

VILLES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS

CITIES AND CLIMATE CHANGE
URBAN HEAT ISLANDS

BARCELONA
LYON
MARSEILLE
MONTREAL
NANTES
RENNES
ROMA
STUTTGART
TOULOUSE
WIEN

collection la ville en train de se faire

Sous la direction de
Jean-Jacques Terrin
avec la collaboration de Jean-Baptiste Marie

Parenthèses

PENSER LA VILLE AVEC LE CLIMAT

Les effets du réchauffement climatique et la hausse des températures dans les centres urbains ont pris aujourd'hui des proportions qui inquiètent les scientifiques, en particulier les climatologues. Depuis plusieurs années, ceux-ci alertent responsables politiques et professionnels de l'urbanisme des impacts d'un réchauffement qui menace les grands équilibres planétaires, précisant que les systèmes urbains en sont les grands responsables dans la mesure où ils représentent plus de 75 % de la consommation globale de l'énergie¹. Face à ces injonctions, leurs interlocuteurs sont bien mal armés pour répondre à un défi dont il n'est pas certain qu'ils mesurent toute la complexité. Non que cette confrontation de la ville au climat soit vraiment nouvelle, elle a même cimenté la longue histoire des cités. Celle-ci pourrait en effet se raconter à partir de contradictions entre expansion et résilience, tant elle a de tout temps été la chronique de tensions continues entre des milieux économiques qui provoquent par nécessité toutes sortes d'agressions environnementales et des habitants qui tentent de défendre leurs exigences de confort et de salubrité.

Certes, les villes ont longtemps su se prémunir contre la chaleur, et plus globalement se penser avec le climat. Vitruve l'énonçait déjà : « Quand on veut bâtir une ville, la première chose qu'il faut faire est de choisir un lieu sain² », c'est-à-dire une implantation déterminée par la géographie et qui permette une bonne orientation des édifices et des espaces publics. L'urbanisme vernaculaire méditerranéen offre l'image d'implantations humaines qui s'étalent sur les pentes de collines en combinant apports solaires aux étages supérieurs et fraîcheur à l'ombre des jardins. L'architecture arabe joue de systèmes de ventilation sophistiqués avec patios, moucharabiehs, fontaines, jarres poreuses et *salsabils* sur lesquels coule l'eau fraîche, de même qu'il favorise un nomadisme des usages propices à une adaptation aux températures diurnes et nocturnes, dans

le M'Zab algérien par exemple³. L'orientation des rues et les protections solaires des médinas, ainsi que les capteurs de vent qu'on peut encore observer en Iran, en Irak et en Égypte canalisent l'air frais dans les villes jusqu'au cœur des habitations, faisant la preuve d'une maîtrise des ambiances thermiques autant dans les espaces publics que privés. Il en est de même de certains indiens Pueblos d'Arizona qui, pour faire face à de grandes amplitudes de températures quotidiennes et saisonnières, recherchent des implantations géographiques le long de canyons, des formes d'habitat partiellement troglodytes, et des techniques constructives en pierre et en adobe bien adaptées. On pourrait multiplier ces exemples, jusqu'à l'urbanisme classique qui sait alterner rues arborées, immeubles relativement hauts et fermés au nord, façades largement ouvertes au sud sur des jardins ombragés plantés d'arbres à feuilles caduques.

Il semble que la ville moderne ait perdu ces réflexes bioclimatiques, et que cela ne débouche sur une crise que dénonce implacablement Alberto Magnaghi lorsqu'il affirme que : « Le divorce entre nature et culture, entre la culture et l'histoire caractérise l'évolution de la pensée mécaniste et réductionniste moderne⁴ ». Il aura fallu qu'apparaisse l'émergence du réchauffement climatique et des nouveaux risques à la fois écologiques et sanitaires qu'il provoque pour qu'on remette en cause les recettes de l'urbanisme contemporain et qu'on découvre les bienfaits d'une démarche écologique dont les contours restent encore parfois bien flous. C'est dans ce contexte de nécessaire renouveau qu'ont récemment émergées les réflexions sur le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU).

Pour comprendre ce phénomène et appréhender sa complexité, il suffit de traverser le boulevard de l'Acadie à Montréal entre la ville de Mont-Royal et le quartier de Parc Extension, à l'occasion d'une belle après-midi ensoleillée d'été, et de constater une différence d'au moins six degrés entre les deux rives du boulevard. Une observation plus minutieuse du site permet de constater que cette différence de température est pour une bonne partie due aux disparités du couvert végétal et de l'intensité de la circulation automobile de part et d'autre de l'artère. Mais elle est également influencée par des morphologies urbaines distinctes et par la densité de leurs parcellaires, par les revêtements de surface des bâtiments et des sols qui les composent ; elle l'est aussi par les populations qui habitent

¹ Onu « World urbanisation prospects », Progress in planning, 2011, AIE & PNUE.

² Vitruve, *Les Dix Livres d'architecture* [1673], Paris, Baland, 1979, livre 1, chap. 7, p. 34.

³ DIDILLON, J.-M., DIDILLON, H., DONNADIEU, C., DONNADIEU, P., *Habiter le désert, Les maisons mozabites, recherches sur un type d'architecture traditionnelle pré-saharienne*, Liège, Mardaga, 1977.

⁴ MAGNAGHI, A., *La biorégion urbaine, petit traité sur le territoire bien commun*, Paris, Eterotopia France, 2014, p. 31.

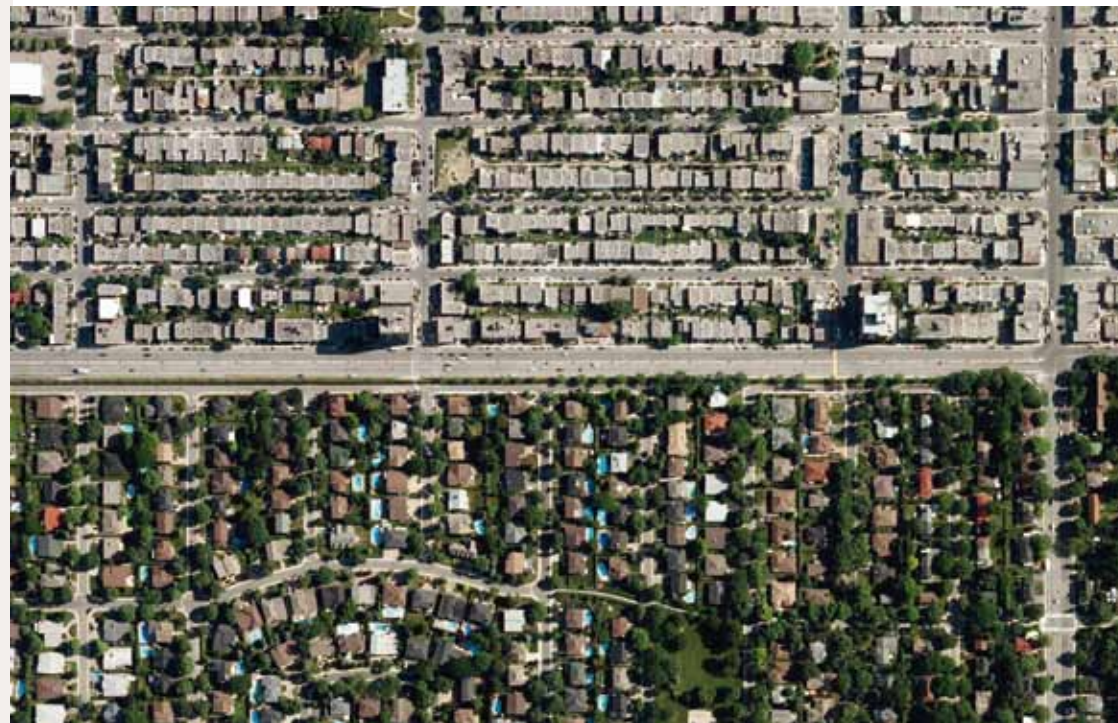
PLANNING CITIES FOR THE CLIMATE

The effects of climate change and rising temperatures in urban centres have now reached such proportions that they are troubling scientists, climatologists in particular. For many years, scientists have been warning political representatives and planning practitioners about the effects of global warming, which threaten the planet's equilibrium, specifying that urban systems are largely responsible for this threat since they consume more than 75% of the world's energy¹. However, the people receiving these warnings are not equipped to respond to the challenge; they may not even be aware of the extent of its complexity. The struggle between cities and the climate is by no means a new issue, it has actually shaped the long history of cities. This relationship could be described in terms of expansion and resilience – a chronicle of ongoing tensions between economic environments, which provoke all sorts of attacks on the environment, and of inhabitants, as they fight for their comfort and sanitation requirements.

Of course, cities have successfully provided protection from the sun's heat for a long time, and more broadly speaking, have been designed to suit the climate. Vitruvius once said, "When one wants to build a city, the first thing to do is to choose a healthy site"². In other words, sites should be chosen based on their geographical features, to allow buildings and public spaces to have the best orientation. Vernacular Mediterranean planning provides us with a particular image of human settlements: houses scattered across the hilltops to receive the heat of the sun on the top floors with gardens to provide a shady, cooler place below. Cities in the Middle East and North Africa have been built using sophisticated ventilation systems that include patios, mashrabiyas, fountains, porous earthenware pots, and *salsabils* (for cool water to pour through) while favouring nomadic uses to suit variations in day and night-time temperatures, as seen, for example, in the M'Zab region of Algeria³. There is a clear mastery of the thermal environment in both public and private spaces, in the orientation of streets, the shading devices of the Medina, and even wind captors. The latter, are still seen in Iran, Iraq and Egypt; they channel cool air into the city all the way to the heart of buildings. Similarly, in response to extreme variations in daily and seasonal temperatures, some Pueblo Indian tribes in Arizona have built partially troglodyte housing along the wall of canyons. Their construction uses adobe and stone masonry techniques that are well adapted to the climate. There are a huge variety of examples, up to the period of traditional urban planning, which alternates streets and tree-lined avenues, builds relatively tall buildings without windows to the north and large, generally open façades to the south, all overlooking well-shaded gardens with deciduous trees.

