

ADEME RECHERCHE

#31 JUIN 2020



© X. Bérigny / ADEME



SOMMAIRE

Exposé

RAFRAÎCHISSEMENT
URBAIN : UNE DÉCENNIE
DE RECHERCHE
INTERDISCIPLINAIRE

2

Résultats significatifs

LES SOLUTIONS LES
PLUS ADAPTÉES AU
RAFRAÎCHISSEMENT
URBAIN

3

Rencontre

« LA RECHERCHE AIDE
LES COLLECTIVITÉS
À RAFRAÎCHIR
NOS VILLES »

5



L'ÉDITO

Johan Ransquin

Directeur Adaptation,
Aménagement et Trajectoires
bas carbone de l'ADEME

Dans le contexte de l'accord international sur le climat de 2015, l'articulation entre politiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique et politiques territoriales et urbaines aux différentes échelles est cruciale : l'aménagement a un rôle majeur à jouer pour répondre aux enjeux climatiques et de gestion durable des ressources. L'ADEME, Agence de la transition écologique, est un acteur de référence pour l'expertise et la mise en œuvre des politiques publiques en matière d'adaptation au changement climatique. Elle est mobilisée sur ces sujets depuis plusieurs

“L'ADEME est un acteur de référence pour l'expertise et la mise en œuvre des politiques publiques en matière d'adaptation au changement climatique.”

années et consolide sa vision et ses équipes en 2020 autour d'une nouvelle direction : Adaptation, Aménagement et Trajectoires bas carbone. En cohérence avec les stratégies¹ « Recherche, développement, innovation » et « Urbanisme durable et adaptation au changement climatique » de l'ADEME, la direction poursuit son soutien à la recherche sur des systèmes urbains et territoriaux plus sobres et en faveur de l'adaptation aux changements climatiques. •

1. <https://www.ademe.fr/lademe/priorites-strategiques-missions-lademe/strategies>

RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN : UNE DÉCENNIE DE RECHERCHE INTERDISCIPLINAIRE

Depuis près d'une décennie, l'ADEME soutient les avancées scientifiques sur les dispositifs permettant de rafraîchir les villes, par le financement d'états de l'art, de programmes de recherche et de thèses de doctorat dédiées au sujet.

La surchauffe urbaine peut avoir trois origines : la forme des villes, car l'organisation des bâtis et leur gabarit peut piéger le rayonnement solaire et infrarouge et empêcher une bonne évacuation de la chaleur par le vent. Ensuite, les matériaux utilisés et les revêtements des espaces publics (voiries, parcs, etc.), car ils emmagasinent la chaleur du jour et la restituent la nuit. Enfin, les activités humaines liées au transport de biens et des personnes ou à l'usage des bâtiments, qui dégagent de la chaleur. Dès 2012, l'ADEME a lancé un appel à projets de recherche (APR) dédié à l'évaluation des dispositifs de rafraîchissement urbain sur le confort thermique, l'environnement, la santé et la consommation énergétique, et des gisements d'économie d'énergie offerts par ces dispositifs. Cet APR a permis la réalisation des projets EPICURE (Étude paramétrique de la Performance de dispositifs Urbains pour un Rafraîchissement Environnemental)¹, TERRACES (Toitures végétales pour Rafraîchir les Ambiances Climatiques urbaines)², IFU (Îlots de Fraîcheur Urbains)³ et EVA (Eau, Végétation, Albédo)⁴.

2017 : UN ÉTAT DE L'ART FRANÇAIS ET INTERNATIONAL MENÉ PAR L'ADEME SUR LE RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN

En 2017, l'état de l'art a permis de dresser un panorama exhaustif de solutions⁵ ; classées selon trois types : les solutions vertes (et bleues), les solutions grises (infrastructures urbaines), et les solutions douces liées aux pratiques urbanistiques et notamment dans la planification urbaine, à la gestion et aux usages de la ville. Plus précisément, on parle de solutions vertes pour les services écosystémiques, liés à la nature en ville : végétal (différentes strates, toitures ou façades végétales, arrosées ou non, parcs), plans d'eau et cours d'eau.

