levier de la qualité architecturale et environnementale des constructions, dont l'objectif initial est de définir des normes esthétiques en lien avec les particularités de l'architecture locale. La prévention des ICU peut donc, totalement ou en partie, justifier une réglementation des matériaux et de la couleur de l'enduit des façades des constructions. A ce titre le règlement peut prescrire une palette de couleurs claires pour les façades des constructions, limiter les matériaux sombres, brillants ou réfléchissants.

- PLUi de l'agglomération d'Agen (règlement)

L'eau, la végétalisation et l'albedo 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. Mais 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'albedo, de nouvelles thématiques d'action, portant sur la forme et la structuration urbaine, peuvent s'ajouter aux pistes évoquées ci-dessus.

A – Leviers mobilisables dans des zones à urbaniser et/ou lors d'opérations de densification

Dans les zones à urbaniser, ou en renouvellement urbain, un travail plus conséquent peut être mené sur les nouveaux bâtiments ou quartiers (performances renforcées) (1) ainsi que sur la forme urbaine. Cette dernière renvoie à un grand nombre de paramètres : densité des constructions, compacité et hauteur des bâtiments, largeur des rues, dimensions des cœurs d'îlots ou des espaces interstitiels, orientation des 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 d'organiser *ab initio* la morphologie d'un espace à urbaniser, il peut et doit se saisir des leviers permettant de prévenir la formation d'îlots de chaleur en adaptant aux particularités du microclimat de la zone, les futurs espaces urbains afin d'optimiser les effets positifs des caractéristiques environnementales locales et limiter les impacts négatifs des futures constructions.

Le premier levier consiste à modéliser et favoriser la ventilation des espaces urbains afin de permettre un rafraîchissement des espaces construits l'été (ventilation des bâtiments et chaussées) sans pour autant créer ou aggraver les effets Venturi et effets canyon l'hiver (2). 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 ou des toitures en cas d'installations photovoltaïques (3). Ainsi, les dispositions relatives à la ventilation à l'échelle d'un quartier ne sont pas à traiter individuellement mais doivent se combiner avec l'ombre portée des bâtiments et les mesures en matière de végétalisation.

1 - Performances environnementales renforcées

Le règlement du PLU(i) dispose d'une faculté générale « de définir des secteurs dans lesquels il impose aux constructions, travaux, installations et aménagements de respecter des performances énergétiques et environnementales renforcées »⁽¹⁷⁾. A ce titre, les prescriptions peuvent concerner autant l'atténuation que l'adaptation au changement climatique. Par exemple, peuvent être visées la performance énergétique des bâtiments, la production d'énergie renouvelable, mais également la gestion des eaux pluviales, la végétalisation des espaces et des bâtiments.

Art. 15 du PLUi d'Agen (zone AUBe, zones à urbaniser) :

« Performances énergétiques renforcées des constructions :

Dans les zones 1AUBe et 1AUCe, une partie du programme de construction prévu dans les opérations d'ensemble (ZACs, lotissements, ensembles de bâtiments) doit répondre à un niveau de performances énergétiques supérieur à la norme réglementaire RT2012. Le niveau de performances à atteindre pour la ou les constructions concernées est une consommation énergétique réduite de 20 % par rapport à la consommation énergétique de référence de la RT2012. Le respect par la ou les constructions concernées du niveau de performance énergétique attendu sera justifié par l'établissement d'une attestation ou d'une certification ». (p.136-137)

17 – Article L 151-21 du Code de l'urbanisme

Art. 14 PLU de Grenoble (zone UM-B) 1 :

« Les constructions soumises à la Réglementation Thermique 2012 (RT2012) devront respecter les exigences suivantes :

- une consommation maximale en énergie primaire annuelle/m² (Cep), liée aux 5 usages suivants : chauffage, climatisation si besoin, eau chaude sanitaire, et auxiliaires (pompes à chaleur et ventilateurs) inférieure de 20% à celle exigée par la RT2012 pour tous les types de bâtiments et de 48 kWhep/m²/an pour les logements collectifs ;

- un besoin climatique (Bbio) du bâtiment inférieur de 20% à l'exigence de la RT2012 ;

- une étanchéité à l'air renforcée avec un débit de fuite des logements collectifs de valeur inférieure à 0,8 m³/h.m², si la mesure est réalisée par échantillonnage ;

- une évaluation des autres consommations énergétiques (autres que pour les cinq usages réglementaires) des parties communes, exclues du calcul de la RT (ascenseurs, ventilation parking...).