However, modern cities seems to have forgotten their bioclimatic reflexes, and this is the underlying cause of the climate crisis, which consternates Alberto Magnaghi: "The divorce between nature and culture, culture and history, characterises the development of the modern mechanistic and reductionist mindset"⁴. Climate change, with its associated health and ecological risks is the catalyst for a re-examination of our current planning approaches and pushes us to discover the advantages of ecological approaches, which still seem so imprecise in their form. The context of "renewed need" has generated this new process of reflection on the urban heat island phenomenon (UHI).

To understand the phenomenon and appreciate its full complexity, one simply has to cross L'Acadie Boulevard in Montreal (between Mont-Royal and the Park Extension quarter) on a bright summer's day and feel the temperature drop nearly six degrees. On closer examination, the temperature difference is due primarily to differences in the level of plant cover and intensity of motorised traffic on either side of the street. It is also influenced by the different urban morphologies,



Vue aérienne de Montréal : le boulevard de l'Acadie séparant le quartier de Parc Extension et la ville de Mont-Royal.

Aerial view of Montreal: L'Acadie Boulevard, which separates the Park Extension Quarter and Mont-Royal.

Ville de Montréal

dans ces deux quartiers, par leurs activités, leurs modes de vie, leurs revenus, leur éducation, et en définitive leur culture urbaine. Si cette expérience particulièrement spectaculaire est reproductible à différents degrés dans n'importe quelle ville de la planète, quel qu'en soit la taille et la latitude, elle s'avère d'autant plus importante à signaler qu'elle justifie la pertinence du remarquable effort que la ville canadienne entreprend actuellement pour réduire ce phénomène.

Alors que la population urbaine augmente de façon significative et que de vastes territoires métropolitains se sont dessinés au cours des dernières décennies, le phénomène d'ICU ne peut plus laisser indifférent, d'autant que ce dernier est renforcé par les conséquences du réchauffement climatique qui en exacerbent les effets négatifs, accroissant notamment la fréquence des nuits tropicales. On sait que les conclusions du 5^e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) publié en 2014 prévoient une élévation de la température qui pourrait atteindre 4,8°C entre 2080 et 2100. Selon ces experts, il est hautement improbable que la hausse des températures soit contenue dans la limite de 2°C, objectif qui avait été envisagé lors du sommet de Copenhague en 2009. En effet, une réduction de 74 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre en 2050 par rapport à leur niveau de 2010 serait nécessaire pour maintenir cette hausse moyenne, hypothèse considérée aujourd'hui comme inatteignable compte tenu des efforts récents qui ne sont guère encourageants : pour

the building density per lot, the kind of building surfaces and ground cover, the different population groups living in the two quarters, their commercial activities, lifestyles, revenue, education, and certainly, their urban culture. This particular experiment could be conducted in any city in the world with slightly different outcomes (no matter what the city's size or latitude) and it justifies the remarkable efforts by the Canadian city to reduce this phenomenon.

The fact that the population of cities is rapidly increasing and that, in just a few decades, huge metropolitan territories have emerged, means we can no longer ignore the UHI phenomenon. Especially, since their negative effects are exacerbated by climate change, which will notably result in more frequent, tropical night-time temperatures. The results of the 5th Assessment Report by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) published in 2014 forecast a temperature rise as high as 4.8°C between 2080 and 2100. According to the experts, it is highly unlikely that this temperature rise will remain within the 2°C degree limit (the target established at the Copenhagen Summit in 2009). In fact, we would have to reduce the world's greenhouse gas emissions by 74% by 2050 (based on 2010 levels) just to maintain average temperature rises, something considered impossible today with such poor recent efforts. Just as an indication, the annual CO₂ emissions for the 2002-2011 period were 54% higher than 1990 levels.

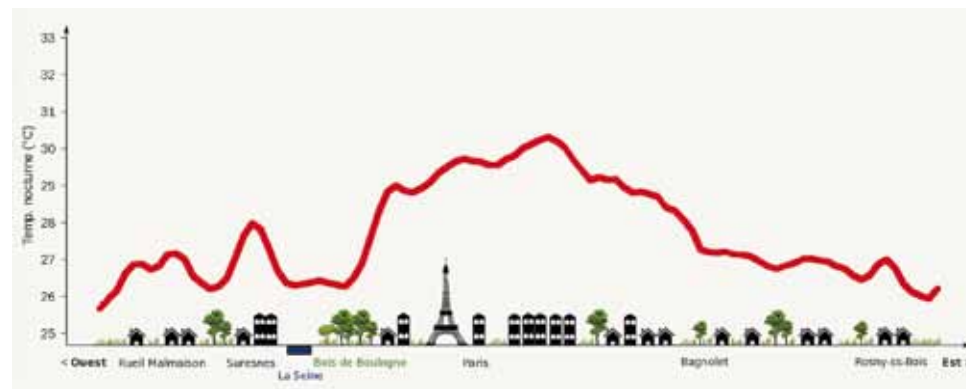
UHI are particularly intense in summer at the centre of large cities, which reach temperatures five or six degrees higher than those on the periphery, usually during the night⁵. This warming-up, largely due to human activities, is caused by a combination of factors, firstly the increased density and compact structure of the built fabric, the rapidly increasing proportion of hard mineral surfaces and soil sealing that uses low reflectivity materials (which absorb more heat and impose drainage systems that reduce evaporation). To these initial causes, we need to add emissions of polluted air, increased activities related to housing, services, industry and motorised traffic, and all the other technologies generating heat: heating, air conditioning, lighting, and so forth. Urban geometry, street-canyons that imprison heat, the presence and location of squares, parks and water, as well as thermal inertia of materials and albedo on façades, roofs and ground surfaces, all have an effect on heat transfer. This process consists of the absorption and convection of solar energy on the building envelope and artificial ground coverings. In addition, urban density and the roughness of façades tends to slow winds at ground level and reduce the dissipation of accumulated heat. UHI reduce the evaporation rate of moisture in the air, and strangely, plant evapotranspiration too. Finally, UHI can also alter rainfall patterns as masses of warm air rising in the dome formed over cities hit the cold air of the atmosphere.

Cities are the cause and victim of this group of phenomena, all at the same time. Today, the majority of the world's population live in developed areas, and the population density of cities is forecast to reach unprecedented levels in the next ten to twenty years⁶. In 2012, the United Nations Environment Programme reaffirmed that the urban environment is responsible for producing more than 50% of the world's waste, 60% to 80% of greenhouse gas emissions and 75% of

the consumption of natural resources⁷. From this perspective, the temperature rises provoked by UHI, combined with the catastrophes caused by more extreme weather, have a dramatic impact on the population and its health. It is hard to forget the heatwave in 2003 that caused over 70,000 deaths in Europe in a period of four months. Studies have proven that a temperature rise, one degree above 30°C, will increase the mortality rate by 4.7%. While cities in the South are the first affected of course, cities in the North, contrary to popular belief, are also affected. Swedish researchers have shown that an average temperature exceeding 23°C, for longer than two days consecutive, will increase the Swedish mortality rate. Climate change and UHI also have a major influence on the survival of forests and plants, preservation of biodiversity, and quantity and quality of water reserves.

Reducing the UHI phenomenon, could well be one of the most important challenges cities will have to face in the coming decades. This means that local authorities will inevitably have to start addressing this new and unwanted challenge. Faced with such a complex issue many cities have already started working on UHI reduction strategies. The nature of the problem obliges them to work across different space and time scales at the same time, and necessitates a cross-disciplinary approach. The combined effects

¹ U.N. "World urbanisation prospects", *Progress in planning*, 2011, AIE & PNUE.
² VITRUVIUS, *Les Dix Livres d'architecture* [1673] (Paris, Balland, 1979) livre 1, chap. 7, p. 34.
³ DIDILLON, J.-M., DIDILLON, H., DONNADIEU, C., DONNADIEU, P., *Habiter le désert, Les maisons mozabites, recherches sur un type d'architecture traditionnelle pré-saharienne* (Liège, Mardaga, 1977).
⁴ MAGNAGHI, A., *La biorégion urbaine, petit traité sur le territoire bien commun* (Paris, Eterotopia France, 2014) p. 31.
⁵ Cavayas, F. et Baudouin, Y., *Étude des biotopes urbains et périurbains de la CMM, Volets 1 et 2: Évolution des occupations du sol, du couvert végétal et des îlots de chaleur sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal (1984-2005)* (Conseil Régional de l'Environnement de Laval, 2008) p. 2.
⁶ Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2012, p. 7.
⁷ United Nations Environment Programme website.



Effet d'îlot de chaleur urbain dans l'agglomération parisienne présentant un excédent de chaleur en centre ville par rapport à la périphérie.

The urban heat island effect in greater Paris, showing higher temperatures in the city centre than on the outskirts.

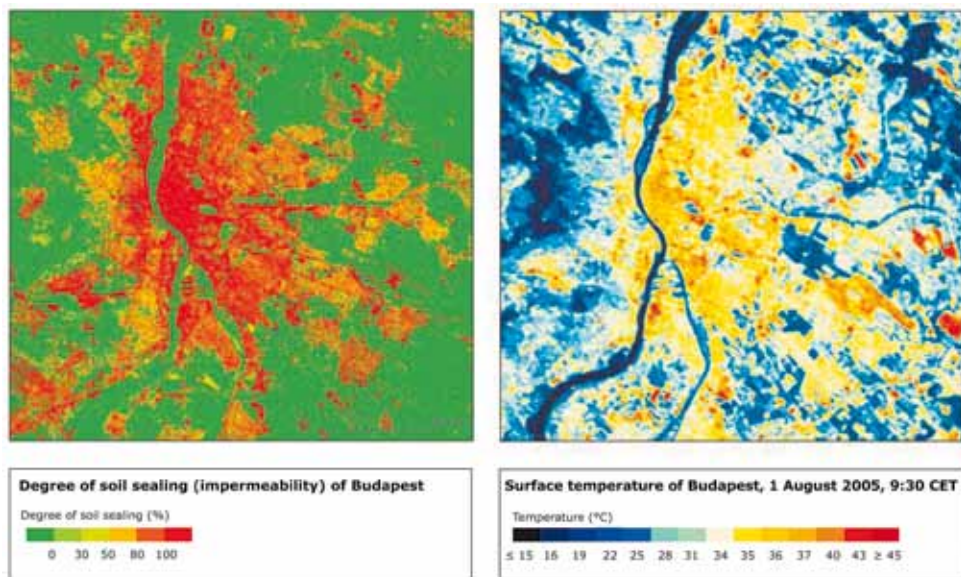
Descartes, 2009

ne prendre qu'un indicateur, les émissions annuelles de CO₂ pendant la période 2002-2011 sont de 54 % au-dessus du niveau de 1990.