On parle de solutions grises pour les infrastructures urbaines : revêtements urbains (matériaux de chaussée à albédo élevé, à rétention d'eau, à changement de phase), mobilier urbain (structures d'ombrage, fontainerie, humidification de chaussée), bâtiment (conception bioclimatique d'été, protections solaires, ventilation naturelle, revêtements de façade et toitures), forme urbaine (gabarit du bâti, organisation spatiale entre bâti et non bâti, porosité aux vents, ouverture au ciel). Enfin, on parle de solutions douces pour celles liées aux usages et pratiques de la ville, la mobilité (réduction du trafic), la gouvernance et les politiques (les horaires d'ouverture des parcs la nuit, les écogestes et plans canicule...), les pratiques urbanistiques (règlement et orien-

tations d'aménagement et de programmation des plans locaux d'urbanisme, cahiers des prescriptions architecturales, urbaines et paysagères, etc.). Cette synthèse scientifique, menée en partenariat avec une communauté d'acteurs publics et privés, a permis d'identifier les sujets à approfondir et de nourrir les appels à projets, en particulier la 4^e édition 2019 de l'APR MODEVAL-URBA détaillée en pages 3-4 de cette lettre avec ses 7 projets lauréats.

DES ACTIONS DE RECHERCHE EN PARTENARIAT ET DES ÉTUDES EXPÉRIMENTALES

L'ADEME agit également au travers de partenariats avec d'autres financeurs comme dans le cadre du programme Gestion des Impacts du Changement Climatique (GICC) du ministère chargé de l'environnement, grâce auquel le projet IDEFESE « Île-De-France Évaluation des Services Écosystémiques »⁶ a été financé. L'Agence a également apporté son soutien financier au projet POPSU⁷ Europe piloté par le PUCA qui a permis la publication « Îlots de chaleur urbains, stratégies des villes face aux changements climatiques ».

En aval de ces projets de recherche, les directions régionales de l'ADEME financent également des travaux de développement méthodologique et des outils de mise en œuvre. Ainsi, la direction régionale de Nouvelle-Aquitaine a accompagné le projet européen ADAPACLIMA « Identification des îlots de chaleur urbains et îlots de fraîcheur urbains par télédétection thermique dans le Sud-Ouest et mesures/préconisations d'aménagement sur deux territoires en Aquitaine » (communauté d'agglomération d'Agen et Ville de Bordeaux), ainsi qu'une étude de diagnostic sur les îlots de chaleur et de fraîcheur urbains sur le territoire de la Communauté urbaine de Bordeaux. Citons également les DR Occitanie pour le projet « Cartographie des îlots de chaleur urbains de trois agglomérations », et Bourgogne-Franche-Comté pour le projet SAVE-IFU « Santé Aménagement Végétation Environnement - Îlots de Fraîcheur Urbain ».

1. <https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article762>

2. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/09/jsteauxpluviales_ramier_poster_evapotranspiration.pdf

3. <http://ira.toulouse.archi.fr/ira/activites/projets/ifu/proposition-initiale-du-projet-ifu-novembre-2012-19-p>

4. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01590630>

5. <https://www.ademe.fr/rafraichissement-villes-connaissances-besoin>

6. <https://idefese.wordpress.com>

7. <http://www.popsu.archi.fr/popsu-europe/themes/ilots-de-chaleur-urbains-strategies-des-villes-face-aux-changements-climatiques>

LES SOLUTIONS LES PLUS ADAPTÉES AU RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN

Le rafraîchissement urbain et le confort thermique d'été sont des questions primordiales au niveau de la conception des villes, des bâtiments, de la rénovation. Suite à l'état de l'art réalisé en 2017 présenté en page 2, des pistes de recherche ont été identifiées¹ et l'appel à projets de recherche MODEVAL-URBA 2019 a retenu 7 projets permettant d'aller plus loin dans la conception de solutions tout en tenant compte de certains cobénéfices.