Les projets participeront par leur architecture à la mise en oeuvre des objectifs de haute qualité environnementale : orientation des façades et des surfaces extérieures, dimensions et performance thermique des ouvertures et occultations, isolation par l'extérieur, capteurs solaire, etc. » (p.128)

2 - 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 s'opérer en fonction 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 certaines villes ou 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, sauf si une végétalisation des espaces de recul est par exemple prévue. De même les prescriptions relatives à la hauteur maximale des constructions peuvent accentuer la ventilation des rues (effet canyon ou Venturi) et l'ombre portée.

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.

Cependant, le DOO du SCoT pourrait se fonder sur sa fonction d'établir des « conditions d'un développement urbain maîtrisé et les principes de restructuration des espaces urbanisés [...] et de prévention des risques »⁽¹⁸⁾ pour traiter, au moins indirectement, de la prévention des ICU et de leurs effets sanitaires en portant l'attention sur le 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 fortiori* au sein de leur DOO.

- DOO du SCoT de la région urbaine grenobloise , DOO SCoT du Grand Albigeois

A une échelle géographique plus fine, le **PLU** qui peut tenir compte des spécificités topographiques, d'ensoleillement et de vent du territoire, peut ainsi 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 indiquer des objectifs de prévention des ICU, développer une réflexion sur le rafraîchissement naturel et la ventilation des quartiers urbains et des espaces publics afin de transposer d'éventuels objectifs mentionnés dans le SCOT ou traduire directement les objectifs d'adaptation au changement climatique, de prévention des risques naturels ou de maîtrise de l'énergie mentionnés à l'article L.101-2 du code de l'urbanisme.



- **PLU de Grenoble (évaluation environnementale intégrée au rapport de présentation)**
- **PLUi de l'agglomération d'Agen (PADD)**

Par suite, 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, les règles assurant le maintien de couloirs de ventilation adaptés aux caractéristiques locales. Ces prescriptions peuvent être 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 bâtiments, 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.

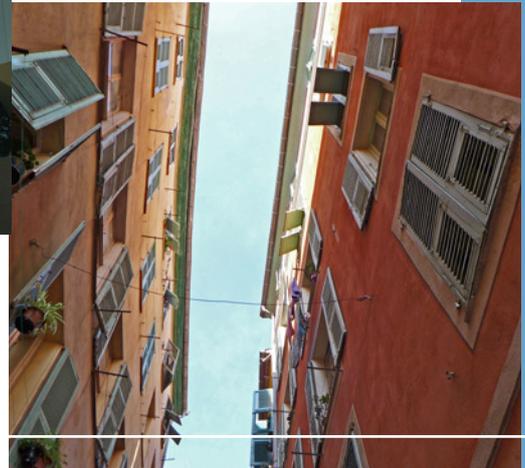
- **PLU de Grenoble (Boîte à outil et OAP)**
- **PLUi de l'agglomération d'Agen (OAP)**

Le **règlement** sera lui à privilégier au titre de ses prescriptions en matière architecturale et environnementale mais également s'agissant de celles portant sur les réseaux et la voirie afin 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'aménagements les plus adéquats en termes d'adaptation au climat local et au changement climatique.