Les ICU sont particulièrement intenses en été dans les centres des grandes métropoles qui atteignent, le plus souvent la nuit, une température de cinq à dix degrés supérieure aux zones situées à leurs périphéries⁵. Ce réchauffement, dont les activités anthropiques sont en grande partie responsables, est dû à la conjonction de nombreux facteurs, et en tout premier lieu à la compacité et à la densité accrue des tissus bâtis, à la minéralisation et à l'imperméabilisation accélérée des sols par des matériaux peu réfléchissants qui absorbent la chaleur et imposent des systèmes de drainage réduisant l'évaporation des eaux. À ces premières causes, il faut ajouter les émissions d'air pollué, l'augmentation des activités liées à l'habitat, aux services, à l'industrie et à la circulation automobile, et à toutes les technologies générant de la chaleur : chauffage, climatisation, éclairage, etc. Les formes urbaines, la configuration des rues formant des canyons qui emprisonnent la chaleur, l'existence et l'emplacement de places, de parcs et de plans d'eau, tout comme l'inertie des matériaux et l'albédo des façades, des toitures et des sols, ont une incidence sur les transferts de chaleur, ceux-ci se faisant par absorption et par convection de l'énergie solaire sur les enveloppes des édifices et sur les surfaces minéralisées des sols. En outre, la densité urbaine et la rugosité des façades ont tendance à atténuer la vitesse du vent au niveau du sol et freinent la dissipation de la chaleur accumulée. Les ICU réduisent le taux d'évaporation de l'air humide et singulièrement l'évapotranspiration des végétaux. Enfin, ils peuvent agir sur le régime des précipitations, perturbé par la montée de masses d'air chaud dans le dôme qui se crée au-dessus des villes au contact de cet air ascendant et de l'air froid de l'atmosphère.

Les villes provoquent et subissent tout à la fois cet ensemble de phénomènes. Alors qu'une majorité de la population mondiale vit aujourd'hui dans des zones urbanisées, et qu'une concentration démographique urbaine sans précédent est à prévoir au cours des prochaines décennies⁶,

⁵ CAVAYAS, F. et BAUDOUIN, Y., « Étude des biotopes urbains et périurbains de la CMM, Volets 1 et 2 : Évolution des occupations du sol, du couvert végétal et des îlots de chaleur sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal (1984-2005) ». Conseil Régional de l'Environnement de Laval, 2008, p. 2.
⁶ Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2012, p. 7.



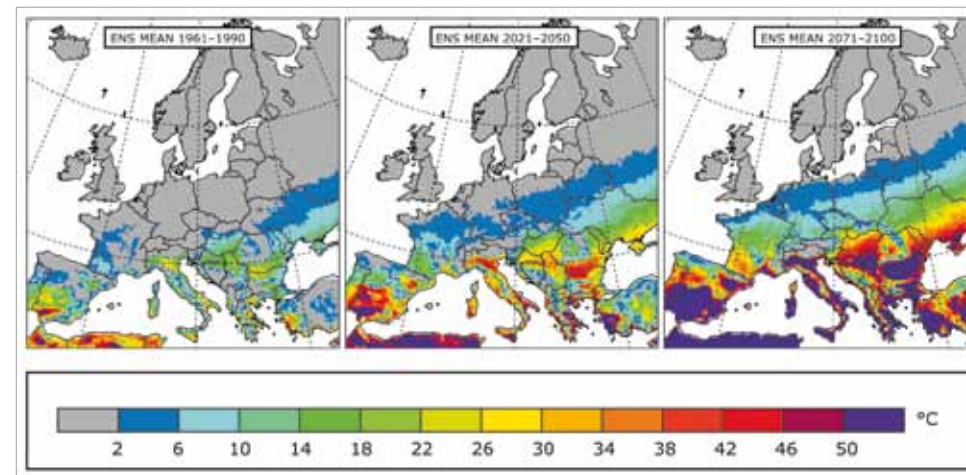
Degré d'imperméabilité des sols (gauche) et température de surface observée (droite) à Budapest en 2005.

Degree of soil sealing (left) and observed surface temperature (right) in Budapest, Hungary, 2005.

EEA Report « Urban adaptation to climate change in Europe », Fischer and Schär, 2010

Le Programme des Nations-Unies pour l'Environnement affirmait en 2012 que le milieu urbain était responsable de plus de 50 % des déchets produits, de 60 % à 80 % des émissions de gaz à effet de serre et de la consommation de 75 % des ressources naturelles⁷. C'est dans ce contexte que les hausses de température provoquées par les ICU, cumulées avec l'intensification des catastrophes météorologiques, ont un impact décisif sur les sociétés urbaines, et notamment sur la vulnérabilité des personnes et sur leur santé. On se souvient que la vague de chaleur de 2003 a causé plus de 70 000 décès sur une période de quatre mois en Europe. Les études confirment que l'accroissement de la température d'un degré au-dessus de 30°C augmente de 4,7 % les risques de mortalité. Et si les villes du Sud sont bien entendu les premières concernées, les villes du Nord, contrairement aux idées reçues, ne sont pas épargnées. Des chercheurs suédois ont démontré qu'une moyenne de température au-dessus de 23°C pendant plus de deux jours consécutifs avait un impact sur les taux de mortalité dans leur pays. Le réchauffement climatique et les ICU ont également une influence significative sur la survie des forêts et des plantes, sur la préservation de la biodiversité et sur la quantité et la qualité des réserves en eau.

La lutte contre le phénomène d'ICU, loin de se résorber, risque de devenir un des principaux enjeux des villes pour les prochaines décennies. Il ne fait donc pas de doute que les collectivités urbaines doivent s'impliquer face à ce nouveau défi qui leur est imposé. Confrontées à cette complexité, de nombreuses villes élaborent des stratégies pour lutter contre les conséquences néfastes des ICU qu'elles s'efforcent d'aborder à différentes échelles spatiales et temporelles et qu'elles ne peuvent résoudre que de façon transdisciplinaire. Elles doivent en effet aborder ces effets combinés de façon coordonnée, et de ce fait le phénomène



Augmentation du nombre de nuits tropicales (température minimale supérieure à 20 °C) associées à des journées chaudes (température maximale supérieure à 35 °C) dans les conditions climatiques présentes et futures.

Increase in the number of combined tropical nights (minimum temperature exceeding 20 °C) and hot days (maximum temperature exceeding 35 °C) under present and future climate conditions.

EEA Report « Urban adaptation to climate change in Europe », Fischer and Schär, 2010

d'ICU constitue sans doute un des plus complexes, des moins bien identifiés, et des plus difficiles à prendre en compte de façon intégrée dans la conception de projets d'aménagement urbain, quels que soient leurs objets ou leurs échelles. Non seulement ses causes en sont extrêmement diverses et contradictoires, mais il varie aussi selon les temporalités saisonnières, hebdomadaires et quotidiennes, selon la force du vent et la couverture du ciel, selon l'altitude et la distance de la mer ou des plans d'eau. Il dépend également des formes urbaines, de leurs densités comme des revêtements de surface et de la végétalisation des espaces publics. Il est donc difficile à prendre en compte tant par les maîtres d'ouvrage dans leur programmation que par les concepteurs dans leurs projets et par les gestionnaires pour leurs missions de maintenance, d'autant que les résultats de la recherche urbaine sur le sujet ne sont pas tous encore constitués.

La plupart des acteurs concernés sont aujourd'hui conscients de la nécessité, mais aussi de la difficulté de prendre en compte le phénomène d'ICU dans l'élaboration de stratégies urbaines comme dans la conception de projets d'aménagement. Les causes en sont multiples. La nécessité d'une approche intégrée pour aborder de façon transversale la lutte contre les îlots de chaleur n'est pas facilitée par la complexité et la fragmentation caractéristiques de l'aménagement territorial. Ces difficultés sont presque naturellement accrues par l'organisation en silo qui est trop souvent celle des services urbains, et par les conflits latents qui se dressent entre les exigences et les temporalités divergentes du politique, des services techniques, des concepteurs et des habitants. Les savoirs et les savoir-faire sont généralement trop cloisonnés, ne favorisant pas des approches globales indispensables pour croiser des compétences aussi diverses que la gestion des eaux et des trames vertes et bleues, l'ingénierie de réseaux urbains, la conception architecturale et paysagère, et autres expertises diverses. À ces difficultés s'ajoutent celles qui sont le fait d'interventions dans des tissus existants denses, ce qui rend les processus de décision

⁷ Site Internet du Programme des Nations unies pour l'environnement.



Les quais rive gauche à Bordeaux jardinés et réhabilités par Michel Corajoud.

The left bank in Bordeaux, landscaped and rehabilitated by Michel Corajoud.

Photo : Jean-Baptiste Marie

encore plus complexes à cause des contraintes du foncier qui tend à figer des situations acquises, et celles du patrimoine architectural, urbain et paysager qui impose une retenue parfois en contradiction avec les objectifs environnementaux.