DES SOLUTIONS BASÉES SUR LA VÉGÉTALISATION

Concernant la végétalisation, les projets RECRE « Renaturation des Espaces des Cours vers la Résilience Écologique », REVEIL « L'urbanisme REVersible dans les Espaces Interstitiels : pourquoi, quand, où, comment, par qui ? », DESSERT « Désimperméabilisation des Sols, Services Écosystémiques et Résilience des Territoires », IUPI « Intertices Urbains – Petite taille et Immenses enjeux » contribuent à qualifier et prendre en compte les cobénéfices des actions de végétalisation et de renaturation pour une aide à la décision en matière d'adaptation aux changements climatiques.

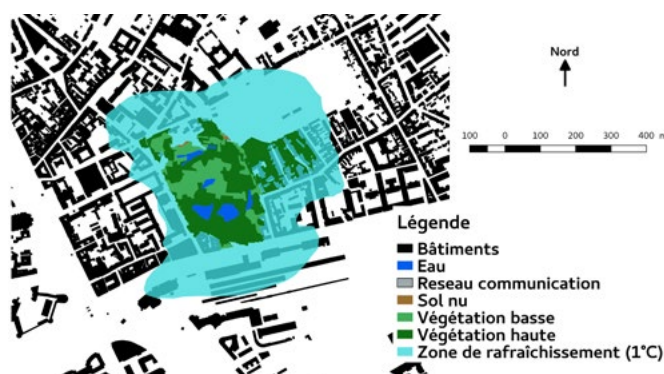
Une piste de recherche concerne la caractérisation de l'efficacité d'un parc selon son environnement bâti. Pour répondre à ce besoin, le projet COOLPARKS « Cooling optimisation by parks and urban morphology »², en partenariat avec le CEREMA et SOLENEOS permettra la réalisation de deux études paramétriques à partir de simulations numériques menées en utilisant le modèle SOLENE-microclimat et un outil d'aide à la décision visant aussi à comparer différentes solutions d'aménagement. La pertinence des résultats obtenus lors des simulations numériques sera validée par des campagnes de mesures des parcs nantais.

L'OPTIMISATION DES FORMES URBAINES, DE L'ÎLOT AU PROJET URBAIN

Une autre piste de recherche concerne le développement d'outils d'optimisation de la forme urbaine pour maximiser le confort thermique des espaces non bâtis mais égale-