- **PLUi de l'agglomération d'Agen (règlement)**
- **PLU de la Communauté urbaine du Grand Lyon (règlement)**



3 - Hauteur, distance et orientation des bâtiments : impacts sur l'ombre portée et ensoleillement

Comme en matière de ventilation, il est envisageable que le **SCoT** porte une réflexion sur l'ensoleillement et l'ombre portée des bâtiments, en définissant les conditions d'une urbanisation maîtrisée et de compacité des espaces à urbaniser. Cependant, ici encore, la nature faiblement prescriptive et l'échelle territoriale du schéma ne semblent pas adéquates pour traiter de cette question. Le **PLU** semble le document le plus approprié.

La question de l'ensoleillement et de l'ombre portée peut être abordée par les différents éléments du PLU. Au stade du **PADD**, une première orientation vers l'optimisation de l'ombre portée des bâtiments afin de réduire la surchauffe des voiries et la formation d'îlots de chaleurs peut être énoncée, tout en rappelant la nécessité de concilier ce confort d'été avec le maintien de l'ensoleillement des façades en hiver. Mentionner la prise en compte de l'ensoleillement dans les nouveaux projets de construction apparaît en tous les cas comme une solution *a minima*.

- PLU de Grenoble (évaluation environnementale intégrée au rapport de présentation)
- PLUi de l'agglomération d'Agen (PADD)

Une solution qui peut être développée, notamment dans les **OAP**, sans que cela n'affecte la question de l'ensoleillement durant les mois les plus froids, consiste à prévoir une orientation des bâtiments avec des façades exposées au sud (approche bioclimatique) et privilégiant l'ombre portée de ces derniers sur les parkings et les voiries, puisque ces espaces sont très minéralisés, ont un albedo faible et/ou n'ont pas de végétation.

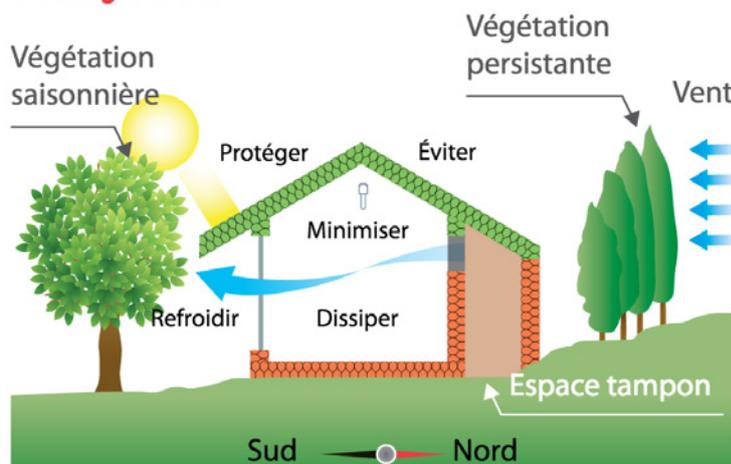
- PLUi de l'agglomération d'Agen (OAP)
- PLU de Grenoble (OAP et «Boîte à outils»)

L'approche bioclimatique

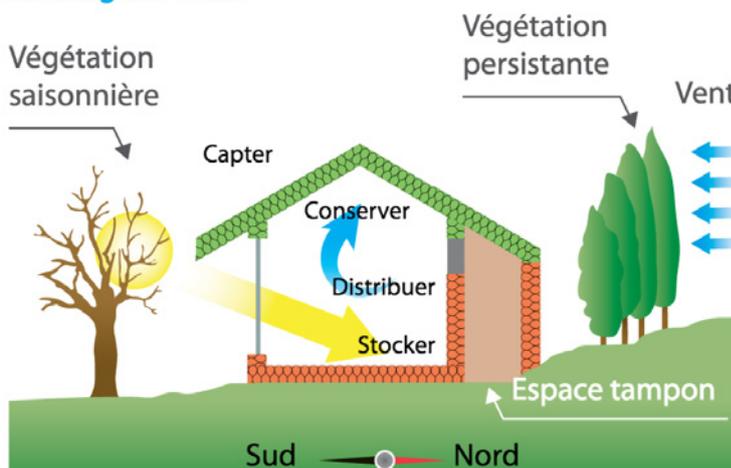
Effets combinés de l'orientation des bâtiments et de la végétation

La conception bioclimatique consiste à prendre en compte les caractéristiques du lieu d'implantation afin d'anticiper les aléas du climat tout en profitant de ses bienfaits. L'objectif est d'obtenir un confort d'ambiance de manière naturelle.