Face à ces contraintes, de nombreuses villes, forcées d'agir entre expérimentation et empirisme, se tournent vers la recherche pour les aider à acquérir les connaissances qui leur sont nécessaires pour renouveler les savoirs et sensibiliser les parties prenantes. Mettre en œuvre des démarches transdisciplinaires tout au long de l'élaboration d'une stratégie et d'un projet d'aménagement urbain, croiser des disciplines telles que programmation urbaine, météorologie, sciences de l'environnement, conception architecturale et paysagère, tout en impliquant les habitants, impose en effet le développement de projets basés sur une vision globale et la mise en synergie de points de vue spécifiques incluant politique urbaine, recherche académique et industrielle, maîtrise d'ouvrage et services, sans oublier l'ensemble des usagers finaux. Ce ne sont pas les intuitions fulgurantes de certains concepteurs, pas davantage que les débats dogmatiques qui font rage dans certains milieux ou même les méthodologies et les instruments surannés qui alimentent encore trop souvent les pratiques actuelles de l'urbanisme, qui permettront de gérer la complexité de cette situation inédite. Dans un contexte où la participation de l'ensemble des acteurs citoyens est essentielle et où la collaboration entre professionnels n'est pas toujours acquise, la formation et l'information constituent aussi des modes d'action incontournables. De nombreuses villes en prennent conscience et commencent à mobiliser les compétences dont elles disposent pour mettre en œuvre et échanger des expériences

innovantes. Ce sont ces laboratoires d'innovation urbaine qu'il faut identifier et analyser car ce sont eux qui montrent la voie en agissant sur trois registres, celui de l'observation et du monitoring, celui de la mitigation et de la réduction des risques, et celui de l'adaptation et de la prise en considération des opportunités que peuvent offrir ces nouvelles conditions environnementales.

C'est à Stockholm qu'on comprend comment le concept de métabolisme peut s'appliquer à la conception et la gestion urbaine. Cette démarche facilite en effet la compréhension et la gestion intégrée d'entrées telles que matières premières ou produits alimentaires, et de sorties que sont par exemple les produits manufacturés et les déchets. Elle facilite le croisement, l'interaction et les transformations des différents flux de matière et d'énergie qui interviennent dans le cycle de vie d'une zone urbaine et modifie en profondeur le principe même de management d'une ville ou d'un quartier.

À Barcelone, Salvador Rueda, directeur de l'Agence d'écologie urbaine, explique comment il a mis en œuvre sa méthodologie basée sur l'identification d'une cinquantaine d'indicateurs qui lui permettent de définir et d'ajuster le modèle d'une ville qu'il définit comme compacte, complexe, efficiente et favorable à la cohésion sociale ; des indicateurs qu'il utilise aussi bien pour concevoir de nouveaux aménagements que pour des projets de renouvellement urbain dans un objectif de durabilité prenant en compte un maximum de facteurs⁸.

C'est à Stuttgart qu'on peut analyser la complexité d'une démarche intégrée qui permet de réduire les ICU de façon significative. C'est à Montréal qu'un « Plan d'action canopée », accroissant le couvert végétal au cœur des quartiers, a été instauré pour lutter contre les ICU tout en renforçant la qualité de l'espace public. C'est à Marseille, à Toulouse et à Vienne, qu'urbanistes et météorologues collaborent sur des projets d'aménagement urbains à diverses échelles pour évaluer leur impact et diminuer les effets d'îlot de chaleur urbain. Mais c'est aussi du côté de la théorie des systèmes complexes qu'il faudrait rechercher des méthodes innovantes, et interroger les chercheurs de cette discipline qui étudient avec intérêt les systèmes urbains et à qui pourrait revenir le mot de la fin : « En matière d'urbanisme, pendant longtemps, on a été dans l'intuitif et le qualitatif. On faisait des études sur des quartiers et on en tirait des conclusions plus générales. Aujourd'hui, nous avons de plus en plus de moyens pour tester quantitativement et à grande échelle certaines idées. Nous sommes mieux

⁸ ECHAVE, C., *Ver des de la ciudad, Potential de habitabilidad térmica en espacios urbanos*, thèse, Université polytechnique de Catalogne, Barcelone, 2007.

of urban heat islands must naturally be dealt with in a coordinated manner, and this is why the phenomenon constitutes one of the most complex, the least well-defined, and the most difficult things to integrate properly into development projects, regardless of their objective or scale. Not only are the causes of UHI extremely diverse and contradictory, but the phenomenon itself varies depending on the daily, weekly or seasonal period, influenced by wind force, cloud cover, altitude and proximity to the sea or an area of water. It also depends on urban forms, density, the type of surface coverings and amount of greenery in public spaces. Until we have extensive and concrete research on this subject, contractors/architects, urban designers and building managers are unable to address the UHI phenomenon effectively in their various tasks.

Today, most of those involved in development are aware of the need to include UHI mitigation strategies in their urban strategies, for example, in development projects, but also the difficulties. There are many reasons for this: The need for an integrated approach to address urban heat islands in a cross-disciplinary manner is compounded by the complex and fragmented nature of local planning. These difficulties are almost automatically compounded by the "silo" mentality that exists in municipal departments, and inherent conflicts that arise because of contrasting needs and timeframes (between political domains, technical departments, planners and inhabitants). Knowledge and practical skill generally remain separated and this undermines the vital comprehensive approach needed to assemble such diverse skill areas as water and green/blue grid management, urban network engineering, architecture and landscape design, and many others. In addition to this, there are problems related to working in dense, pre-existing urban tissue, which complicates decision-making processes through restrictions on land use and tends to freeze pre-existing conditions. Lastly, restrictions concerning the local architectural, urban and landscape heritage oblige us to proceed cautiously and sometimes contradict our environmental objectives.

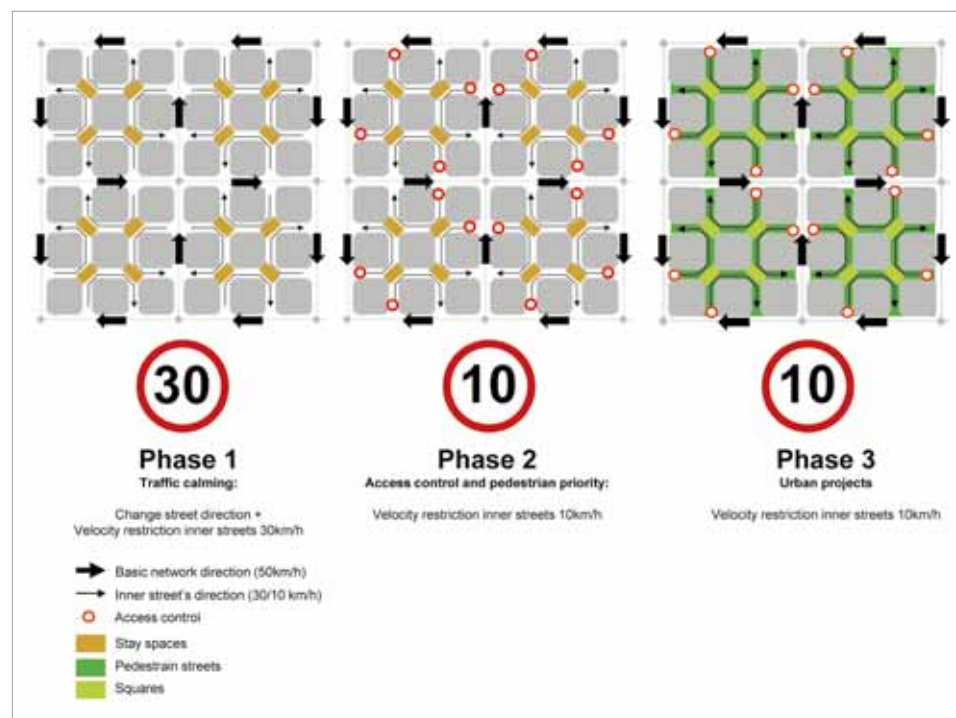
Faced with all of these constraints, many cities have been forced to operate somewhere between "experimentation" and "empiricism", turning to researchers for help as they acquire new forms of knowledge and raise stakeholder awareness. In order to implement cross-disciplinary approaches throughout the strategy planning stages and the development project itself, and bring together different specialities (urban programming, meteorology, environmental science, architectural and landscape design) while also managing to involve inhabitants, requires projects to be developed based on a comprehensive vision. It requires us to reconcile different perspectives ranging from planning policy, academic and industrial research, project management and services, all the way to the end user. The brilliant vision of a designer, arguments about dogma (raging in some settings) or outdated methods and instruments (too common in planning practice) will not help us manage this unprecedented and complex situation. The new context requires the participation of all stakeholder/citizens and since cooperation between practitioners is not always forthcoming, training and information are the best instruments we have available. Many cities are aware of this and have already started mobilising the expertise that is available to exchange ideas and implement innovative experiments. These testing grounds for urban innovation need to be identified and studied as they pave the way in three domains: observation and monitoring, mitigation and risk reduction, and adaptation and reflection about opportunities presented by these new environmental conditions.

The city of Stockholm has taken the metabolism concept and applied it to urban design and management. This approach simplifies the urban system and enables an integrated management of inputs (e.g. raw materials and food products) and outputs (e.g. manufactured products and waste). This facilitates crossover actions, interaction and the transformation of different material and energy flows that make up the life cycle of an urban zone, and it profoundly changes the basic principle of city/district management.

In Barcelona, Salvador Rueda, director of the local urban ecology agency, explains his operational method, which is based on about fifty indicators that were chosen to allow him to define and adjust a city model defined as compact, efficient, and supportive of social cohesion. This is a method that is equally useful for designing new developments or urban revitalisation projects, in which the best urban design integrates the maximum number of sustainability factors⁸.

The Stuttgart example, allows us to examine the complexity of an integrated approach aimed at significantly reducing UHI effects. In Montreal, a canopy action plan to increase green cover at the heart of districts was put in place to reduce UHI effects while improving the quality of public spaces. In Marseille, Toulouse and Vienna, urban designers and meteorologists are working together on development projects at various scales to evaluate their effectiveness and mitigate urban heat islands. However, we also need to study the theory of complex systems,

⁸ ECHAVE, C., *Ver des de la ciudad, Potential de habitabilidad térmica en espacios urbanos*, thèse, Université polytechnique de Catalogne, Barcelone, 2007



Principe d'aménagement de super-blocs dans l'Eixample de Barcelone.
Planning principle for the super blocks in the Eixample, Barcelona.

Source : Agence d'écologie urbaine de Barcelone

search for innovative methods and question the specialised researchers interested in urban systems who might have the final answer: "In urban planning, for a long time, we have been proceeding intuitively and qualitatively. We have studied districts and drawn very general conclusions about them. Today, we have more and more ways to test particular ideas quantitatively, and on a large scale. We are better equipped to identify the dominant mechanisms. Ultimately this will allow us to carry out research that is more representative and more concrete"⁹.