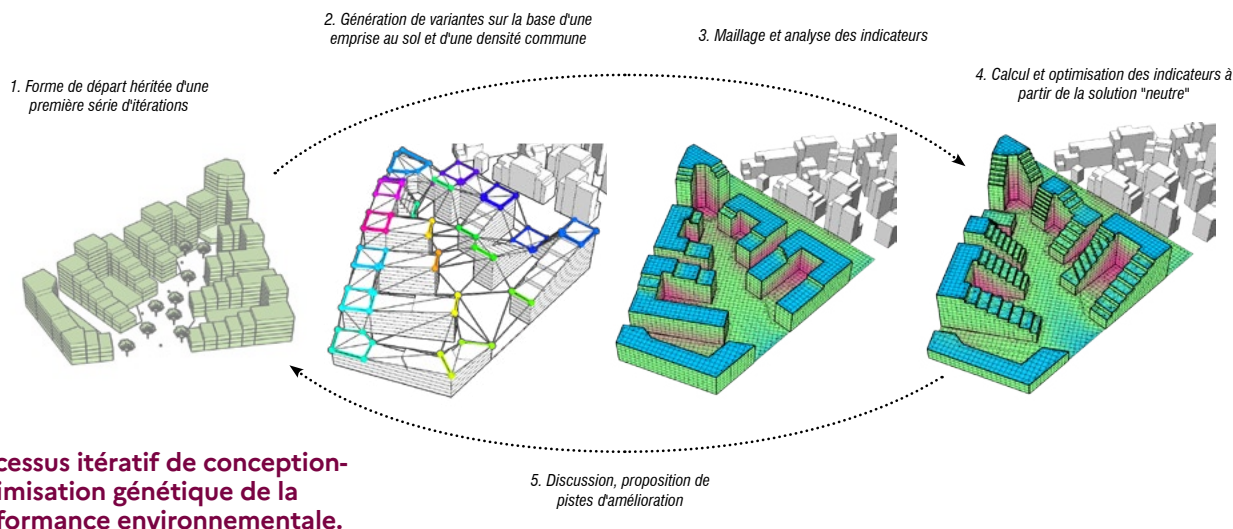
ment à l'intérieur des bâtiments. Le besoin de fraîcheur en ville interroge la question du bien-être urbain, c'est-à-dire l'ambiance qui lui est associée. Le projet OASIS URBAINES³, lauréat de l'APR MODEVAL-URBA 2015 a permis de développer une approche basée sur les ambiances et notamment le ressenti thermique de ces oasis en milieu urbain. En été, l'oasis répond à la quête de fraîcheur des habitants : elle offre de larges espaces ombragés perméables au vent dans lesquels l'humidité, liée à la présence de végétation ou d'eau, participe au ressenti de rafraîchissement. Les résultats indiquent que l'on y mesure en moyenne 2 °C de moins que dans l'espace urbain plus minéral environnant. La forme urbaine comprend la typo-morphologie du cadre bâti, ainsi que les matériaux utilisés pour la construction des bâtiments et des infrastructures urbaines (voiries, espaces publics et privés) et l'organisation spatiale. Ces éléments influencent fortement la température ambiante au sein des espaces publics. L'orientation des rues peut avoir un impact sur la ventilation naturelle et donc sur les températures ressenties, ainsi que d'autres éléments tels que la densité surfacique (rapport entre la surface des toitures et celle du terrain) et la compacité de la ville (rapport bâti/non bâti, densité de ses habitations, proximité de ses équipements et services ou encore de ses réseaux de transports et communication). Il s'agit donc de concevoir des formes urbaines intégrant l'enjeu climatique local : gabarit bâti, apports solaires, vents, pluie, matériaux et revêtements, localisation/limitation des activités humaines émettrices de chaleur (véhicules thermiques, chauffage, climatisation), etc. Dans ce but, le projet EPICURE (État paramétrique de la Performance de dispositifs Urbains pour un Rafraîchissement Environnemental), piloté par le Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique (GAME) et le Laboratoire de recherche en architecture (LRA) de l'ENSA Toulouse, a visé la création d'une base de données croisées pour les acteurs de l'urbanisme, grâce à l'intégration de trois modèles numériques : GENIUS (morphologie urbaine); TEB (échanges ville-atmosphère); Urban Weather Generator (îlots de chaleur urbains).

Les formes urbaines sont également au cœur des projets MESH-2C « Morphology – Environment – Sustainability – Human Comfort 2C » et MODRADURB « MODélisation des échanges RADiatifs dans la canopée urbaine pour évaluer les formes URBaines dans le contexte du changement climatique », pilotés respectivement par Franck Boutté Consultants et le CNRM (Météo-France/CNRS). Le projet MESH-2C, suite du projet MESH (également lauréat d'une



Exemple de résultat prévu par l'outil d'aide à la décision.

Source : projet Coolparks



Processus itératif de conception-optimisation génétique de la performance environnementale.