Stratégie d'été



Stratégie d'hiver

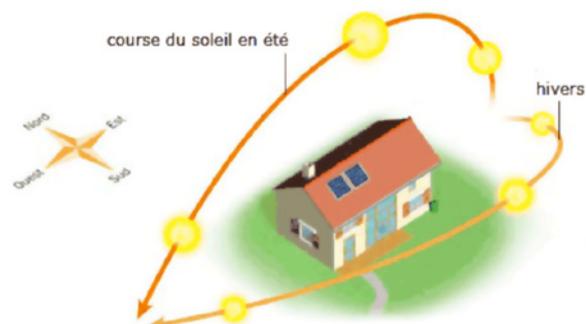


En hiver, la contribution solaire peut être captée grâce aux parois vitrées installées au sud.

En été, les apports de chaleur du soleil seront minimisés notamment par l'ombrage de la végétation.

Source : www.bretagne-energie.fr

L'orientation des rues Est-ouest, permettant de valoriser les façades sud des bâtiments pour l'apport solaire passif d'hiver, doit être pensée selon l'ambiance thermique des espaces en prenant en compte la course du soleil en hiver et en été.



Source : ADEME

Les prescriptions relatives aux caractéristiques architecturales constituent le levier essentiel du **règlement du PLU** en matière d'ensoleillement, car elles contiennent notamment les dispositions relatives à la hauteur maximale des constructions. Là encore la difficulté réside ici dans l'établissement du choix le plus cohérent en fonction des caractéristiques et de la sensibilité du territoire et des populations en modulant notamment la distance entre les bâtiments et la hauteur des constructions et ainsi 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.

Ainsi constate-t-on que dans la plupart des villes anciennes méditerranéennes ou du sud de la France (exemple d'Aix-en-Provence), ou des médinas nord-africaines, les rues sont étroites par rapport à la hauteur relativement importante des bâtiments, ce qui semble conserver des îlots de fraîcheur estivale.



• PLUi de l'agglomération d'Agen (règlement)

Conclusion

Les chercheurs en sciences du climat, en urbanisme, architecture et droit affinent donc progressivement les outils techniques qui permettent aux acteurs des collectivités territoriales d'améliorer pour l'avenir l'adaptation de leurs territoires au changement climatique, et en particulier au réchauffement urbain. Cette adaptation doit aujourd'hui être menée de pair avec l'indispensable atténuation du changement climatique, liée à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Or la plupart des mesures préconisées dans ce guide (végétalisation des espaces urbains, amélioration des performances énergétiques des bâtiments, modélisation des micro-climats pour améliorer à la fois le confort d'été et d'hiver), peuvent être considérées comme des mesures « sans regrets » ou « gagnant-gagnant ». Elles ont en effet pour conséquences cumulées de diminuer le stress thermique, de limiter les consommations énergétiques liées au chauffage ou à la climatisation, de renforcer le stockage naturel du CO₂, d'améliorer la qualité de vie, de favoriser la santé physique et psychique des habitants des villes denses, voire de créer des emplois locaux, durables et non délocalisables.

Il appartient désormais aux techniciens des agglomérations de se saisir des expériences déjà réalisées par des villes pionnières en la matière, lesquelles ont démontré que ces mesures pouvaient devenir opérationnelles rapidement.

Cet effort nécessaire reste bien entendu tributaire d'un portage politique fort et sincère, qui s'attache à refléter localement les attentes exprimées par les citoyens en général, et les habitants des villes denses en particulier.