It is now important that practitioners fully acknowledge that the urban environment has radically changed, and that their way of comprehending and transforming cities must also change. Those in charge of local governance, renewal and maintenance also need to adopt resolutely cross-disciplinary approaches so that they can apply well-founded solutions as a team, involving all of the relevant professionals, but also citizens; since it is essential that the latter are fully involved in any foreseen changes. They have at their disposal a new generation of highly sophisticated technologies, for instance, communication and simulation technology, connected objects, and big data. These technologies are destined to revolutionise planning practice and allow us to manage the extraordinary complexity of the contemporary city more effectively¹⁰.

armés pour identifier les mécanismes dominants. Cela permettra à terme de fournir des études plus représentatives et plus concrètes⁹».

Il serait souhaitable que les professionnels de l'urbanisme prennent pleinement conscience que leur environnement urbain a radicalement changé et que leur façon de l'appréhender et de le transformer doit également être revue. Les acteurs qui en assurent le renouvellement, la maintenance et la gouvernance doivent adopter des démarches résolument transdisciplinaires pour mettre en œuvre ensemble des solutions soutenables impliquant toutes les parties prenantes professionnelles mais aussi citoyennes tant il est essentiel que ces derniers soient pleinement associés aux mutations envisagées. Ces acteurs disposent pour cela d'une nouvelle génération de technologies extrêmement sophistiquées de communication, de simulation, d'objets connectés et de big data qui devraient bouleverser les pratiques de l'urbanisme et leur permettre de mieux gérer l'extraordinaire complexité des métropoles urbaines contemporaines¹⁰.

⁹ LOUAIL, T., LENORMAND, M., PICORNELL, M. (*et al.*), "Uncovering the spatial structure of mobility networks", *Nature Communications*, Nature Publishing Group, 21 January 2015.

¹⁰ See research by Carlo Ratti from MIT in particular (SENSEable City Lab).

⁹ LOUAIL, T., LENORMAND, M., PICORNELL, M. (*et al.*), « Uncovering the spatial structure of mobility networks », *Nature Communications*, Nature Publishing Group, 21 janvier 2015.

¹⁰ Voir notamment les travaux de Carlo Ratti au MIT (SENSEable City Lab).

LES PARADOXES CLIMATIQUES DES VILLES EUROPÉENNES

Le réchauffement climatique global est aujourd'hui un fait avéré¹ même si des incertitudes demeurent quant à l'évaluation de ses conséquences. Objet de recherches par le milieu scientifique, largement relayé par les médias, il est à l'origine d'un stress des villes avec les vagues de chaleurs, la pollution de l'air, les enjeux hydriques liés à la surconsommation de l'eau par la végétalisation ou sa raréfaction. Dans ce contexte d'incertitudes, il semble paradoxal de dissocier la conception de l'urbain des enjeux du climat, de l'eau et de la nature, d'autant que les connaissances en climatologie urbaine sont de plus en plus étendues. Cette science relativement récente s'est établie sur des expériences qui ont été menées à toutes les époques² et sous toutes les latitudes³. Le xx^e siècle n'y dérogera pas et a été marqué par un renouvellement des approches entre l'architecture et le climat. En Australie, Glenn Murcutt, en Autriche, Hermann Kaufmann, en France, Pierre Lajus, Roland Schweitzer, Philippe Madec ont inventé des approches différentes tenant compte des orientations, des vents dominants, de la topographie, des effets de surface, des ombrages, du stockage thermique, de la ventilation naturelle, etc. Cependant, contrairement à ces projets architecturaux, la transposition de la prise en considération du climat à l'échelle urbaine se limite bien souvent, aujourd'hui encore, à une simple adaptation des outils de planification et d'urbanisme. Dans ces circonstances, le réchauffement climatique pourrait-il représenter l'opportunité de nouveaux projets adaptés aux enjeux contemporains des villes ? Finalement, la frilosité des villes à répondre aux enjeux du réchauffement climatique n'est-elle pas le révélateur de leur stress face à leur évolution ?

La lutte contre le réchauffement climatique : des paradoxes qui s'imposent aux villes

Il n'est pas inutile de rappeler, comme le fait le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), que les villes sont en première ligne dans le combat contre le réchauffement climatique. Le Giec s'accorde sur un constat : cette lutte nécessite d'une part une approche qui vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre, d'autre part à réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains par l'anticipation et l'adaptation. Ainsi, les fortes tensions liées au climat constituent une opportunité pour les concepteurs de renouveler la fabrique de l'architecture et de l'urbain. Le Programme européen de la plate-forme d'observation des projets et des stratégies urbaines fait ressortir trois paradoxes qui révèlent la complexité à laquelle les villes européennes sont confrontées.

Le paradoxe des formes urbaines et de la densité, générateurs d'îlots de chaleur urbains

L'une des conséquences climatiques les plus médiatisées avec l'effet de serre est la formation d'îlots de chaleur urbains⁴. Ces derniers ne manquent pas de soulever des paradoxes quant à leur prise en compte dans le dessin des formes urbaines. Des travaux scientifiques, à partir des années soixante, notamment ceux de T.R. Oke sur les phénomènes de radiations des îlots de chaleur urbains des grandes conurbations d'Amérique du Nord⁵, ainsi que d'autres plus récents en Europe, ont démontré que les formes urbaines constituent l'un des facteurs clefs de la formation des îlots de chaleur urbains. De nombreuses expériences historiques et contemporaines montrent un savoir-faire. Que ce soit à Tolède⁶ qui, indépendamment de l'effet de l'eau et du végétal, en témoigne par ses formes urbaines, ou à Stuttgart qui réfléchit à la circulation de l'air en ville en réponse à la pollution atmosphérique d'origine industrielle⁷, toutes interrogent la régulation du climat dans

¹ STOCKER F. T., QIN D. (dir.), Contribution du Groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2013.

² Citons comme exemples les tours des vents à Hyderabad au Pakistan ou les habitations troglodytes à Petra en Jordanie.

³ WRIGHT, D., *Manuel d'architecture naturelle*, Marseille, Parenthèses, 2004.

⁴ Ils se caractérisent par une élévation localisée des températures enregistrées en milieu urbain par rapport au périurbain, au milieu rural ou forestier.

⁵ Oke, T.R., *Boundary layer climates*, Londres, Routledge, 1978.

⁶ Le tissu de Tolède est complexe, avec un système de places triangulaires et de rue courbes, où l'effet venturi du vent permet notamment de rafraîchir les cœurs de ville.

⁷ Un travail cartographique ayant pour but d'aider à la décision pour la planification et le zonage s'est traduit par une orientation sur les formes bâties.

EUROPEAN CITIES AND CLIMATE PARADOXES

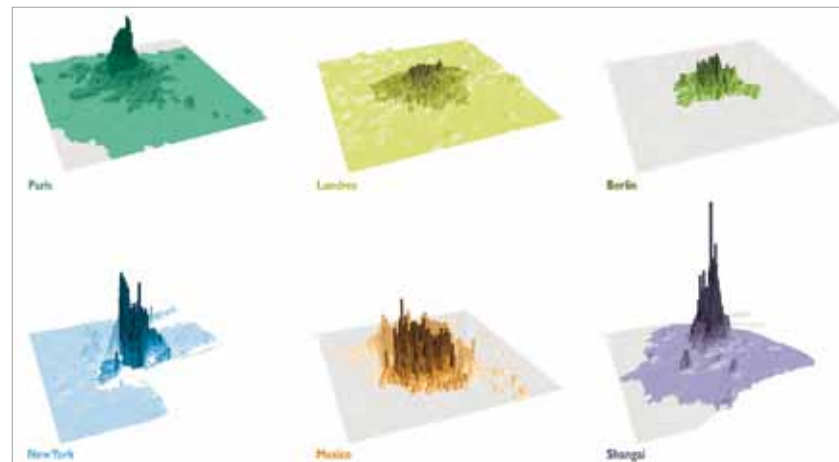
Global warming is today an observed fact¹ even if uncertainties remain over what its consequences will be. This much-publicised and scientifically researched phenomenon places stress on cities along with heatwaves, air pollution and water-related issues such as the excessive use of water for urban green infrastructure and water scarcity. In this context of uncertainty, it seems paradoxical for urban design to be kept separate from issues of climate, water and nature, especially since urban climatology research is increasingly advanced. This relatively recent science has its foundations in experiments carried out through the ages², all over the world³. The 20th century was no exception in this sense and was marked by the introduction of new approaches linking architecture and climate. Glenn Murcutt in Australia, Hermann Kaufmann in Austria, and Pierre Lajus, Roland Schweitzer and Philippe Madec in France devised various approaches that take into account building orientation, prevailing winds, topographical features, surface effects, shading, thermal storage, natural ventilation and so on. However, in contrast to these architectural projects, the application of climate considerations at the urban scale today is far too often limited to a simple adaptation of planning and urban design tools. There is also the question of whether or not climate warming might also represent an opportunity for new projects that are adapted to the challenges of today's cities. Lastly, perhaps the timid response of cities to climate change issues is actually a sign of their uncertainty about how to evolve.

The fight against climate change: Cities confronted with paradoxes

It is useful to recall, as emphasised by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) that cities are in the front line of the battle against global warming. The IPCC unanimously believes that this battle requires an approach aimed at reducing greenhouse gas emissions on the one hand, and reducing the vulnerability of natural and human systems through planning and adaptation on the other. The strong pressures created by the climate are an opportunity for designers to renew architectural forms and the urban fabric. Popsu (observatory for urban projects and strategies) has highlighted three paradoxes, which illustrate the complexity of the problem European cities are facing.