© MESH

édition antérieure de l'APR MODEVAL-URBA de l'ADEME) s'est intéressé à développer au sein d'une même interface (Rhino 3D Grasshopper) des outils d'analyse et de conception paramétrique des morphologies urbaines par des indicateurs environnementaux. Le projet MESH-2C poursuit ces ambitions; l'analyse est étendue aux formes urbaines, aux choix d'aménagement (végétation et eau) et à la matérialité; et la performance environnementale est étudiée principalement sous l'angle des impacts microclimatiques, du confort et de la santé (acoustique et qualité de l'air en particulier), sans oublier

les interactions avec les autres thématiques environnementales (mobilité, énergie, biodiversité...). La méthodologie du projet MODRADURB cherche également à mieux représenter le rayonnement (solaire et infrarouge terrestre), qui est le processus déterminant pour le climat urbain, la consommation énergétique des bâtiments et le confort thermique des habitants. Le projet MODRADURB ambitionne d'appliquer le modèle ED-STAR à des villes idéalisées de différentes morphologies urbaines afin de l'évaluer dans un second temps sur des villes réelles, telles que Paris ou Londres. Ces deux projets visent à développer des outils paramétriques de modélisation microclimatique pour mieux simuler le climat urbain et les consommations énergétiques de différentes formes urbaines.

Les travaux de recherche soutenus par l'ADEME ont ainsi permis d'explorer des innovations techniques permettant de rafraîchir les villes par des solutions vertes et grises. Néanmoins, si ces dispositifs se développent à l'échelle de l'îlot, voire du quartier, il reste encore des pans d'incertitude pour ancrer cette approche climatique dans les pratiques urbaines en s'appuyant sur des outils réglementaires (règlement de PLU, coefficient de biotope, normes de gabarit bâti...). Par ailleurs, l'innovation de demain sera organisationnelle. Bien mettre en œuvre ces objets technologiques, les faire comprendre, accepter et partager, constitue en effet le prochain défi. ●

ZOOM SUR ...

La classification géoclimatique des îlots urbains : une méthode empirique d'aide à la décision

Pour comprendre les différences importantes de température au sein d'une même ville, des chercheurs canadiens ont établi une typologie particulièrement intéressante pour la planification urbaine à l'échelle des îlots (diamètre supérieur ou égal à 400 mètres) : les « Local Climate Zones »⁴. Chacune d'elle possède un comportement climatique unique déterminé par ses caractéristiques urbaines : morphologie, occupation du sol, albédo, relief, exposition (versant sud ou nord), matériaux et métabolisme urbain. Les thèses de François Lecomte⁵, Jérémy Bernard⁶ et le projet DIACLIMAP (outil empirique d'aide à la décision) ont permis à l'ADEME de soutenir la validité de cette approche.

1. https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/annexe2_etatconnaissances.pdf
 2. Piloté par Jérémy Bernard : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/optimiser-rafraichissement-apporte-parcs-urbains-projet>
 3. <https://www.experimentationsurbaines.ademe.fr/index.php/2018/03/30/oasis-urbaines-menager-des-oasis-urbaines-en-site-urbain-queelles-methodes-et-quels-outils>
 4. Stewart, I. et Oke, T. Local Climate Zones for urban temperature studies. Bulletin of American Meteorology Society, 93:1879-1900. (2012).
 5. François Lecomte. Caractérisation des îlots de chaleur urbains par zonage climatique et mesures mobiles : Cas de Nancy. Climatologie. Université de Lorraine, 2014 (Thèse).
 6. Jérémy Bernard. Signature géographique et météorologique des variations spatiales et temporelles de la température de l'air au sein d'une zone urbaine. Génie civil. École centrale de Nantes, 2017. (Thèse).

AUDE LEMONSU
Chargée de recherche
CNRS au sein de
l'équipe VILLE du Centre
national de recherches
météorologiques (CNRM,
CNRS/Météo-France).



SOLÈNE MARRY
Docteure en urbanisme,
correspondante
recherche au sein de la
direction Adaptation,
Aménagement et
Trajectoires bas carbone
de l'ADEME.