■ **FICHES MApUCE** - Traduction des objectifs climat/énergie dans le PLU et le SCOT :
fiches méthodologiques et retours d'expériences :

- Fiche exemple : Agen > <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354293v1>
- Fiche-outil : Le SCOT > <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354275v1>
- Fiches-outils : Le PLU(i) - Rapport de présentation et PADD > <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354282v1>
- Le PLU(i) Règlement > <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354285v1>
- Le PLU(i) OAP > <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01354288v1>

■ **PRÉSENTATIONS du colloque** de fin de programme : <https://www.umr-cnrm.fr/ville.climat/spip.php?rubrique178>



Crédits

Rédacteurs des recommandations

Marie-Laure Lambert, Enseignante-chercheuse en droit de l'environnement et de l'urbanisme, LIEU (Laboratoire Interdisciplinaire Environnement et Urbanisme), EA889, Aix-Marseille Université.

Julia Hidalgo, Chargée de recherches en climat urbain et politiques urbaines, LISST (Laboratoire Interdisciplinaire Solidarité, Sociétés, Territoires), CNRS - Université Toulouse Jean Jaurès.

Valéry Masson, chercheur en climat urbain, coordinateur du projet MApUCE, CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques).

Geneviève Bretagne, responsable Transition écologique, agence d'urbanisme et d'aménagement Toulouse aire métropolitaine (aia/T).

Sinda Haouès-Jouve, Enseignante-chercheuse en urbanisme et aménagement, LISST (Laboratoire Interdisciplinaire Solidarité, Sociétés, Territoires), CNRS - Université Toulouse Jean Jaurès.

Chercheurs ayant produit les résultats du programme MApUCE

Nathalie Long, Chargée de recherche CNRS en géographie, UMR LIENSs (Littoral, Environnement, Sociétés, CNRS) La Rochelle Université.

Didier Vye, Enseignant-chercheur en géographie, UMR LIENSs (Littoral, Environnement, Sociétés) CNRS - La Rochelle Université.

Robert Schoetter, chargé de recherches en climat urbain, CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques).

Erwan Bocher, Ingénieur de recherche en Sciences de l'information géographique, Lab-STICC (Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance) CNRS, UMR6285.

Gwendal Petit, Ingénieur d'étude en Sciences de l'information géographique, Lab-STICC (Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance) CNRS, UMR6285 Université Bretagne Sud.

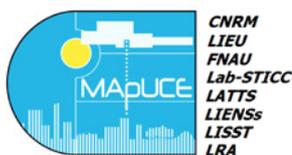
Sylvain Palominos, Ingénieur d'étude en ingénierie logicielle, Lab-STICC (Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance) CNRS, UMR6285.

Emile Goze, docteur en droit, LIEU (Laboratoire Interdisciplinaire Environnement et Urbanisme) EA889, Aix-Marseille Université.

Najla Touati, Ingénieure d'étude en Géomatique, LISST (Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires) - UMR5193, Université Toulouse Jean Jaurès.

Coralie Demazeux, docteur en droit, LIEU (Laboratoire Interdisciplinaire Environnement et Urbanisme) EA889, Aix-Marseille Université.

Cécilia Pignon-Mussaud, ingénieur d'étude Géomatique, LIENSs (Littoral, Environnement, Sociétés, CNRS) UMR7266 CNRS/Université de La Rochelle).



Christine Plumejeaud, ingénieur de recherches en Bases de données et systèmes d'information spatio-temporels, LIENSs (UMR 7266 CNRS/Université de La Rochelle).

Renaud Jougla, Ingénieur d'étude – Traitement données statistiques et météorologiques, LISST (Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires) - UMR 5193, Université Toulouse Jean Jaurès.

Jean-Pierre Lévy, Directeur de recherche CNRS, géographe, LATTs - UMR 8134, CNRS/ Ecole des Ponts ParisTech/UPE.

Margot Pellegrino, Enseignante-chercheuse en urbanisme et aménagement, Lab'Urba, Université de Paris-Est Marne-le-Vallée.