The paradox of urban forms and density as creators of urban heat islands

One of the most publicised climatic effects, along with the greenhouse effect, is the formation of urban heat islands⁴. However, many paradoxes emerge when we try to design new urban forms that integrate heat island mitigation measures. Scientific research as early as the 1960s, particularly that of T.R. Oke on the radiation phenomena of the urban heat islands of large north American cities⁵, as well as more recent research in Europe, showed that urban forms are one of the key factors in the formation of urban heat islands. Numerous experiments of past and present show that we have established know-how in this area. In Toledo, urban forms used in association with water and vegetation strategies testify to this⁶. In Stuttgart, researchers have been examining air circulation in the city as a response to the issue of industrial air pollution⁷. All of these strategies explore ways of regulating the city's climate based on urban forms. However, there is a paradox that exists between our desire to increase population density in cities and at the same time reduce urban heat island effects. So, which morphologies actually cause, or help reduce, heat in cities? Examining urban forms requires us to consider many criteria at once, such as building types, public spaces, sun control and shading devices, street orientation, soil permeability, urban textures, wind penetration and so on. Serge Salat, for example, showed that the roughness of urban surfaces plays a role in the accumulation of heat, that urban canyons trap more solar radiation



Densité comparée des villes de Paris, Londres, Berlin, New-York, Mexico, Shanghai, dans le cadre de la consultation du Grand Pari(s), 2008.

Comparison of population density for Paris, London, Berlin, New York, Mexico and Shanghai, used in the consultation for the Grand Paris project, 2008.

Rogers Stirk Harbour + Partners/London School of Economics/Arup pour l'AIGP

la ville par la forme urbaine. Seulement, comment agir face à ce paradoxe qui consiste à vouloir densifier les villes et, dans le même temps, diminuer les effets des îlots de chaleur urbains ? Quelles morphologies induisent — ou au contraire atténuent — la chaleur en ville ? Interroger les formes urbaines impose de prendre en considération simultanément de nombreux critères tels que les typologies, les espaces publics, les masques et zones d'ombrage, l'orientation des rues, la perméabilisation des sols, les textures urbaines, la pénétration du vent, etc. Serge Salat montre, par exemple, que la rugosité des surfaces urbaines joue un rôle sur l'accumulation de la chaleur, que les canyons urbains favorisent l'emprisonnement du rayonnement, et que le phénomène d'inertie est accentué par l'albédo. Ajoutons que le panel de solutions techniques — végétalisation des toits et des façades, le développement de l'habitat à basse consommation énergétique, l'émergence des matériaux bio-sourcés, etc. — est également bien identifié mais souvent mal mis en œuvre car trop normalisé. Seule certitude : les conclusions sur une morphologie urbaine unique semblent définitivement exclues. La ville dense optimise certes le ratio de surface par habitant et limite les déplacements et les gaz à effet de serre, mais elle accroît considérablement dans le même temps le phénomène d'îlots de chaleur urbain. Si le périurbain apporte une réponse face à l'îlot de chaleur, il n'en constitue pas pour autant une réponse satisfaisante. Car il faut aussi simultanément contenir l'étalement urbain et les nuisances qui lui sont associées, telles l'imperméabilisation des sols et l'utilisation de modes de transport émetteurs de CO₂. Aussi, cette complexité est d'autant plus renforcée en fonction des interactions entre la topographie, la situation géographique, la saison et le régime des vents. Cette complexité plaide pour une compréhension scientifique des phénomènes. Serge Salat déconstruit l'idée reçue de la ville dense en prenant l'exemple de Paris, ville à la densité horizontale, et de New York, ville à la densité verticale, qui ont des densités comparables de 20 000 habitants/km². En effet, si Paris intra-muros est aussi dense que Manhattan, les lilongs de Shanghai sont plus denses que bon nombre de quartiers

municipalité obtiendra les financements pour la rénovation des toitures et des cours, afin d'assurer une meilleure étanchéité ainsi qu'une isolation thermique et acoustique. Des fonds seront également attribués à l'installation de toits végétalisés, et le conseil municipal s'engage à introduire toutes les mesures nécessaires à la mise en œuvre de ces évolutions.

Conclusions

Pour réduire l'impact de l'îlot de chaleur urbain des grandes villes, il est possible d'introduire des stratégies visant à renforcer le rôle de la végétation et des toits verts en ville, ainsi qu'à encourager l'utilisation de matériaux dotés d'une capacité d'absorption calorifique moins élevée. Ce sont là les grands axes des stratégies déployées par les municipalités. Chaque cas doit être examiné séparément, et toutes les fonctions des espaces publics et des toitures doivent être étudiées d'un point de vue pluridisciplinaire. Il faut également tenir compte des caractéristiques climatiques des lieux et du rapport coût-efficacité. Il n'existe pas de solution unique et tous les aspects des différents quartiers doivent être pris en compte pour combattre l'effet ICU dans chaque agglomération.

En outre, la composante sociale des phénomènes urbains est fondamentale. Il est impératif d'éveiller les consciences, d'informer et de former les citoyens à être plus exigeants et à modifier leurs comportements pour générer moins de chaleur. Car il est tout à fait possible pour les habitants d'adopter des pratiques durables dans leur vie quotidienne et professionnelle : réduire leur consommation d'énergie, emprunter des moyens de transport moins polluants et qui produisent moins de chaleur résiduelle, ou encore diminuer le recours à la climatisation. Ils peuvent également participer au processus de construction urbaine en exigeant des espaces verts et publics de meilleure qualité, ainsi que, pourquoi pas, un espace public dont la conception même tient compte de la réduction de l'effet ICU.



Entre chaîne montagneuse et mer, l'inscription de Barcelone dans sa géographie.

The development of Barcelona has been influenced by the city's geographical location, situated between the sea and a mountain range.

REGARDS

PERSPECTIVES

DE LA VILLE BLANCHE, VERTE ET BLEUE À LA FORME URBAINE BIOCLIMATIQUE

Par rapport au sol naturel, les formes urbaines modifient la topographie et créent une texture rugueuse, qui perturbe l'écoulement du vent (réduction des vitesses et accroissement des turbulences) et piège les radiations solaires. Des matériaux artificiels à fort potentiel de captation de chaleur modifient l'équilibre énergétique (accroissement de température) et l'équilibre du cycle de l'eau (diminution de l'évaporation et de l'humidité). L'îlot de chaleur apparaît alors : les températures urbaines sont élevées de plusieurs degrés au centre des agglomérations par rapport à leurs périphéries.

Toutes les villes étudiées par le programme Popsu présentent ces phénomènes. La température à Barcelone s'est accrue, sous l'effet du changement climatique, de + 1,6°C depuis le XVIII^e siècle, avec une température interne à la ville supérieure de 3°C par rapport à la campagne environnante. À Toulouse, les différents scénarios d'évolution conduisent à des augmentations de température comprises entre 3° et 9°C en 2100.

La ville blanche, verte et bleue et la texture urbaine

La ville blanche, verte et bleue

Les stratégies de rafraîchissement peuvent être résumées en une formule : « la ville blanche, verte et bleue ». La ville blanche renvoie les radiations par des surfaces claires (à albédo élevé). Les médinas sont blanches. La ville verte est ombragée et rafraîchie par des espaces plantés. La ville bleue exploite les pouvoirs de rafraîchissement de l'humidité lorsqu'elle s'évapore.

La trame verte et bleue du projet Euroméditerranée crée une grande coulée verte sinueuse qui accélère la circulation du vent. La coulée

verte est un dispositif bleu avec des bassins permanents, des noues plantées, des jardins filtrants, des mares, des prairies humides, etc. La modélisation par Météo-France a montré que ce parc de 14 ha présente une différence de -3 à -6°C par rapport à la ville actuelle et de -2,5 à -4°C par rapport à un aménagement sans parc. L'effet se fait sentir jusqu'à 100 m en dehors du parc, portant la surface urbaine rafraîchie à 54 ha. La ville verte est mise en œuvre à Barcelone à travers la gestion de grands parcs urbains (36 parcs représentant un total de 202,79 ha). Rome développe une stratégie pour transformer ses espaces verts et publics en un réseau vert intégré. Les toits verts sont obligatoires à Stuttgart dans les plans de développement locaux. 50 km de rail urbain (sur 250 km) ont fait l'objet d'un verdissement. La ville verte permet de combiner rafraîchissement, protection des espaces naturels et inclusion sociale dans la révision du PLU du quartier des Izards-Trois Cocus à Toulouse. Montréal dispose d'un patrimoine naturel très diversifié : 25 grands parcs (12 parcs-nature et 13 parcs urbains), 1 410 parcs locaux, et plus de 100 jardins communautaires dans l'agglomération totalisent plus de 2 900 ha. 1200 000 arbres publics (dont 230 000 arbres de rue dans la ville) font l'objet d'un suivi scientifique par inventaire aéroporté avec la détermination d'un indice de canopée utilisé comme indicateur d'objectif et comme mesure de l'atténuation thermique. Cet indice fait l'objet d'une analyse, d'un bilan, de cartes, de tableaux, de recommandations. La ville bleue est mise en œuvre à Toulouse dans le Grand Parc Garonne : sa configuration, liée à la présence d'un fleuve passant par le centre ville, et sa composition largement végétalisée, constituent un îlot de fraîcheur intrinsèque à la ville.

La texture urbaine

La végétalisation et la gestion de l'eau permettent de réduire les effets d'îlot de chaleur en compensant un phénomène sous-jacent plus fondamental qui est la modification du climat urbain par la géométrie de la texture urbaine. La complexité géométrique des textures urbaines est telle que leur rugosité à toutes les échelles a pu être décrite par des fractales, c'est-à-dire des formes présentant une forme d'irrégularité plus ou moins ordonnée à toutes les échelles¹. Cette complexité géométrique crée une grande complexité de nano climats très variables localement. Elle a un impact sur la capture des radiations lumineuses et de la chaleur qui leur est associée. Elle a

¹ Serge Salat en collaboration avec Françoise Labbé et Caroline Nowacki, *Les Villes et les formes, Sur l'urbanisme durable*, Paris, Hermann, 2011.

FROM WHITE, GREEN AND BLUE CITIES TO THE BIOCLIMATIC URBAN FORM

Unlike natural ground surfaces, urban forms alter the contour of the land and create a rough surface that traps solar radiation and disrupts wind flow, reducing wind speed and increasing turbulence. Artificial materials with a high capacity for capturing heat upset the urban energy balance (by increasing temperatures) and the water cycle balance (by reducing evaporation and humidity). Consequently, a heat island is formed, which means that temperatures in the city centre are several degrees higher than in outlying areas.