« LA RECHERCHE AIDE LES COLLECTIVITÉS À RAFRAÎCHIR NOS VILLES »

Les températures dans les villes sont en augmentation constante. Aujourd'hui, la recherche est à pied d'œuvre pour mieux comprendre les « îlots de chaleur urbains », mais aussi développer des outils qui aident les aménageurs à travailler pour des villes adaptées aux changements climatiques présents et à venir.

S

elon vous, quelles sont les avancées scientifiques les plus notables en matière de compréhension du climat urbain ?

Aude Lemonsu : Jusqu'à récemment, les chercheurs s'intéressaient principalement à l'îlot de chaleur urbain et à la différence de température entre villes et campagnes. Aujourd'hui, la recherche se concentre sur la caractérisation de ces îlots de chaleur et sur la façon dont la température varie en fonction des quartiers, de l'architecture, de la nature de l'occupation du sol, de la présence de végétation, de l'activité humaine, etc. Plusieurs facteurs expliquent cette meilleure connaissance de la variabilité des conditions microclimatiques dans la ville : tout d'abord, les modèles numériques que nous utilisons ont été sensiblement améliorés. Ces outils nous permettent désormais de mieux représenter l'ensemble des processus qui interviennent en ville et donc de mieux comprendre et anticiper leur évolution et leur impact sur le microclimat urbain. La recherche a également progressé sur les systèmes d'observation : les campagnes expérimentales se sont multipliées et utilisent des protocoles innovants qui permettent de caractériser plus finement la variabilité au sein de la ville (notamment en faisant des mesures

mobiles à l'aide de véhicules instrumentés). Nous pouvons par ailleurs nous appuyer sur les collectivités, qui commencent à mettre en place des réseaux d'observation pérennes en ville. Enfin, et cela aussi est nouveau, des initiatives participatives et massives favorisent la remontée d'un grand volume de données à exploiter.

Comment l'ADEME soutient-elle les travaux scientifiques sur le sujet ? Quels sont ses liens avec les chercheurs de Météo-France ?

Solène Marry : L'ADEME s'intéresse à la prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans les documents d'urbanisme et le projet urbain depuis 2012. Le dernier appel à projets de recherche (APR) MODEVAL-URBA 2019 consacrait des axes scientifiques au rafraîchissement urbain ; sept projets ont été retenus. Ils sont portés par des équipes de recherche pluridisciplinaires (acteurs académiques, mais aussi territoriaux avec des collectivités, des associations, etc.) et visent à améliorer les connaissances scientifiques des phénomènes de surchauffe urbaine, ainsi qu'à développer des outils d'aide à la conception permettant d'optimiser le rafraîchissement des espaces denses. Parallèlement, l'Agence a retenu et soutient notamment deux projets pilotés par les équipes du

BIO EXPRESS

Aude Lemonsu est chargée de recherche CNRS au sein de l'équipe VILLE du Centre national de recherches météorologiques (CNRM, CNRS/Météo-France). Ses travaux portent plus particulièrement sur l'étude du climat urbain, par la modélisation numérique et l'observation. Des approches qui permettent d'analyser et comprendre les processus physiques à l'œuvre en vue d'aider les collectivités à élaborer des stratégies d'aménagement adaptées pour limiter les risques liés aux effets combinés de l'îlot de chaleur urbain et du changement climatique.

“Notre objectif est de traduire nos résultats scientifiques de micro-climatologie urbaine dans les documents d’urbanisme et en outils opérationnels utilisables par les acteurs du secteur.”

Centre national de recherches météorologiques (MODRADURB et PAENDORA). Le projet PAENDORA vise à intégrer les échanges radiatifs dans les outils de modélisation du climat urbain, afin de mieux représenter le rayonnement (solaire et infrarouge terrestre), qui est le processus déterminant pour le climat urbain, la consommation énergétique des bâtiments et le confort thermique des habitants. L’objectif du projet PAENDORA est de constituer une base de données à l’échelle des quartiers afin d’aider à intégrer les évolutions climatiques dans les outils de planification (plans locaux d’urbanisme – PLU ; plans climat-air-énergie territoriaux – PCAET ; schémas de cohérence territoriale – SCoT).