Alexis Bourgeois, Post-doctorant statisticien, CNRS, LATTs - UMR 8134, CNRS/Ecole des Ponts ParisTech/UPE.

Claudia Ximena LOPEZ-RIEUX, Architecte Urbaniste, Chercheur Associé LISST (Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires) - UMR 5193, Université Toulouse Jean Jaurès.

Nathalie Tornay, Maître de Conférence en architecture, LRA, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse.

Serge Faraut, chercheur en architecture, LRA, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse.

Alexandre Amossé, ingénieur en mathématiques appliquées et statistiques, LRA.

Erwan Cordeau, IAU IdF ; **Sophie Caillierez**, AUD Saint Omer ; **Erwan Cordeau**, IAU IdF ; **Cécile Gallato**, AUDAP ; **Valentine Ruff**, ADEUS, membres de la FNAU.

Flavien Blanc, **Louis Lafontaine**, **Pauline Schiano**, **Franck-Levy Moussavou**, stagiaires, Master 2 en droit de l'urbanisme et de l'environnement, LIEU (Laboratoire Interdisciplinaire Environnement et Urbanisme) EA 889, Aix-Marseille Université.

Guillaume Dumas et **Zohra Mhedhbi** stagiaires de Master 2 «Ville et Environnement» du CIEU, LISST (Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires) - UMR 5193, Université Toulouse Jean Jaurès.



LATTs



Remerciements

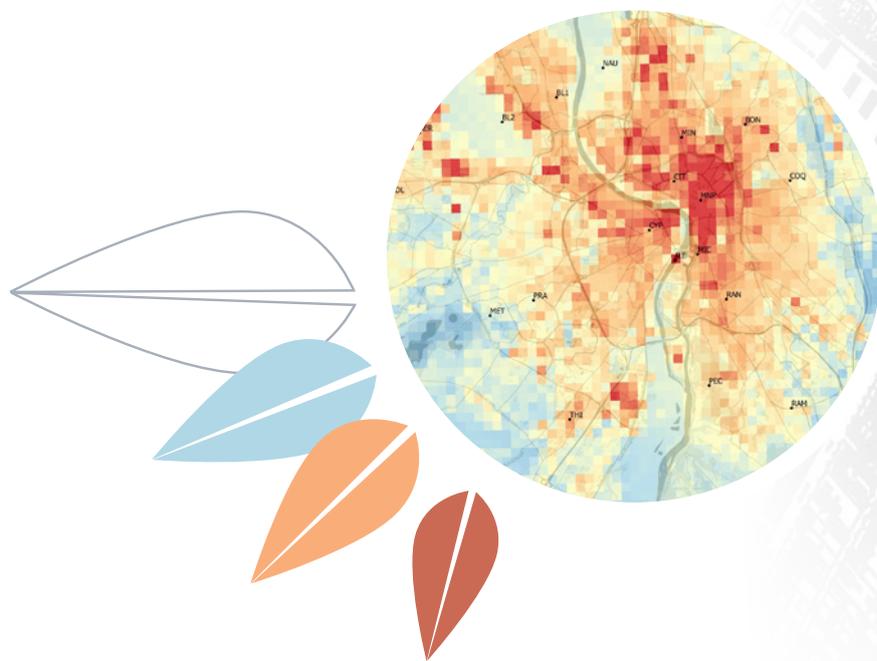
- Aux trois collectivités terrains d'expérimentation : Toulouse Métropole, La Rochelle, Aix-en-Provence.
- Aux agences d'urbanisme qui ont participé à l'enquête FNAU.
- Aux personnes qui ont participé aux entretiens sur les cas exemplaires.

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



Urbanisme & (micro-)climat

OUTILS ET RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES
POUR LES DOCUMENTS DE PLANIFICATION



Guide méthodologique
issu du projet
MAPUCE
publié en juillet 2019

Contacts :

ml.lambert@univ-amu.fr
julia.hidalgo@univ-tlse2.fr
valery.masson@meteo.fr