All of the cities studied in the Popsu programme are affected by this phenomenon. In Barcelona, climate change has led to a temperature rise of more than 1.6°C since the 18th century, with temperatures 3°C higher in the city than in the surrounding countryside. In Toulouse, various climate change scenarios have predicted a temperature rise of between 3°C and 9°C by 2100.

White, green and blue cities and the urban texture

White, green and blue cities

Cooling strategies can be summed up in the following phrase: "white, green and blue cities". White cities reflect radiation off their light-coloured surfaces (high albedo). The medina is white. Green cities are shaded by trees and cooled by their planted spaces. Blue cities exploit the cooling power of moisture as it evaporates.

In the Euroméditerranée project, the green and blue network forms a long, sinuous green belt, which accelerates wind flow through the site. This green belt is a "blue" device with its permanent reservoirs, planted valleys, filtering gardens, ponds, wet meadows, etc. Simulations produced by Météo-France show that the finished 14-hectare park will be 3°C to 6°C cooler than the current city conditions; and 2.5°C to 4°C cooler than the same development project without the park. This cooling effect can be felt up to 100 metres away, refreshing an urban area that covers 54-hectares. The green city approach is used in Barcelona as part of the management of its large city parks (36 parks with a total of 202.79 hectares). Rome is developing a strategy to transform its green spaces and public spaces into an integrated green network. Green roofs have been made obligatory in Stuttgart's local development plans. Fifty kilometres of the city's railway (out of a total of 250 km) have undergone a greening process. In Toulouse, the Izards-Trois Cocus is a "green city" neighbourhood that combines cooling measures with the protection of natural spaces and social inclusion in its revised local land use plan. Montreal has a very rich natural heritage: 25 large parks (12 nature parks and 13 city parks), 1,410 smaller local parks, and more than 100 community gardens in the greater Montreal area. This makes a combined total of over 2,900 hectares. Scientists are monitoring 1,200,000 public trees (including 230,000 roadside trees in the city) using aerial surveys and have established a canopy cover indicator as an objective indicator for measuring reductions in heat transfer. This indicator is the subject of a climate analysis, assessment, maps, charts and recommendations. In Toulouse, the blue city approach is being implemented in the Grand Parc Garonne development. Its configuration, linked to the presence of the river that flows through the central city, and composed of densely planted spaces, constitutes a "coolness island" in the city.

Urban textures

Greening strategies and water management help reduce heat island effects by compensating for an underlying, and more fundamental phenomena: modification of the climate caused by the geometry of urban texture. The complex geometry of urban textures is such that



La médina de Hammamet : ville blanche dont les pavés après la pluie retiennent l'humidité qui s'évapore lentement et où un seul arbre suffit à ombrager la rue sinueuse et très étroite.

The Medina in Hammamet: a white city with cobblestone streets that retain moisture when it rains, then slowly allow the moisture to evaporate. In the winding, narrow streets, a single tree is sufficient to shade the entire street.

Photographie : Françoise Labbé ; source : Serge Salat, et al., 2011

également un impact sur le vent dont elle réduit la vitesse et augmente la turbulence, affectant ainsi les capacités de ventilation et de rafraîchissement naturel de la texture urbaine.

Agir sur la texture urbaine elle-même en la faisant évoluer progressivement au cours du XXI^e siècle vers des géométries bioclimatiques est l'action de long terme nécessaire pour compléter les actions de court et moyen termes de la ville blanche, verte et bleue. Les villes vont renouveler leur forme et leur texture au cours du XXI^e siècle comme elles l'ont fait au cours des siècles précédents. Le Paris d'Haussmann, et même celui de Balzac, n'étaient déjà plus celui du XVIII^e siècle. Le Manhattan des années trente n'est plus celui d'Henry James et Midtown a été re-zonée récemment pour faire surgir dans les prochaines décennies une dense forêt de tours de verre ultramodernes venant remplacer les bâtiments des années trente. Les formes urbaines se transforment, plus lentement certes que le temps court de l'action politique, mais inexorablement et une nouvelle période morphologique va créer les villes du XXI^e siècle, en modifiant profondément celles que nous a légué le XX^e. Les sections suivantes apportent quelques éclairages sur l'impact des formes urbaines sur le microclimat local des textures urbaines afin de contribuer à la réflexion sur la transformation des formes.

Le microclimat urbain présente des variations locales très fortes. Les villes sont des surfaces physiques poreuses, complexes à plusieurs échelles, associant un haut degré de variabilité et une structure sous-jacente plus ou moins

"roughness" (at every scale) has to be modelled using fractal algorithms: in other words, irregular shapes that follow a certain organisational pattern (more or less) at every city scale¹. This complex geometry generates very complex nano-climates with high variability within a localised area, and has an impact on how light radiation is captured and the heat associated with it. It also has an impact on the wind (reducing its speed and increasing turbulence), which in turn affects the natural ventilation and cooling capacity of the urban texture.

Over the course of the 21st century, it is essential that we gradually change the urban texture itself, helping it to evolve towards bioclimatic geometry. This long-term action will complement the short and medium-term actions of white, green and blue cities. During the 21st century, cities will renew their forms and textures as in previous centuries. The Paris of Haussmann, and even Balzac, was not the same as the Paris of the 18th century. Manhattan in the thirties was not the city of Henry James. Midtown had already been re-zoned to allow a dense forest of ultramodern glass towers to spring up replacing the buildings of the thirties. Urban forms incessantly change – albeit more slowly than political change – but still a new morphological period will shape 21st century cities and greatly modify the built heritage of the 20th century. The following sections will offer some insight into the impact of urban forms on the local microclimate of urban textures, and examines some possible ways of transforming them.

The urban microclimate is subject to a high level of local variation. Cities are porous physical surfaces that are complex on several levels. This high level of variability is combined with an underlying structure that is organised or disorganised to varying extents. Cities are comprised of built volumes (solids) and empty spaces (voids). The urban texture and its orientation influence the penetration of sunlight (light and heat) and wind into the city. They have a significant influence on the heat island effect.

Urban microclimates: a mosaic of nano-climates

There is no single climate in the city, but a mosaic of microclimates. In the layer between the ground and the top of buildings there reigns a chaotic array of microclimates. From one street to another, the weather changes, as we pass into the shadow of a building or through a public park; cooler or warmer, more or less windy. The behaviour of an urban space vis-à-vis the climate can be broken down into two parts:

- The response to the particular urban morphology of a space.
 - The corrective devices that exist within the space (white, green and blue cities).
- The particular morphology of each space dictates a number of phenomena:
- The distribution of shaded and sunny areas.
 - The solar and thermal radiation fields they generate.
 - Air flow, as it is affected by the wind and thermal gradients.

These three phenomena have a direct impact on the city's thermal balance and energy balance as well as the heat island. They determine surface temperatures in the surrounding area, air speed when it hits buildings and passers-by, and air temperature as a result of these exchanges.

The elements contained in urban spaces, in particular trees and water, can be used to correct these initial conditions very effectively:

- By creating shade in sunny areas.
- By introducing "latent" heat transfers (cycles of evaporation using water or evapotranspiration from greenery) that are likely to change the air temperature, or surface temperatures.

All of these microclimatic phenomena are the outcome of complex interactions between, on one hand, urban texture and solar radiation, and on the other, wind penetration.

The heat island is reinforced by urban textures that capture light radiation

Solar radiation in cities

Interactions between buildings, squares and streets with sunlight and the sky, defines the urban environment in a dynamic and temporal manner. The shape of the skyline and the height of open sky, and the growing/shrinking of shadows throughout the course of the day, amplify the dynamic properties of daylight. When sunlight penetrates the middle of an urban void there are thermal effects, which generate the movement of masses of air, ventilating the streets. This is why light is one of the most important variables

¹ Serge Salat with Françoise Labbé and Caroline Nowacki, *Les Villes et les formes, Sur l'urbanisme durable* (Paris, Hermann, 2011).



L'espace urbain de Delft est polarisé par les clochers de la nouvelle église, de l'hôtel de ville, et de la vieille église. Alignements des clochers, cadrages, décadrages, fentes verticales obscures, ouvertures horizontales au ciel et à la lumière, linéarité des canaux, retournements et nouveaux alignements scandent les parcours qui mêlent l'eau et les arbres.

Urban space in Delft is punctuated by the new church tower, the town hall and the old church. Lines of church towers, centred or off-centre, dark vertical slots and horizontal openings to the sky and light, the linearity of the canals, double-backs and new alignments, slicing out pathways in a blend of water and trees.

Photographie : Serge Salat ; source : Serge Salat, et al., 2011



La ville d'Amsterdam est structurée pour des raisons économiques de transport par des canaux, mais ceux-ci sont ombragés et les îlots, découpés par le parcellaire en fines lanières perpendiculaires à la plus grande longueur, enferment de grands espaces verts privatifs par chaque parcelle, mais unifiés visuellement et climatiquement. Les limites sont constituées par des masses végétales à taille humaine autorisant intimité et sociabilité.

The city of Amsterdam is built around canals for economic reasons, but these are well-shaded by trees. Inside the city blocks, land is divided into long, thin, strips (arranged perpendicular to the long side of the rectangular block). These strips contain large, green spaces divided into private plots, but unified visually and climatically. Plots are separated by human-scale hedges, which allow inhabitants privacy but also social interaction.

Photographie : Françoise Labbé ; source : Serge Salat, *et al.*, 2011

ordonnée. Elles sont à la fois des volumes construits (des pleins) et des espaces vides. La texture urbaine et son orientation influencent la pénétration du soleil (de sa lumière et de sa chaleur) et du vent dans la ville. Elles ont une influence importante sur les îlots de chaleur.

Les microclimats urbains : une mosaïque de nano climats

Il n'y a pas un seul climat dans une ville, mais une mosaïque de microclimats. Dans la couche qui va du sol au sommet des immeubles règne le chaos microclimatique. D'une rue à l'autre, à l'ombre d'un immeuble, dans un parc public, le temps change. Plus ou moins froid, plus ou moins venteux. Le comportement d'un espace urbain vis-à-vis du climat peut, en première approche, être subdivisé en deux éléments :

- La réponse due à la morphologie propre de l'espace ;
- la correction apportée par les éléments contenus par l'espace (c'est la ville blanche, verte et bleue).