Que préconisent les travaux de recherche pour limiter la surchauffe en milieu urbain ?

Solène Marry : Plusieurs solutions sont envisageables : réfléchir à la morphologie des villes pour s’assurer que les nouveaux bâtiments ou la rénovation et densification en hauteur ne bloqueront pas les circulations d’air existantes, voire les favorisent, ou privilégier l’emploi de couleurs claires ou de matériaux stockant peu la chaleur. Il est également souhaitable de recourir à des solutions fondées sur la nature (SfN), en préservant la nature spontanée et en favorisant le réensauvagement. La désartificialisation et la renaturation sont parfois nécessaires ; cette renaturation présuppose de rendre les sols de nouveau perméables et de réfléchir différemment au cycle de l’eau. La notion de villes « éponges » se développe ainsi partout dans le monde : retenir l’eau dans le sol permet de rafraîchir l’air ambiant, mais également de limiter les inondations en cas

de crues ou de pluies intenses. Un autre levier d’action concerne les pratiques individuelles et collectives en limitant l’utilisation de climatiseurs électriques et l’usage de la voiture individuelle, par exemple. Ces solutions ont par ailleurs le mérite d’être mises en œuvre à toutes les échelles.

Travaillez-vous avec les acteurs du secteur ?

Aude Lemonsu : Notre objectif est de traduire nos résultats scientifiques en documents et outils concrets utilisables par les acteurs du secteur. Dans cette perspective, nous favorisons bien sûr le travail collaboratif, et de nombreux aménageurs sont parties prenantes dans nos travaux. Ces derniers débouchent sur des résultats très concrets. Par exemple, les outils de modélisation numérique permettent aux aménageurs de disposer d’un état des lieux du climat urbain actuel de leur ville mais aussi de simuler des stratégies d’adaptation aux effets de surchauffe pour identifier les leviers d’action (ajouter de la végétation, couvrir les murs de matériaux réfléchissants, etc.) les mieux adaptés et les plus performants sur leur territoire. Nous travaillons également avec des chercheurs spécialisés dans le changement climatique afin d’affiner l’information issue des modèles de climat. Nos recherches visent à disposer de résultats à des échelles les plus fines possible (comme une ville, par exemple) pour être capables d’anticiper ce qui va se passer sur cette zone bien spécifique. À cette même échelle, nous regardons également les interactions entre le changement climatique et l’évolution du climat urbain lui-même. Notre approche sur ces questions est encore assez expérimentale mais vise à terme à fournir des résultats sur l’ensemble des villes françaises.

Quels sont les besoins en termes de recherche ?

Solène Marry : Les collectivités, et je pense ici aussi bien à des collectivités rurales qu’à des villes moyennes ou des métropoles, nous sollicitent pour savoir comment aménager leur territoire en intégrant les évolutions climatiques et notamment faire face aux épisodes caniculaires, qui sont souvent déclencheurs dans la prise de conscience. Elles ont besoin de réponses opérationnelles ; nous soutenons donc des recherches visant à développer des outils d’aide à la décision pour les collectivités, mais aussi d’aide à la conception en collaboration avec les acteurs de la fabrique de la ville (urbanistes, architectes, BET...).

Aude Lemonsu : Il est par ailleurs nécessaire de développer des approches plus généralisables afin d’être capables d’étudier l’ensemble des villes et de pouvoir ensuite apporter des réponses spécifiques. Enfin, après avoir beaucoup travaillé sur les grandes métropoles, il est important de nous intéresser aux villes moyennes, qui sont elles aussi en attente d’observations. •