La morphologie propre de l'espace commande un certain nombre de phénomènes :

- La répartition des zones ombrées et ensoleillées ;
- les champs radiatifs solaire et thermique qui en découlent ;
- les écoulements d'air sous les effets du vent ou des gradients thermiques.



Tolède, le tissu urbain d'une ville romaine qui a gardé sa forme arabe et médiévale. Les rues courbes et sinueuses, les ouvertures et les fermetures créées par de petites places triangulaires, l'ombrage des rues étroites créent un tissu urbain minéral et frais, ventilé et ombragé, dont la température est de plusieurs degrés inférieure à celui de la ville moderne.

Toledo: the urban fabric of a Roman town that has preserved its Arabic-influence and medieval shape. The curved and winding streets, openings and closings formed by the small triangular squares and shaded narrow streets, create a cool, mineral urban fabric that is well-ventilated and shady, and where temperatures are several degrees lower than the modern city.

Photographie : Françoise Labbé ; source : Serge Salat, *et al.*, 2011



Tolède. Image du paradis, le jardin, ici entouré et délimité par la muraille de Tolède et la porte d'Alphonse VI, dans le palais que s'est fait construire au XVIII^e siècle le cardinal Lorenzana, est un lieu clos, hortus conclusus.

Toledo. The garden, an image of paradise, encircled and delimited by the Toledo city walls and the Alphonse VI gate, outside a palace built in the 18th century by Cardinal Lorenzana. An enclosed space, hortus conclusus.

Source : Serge Salat, *et al.*, 2011

BIBLIOGRAPHIE

275

- BERTEAUX, D. (et al.), *Changements climatiques et biodiversité du Québec, vers un nouveau patrimoine naturel*, Québec, Presses de l'Université du Québec, 2014.
- BOZONNET, E., MUSY, M., CALMET, I., RODRIGUEZ, F., « Modeling methods to assess urban fluxes and heat island mitigation measures from street to city scale », *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 10, issue 1, 2013, pp. 62-77.
- CARRERAS, C., MARIN, M., MARTIN VIDE, I., MORENO, MC., SABÍ, J., « Modificaciones térmicas en las ciudades, Avance sobre la isla de calor en Barcelona », *Documents d'anàlisi geogràfica*, 17, 1990, pp. 51-77.
- DAVIS, N.D., LINDSEY, L., *At Home in the sun : Open House Tour of Solar Homes in the United States*, Storey Books, 1979.
- DIDILLON, J.-M., DIDILLON, H., DONNADIEU, C., DONNADIEU, P., *Habiter le désert, Les maisons mozabites, recherches sur un type d'architecture traditionnelle pré-saharienne*, Mardaga, Liège, 1977.
- GROS, A., BOZONNET, E., INARD, C., « Cool materials impact at district scale—Coupling building energy and microclimate models », *Sustainable Cities and Society*, vol. 13, octobre 2014, pp. 254-266.
- HIDALGO, J. (et al.), « Advances in Urban Climate Modeling », *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1148, 2008, pp. 354-374.
- KALANDA, D.B., OKE, T.R., STEYER, D.G., « Parametrization of the heat storage in urban areas », *Urban Ecology*, n° 5, 1981, pp. 45-48.
- LAMBERT-HABIB, M. L., HIDALGO, J., FEDELE, C., LEMONSU, A., BERNARD, C., « How is climatic adaptation of cities taken into account by legal tools ? Introduction of water and vegetation by French town planning documents », *Urban Climate*, vol. 4, 2013, pp. 16-34.
- LECONTE, F., BOUYER, J., CLAVERIE, R., PÉTRISSANS, M., « Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment : Evaluation of the method using mobile measurements », *Building and Environment*, vol. 83, janvier 2015, pp. 39-49.
- LEMONSU, A., MASSON, V., SHASHUA-BAR, L., EREL, E., PEARLMUTTER, D., « Inclusion of vegetation in the Town Energy Balance model for modeling urban green areas », *Geoscientific Model Development Discussions*, 5, 2012, pp. 1977-1393.
- MAGNAGHI, A., *La biorégion urbaine, petit traité sur le territoire bien commun*, Paris, Eterotopia France, 2014, p. 31.
- MALLER, C., TOWNSEND, M., BROWN, P., ST LEGER, L., « Healthy Parks, Healthy People : the Health Benefits of Contact with Nature in a Park Context », *A Review of Current Literature*, Parks Victoria, Deakin University, Faculty of Health & Behavioural Sciences, Melbourne, 2002.
- MAUGARD, A., *Regard sur la ville, vers de nouveaux modes de vie*, Champs-sur-Marne, Éditions du CSTB, 2010.
- MORENO, MC., *Climatología urbana*, Barcelona, Edicions Universitat de Barcelona, 2010.

- OKE, T.R., *Boundary layer climates*, Londres, Routledge, 1978.
- PIGEON, G., LEMONSU, A., MASSON, V., HIDALGO, J., « L'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville », *La Météorologie*, vol. 62, pp.39-47.
- PIGEON, G., LEGAIN, D., DURAND, P., MASSON, V., « Anthropogenic heat release in an old European agglomeration (Toulouse, France) », *International Journal of Climatology*, vol. 27, n°14, 2007, pp.1969-1981.
- RUEDA, S. (et al.), *Libro Verde de Sostenibilidad Urbana y Local en la Era de la Información*, Madrid, Ed. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012.
- RUEDA, S. (et al.), *Guía Metodológica para los Sistemas de Auditoría, Certificación o Acreditación de la Calidad y Sostenibilidad en el Medio Urbano*, Madrid, Centro de Publicaciones Ministerio de Fomento, 2012.
- RUEDA, S., CÁCERES, R., CUCHÍ, A., BRAU LL, *Urbanismo Ecológico, Su Aplicación en el Diseño de un Ecobarrio en Figueres*, Barcelone, Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2012.
- SALAT, S., LABBÉ, F., NOWACKI, C., *Les Villes et les formes, Sur l'urbanisme durable*, Paris, Hermann, 2011.
- STEWART, I.D., OKE, T.R., « Local Climate Zones for Urban Temperature Studies », *American Meteorological Society*, vol. 93, Issue 12, Dec. 2012, pp.1879-1900.
- TERRIN, J.-J. (dir.), *Jardins en ville, villes en jardin*, Marseille, Parenthèses, 2013.
- WRIGHT, D., *Manuel d'architecture naturelle*, Marseille, Parenthèses, Marseille, 2004.

LES AUTEURS

279

BIDET Yves, est ingénieur, diplômé de l'École nationale de la météorologie. Il est responsable de la division Études et climatologie de la Direction interrégionale sud est de Météo-France; membre du comité d'orientation du Groupe régional des experts du climat (Grec) de la région Paca.

BIDET Yves, is an engineer and graduate of the Ecole nationale de la météorologie (national meteorological school). He is in charge of climatology studies for the south-eastern interregional headquarters of Météo-France. He is also a member of the steering committee for the Grec (group of regional climate experts) for the Paca region of France.

CHANCIBAULT Katia, est chercheur à l'Ifsttar et à l'IRSTV depuis 2007. Dans ce dernier institut composé de plusieurs établissements, elle co-anime le groupe de travail Micro-climat urbain et énergie dont les membres ont été très impliqués dans le projet VegDUD, financé par l'ANR. Ses thématiques de recherche visent à développer des outils d'experts qui permettent aux gestionnaires d'évaluer en amont, du point de vue hydroclimatologique, leur politique publique en terme d'adaptation au changement climatique.

CHANCIBAULT Katia, has been a researcher at the Ifsttar (French institute of transport science and technology) and theIRSTV (Institute for Research on Urban Sciences and Techniques) since 2007. For theIRSTV institute, composed of several organisations, she co-chairs the urban microclimate and energy workgroup, whose members have been heavily involved in the VegDUD project funded by the ANR (national research agency). Her research topic aims to develop specialised tools that will allow project managers to assess public policies on climate change adaptation in the pre-planning stages of projects.

ECOLAN Armelle, est chargée d'études au sein du service Études Urbaines de la métropole de Rennes. Ses missions portent essentiellement sur les questions de planification territoriale et de conseil en aménagement et urbanisme auprès des communes. Elle travaille également sur l'intégration des questions « énergie-climat » dans les documents de planification.

ECOLAN Armelle, is a research officer in the urban studies department for the city of Rennes (service Études Urbaines de la métropole de Rennes). Her tasks are mainly related to local planning questions and providing guidance to municipalities on development and urban planning issues. She also studies how to integrate "energy-climate" matters into planning documents.

FILPA Andrea, est professeur en Urbanisme à l'université Roma Tre. Ses domaines de recherche: la planification environnementale de zones protégées, de réseaux écologiques, et plus récemment la planification urbaine pour l'adaptation au changement climatique. Coordinateur du secteur *Insedimenti urbani* du projet de recherche ministériel de stratégie nationale à l'adaptation au changement climatique (Strategia nazionale di adattamento climatico, Snac). Membre du comité scientifique du projet BlueAp (Commune de Bologne) et de l'Observatoire national *Città Clima* soutenu par l'Université d'architecture de Venise (IUAV) et Legambiente. Membre du Comité scientifique du WWF Italia.

FILPA Andrea, is a professor of urban planning at Roma Tre university. His research areas include environmental planning for protected zones, ecological networks, and most recently, urban planning and climate change adaptation. Coordinator of the *Insedimenti urbani* project for the ministerial research project for a national strategy of climate change adaptation (Strategia nazionale di adattamento climatico, Snac). Member of the scientific committee for the BlueAp project (Bologna) and the *Città Clima* national observatory, supported by the Venice architectural university (IUAV) and Legambiente. He is also a member of the scientific committee for WWF Italy.

FOISSARD Xavier, est doctorant au laboratoire de recherche LETG Rennes Costel à l'université de Rennes 2. Sa thèse porte sur l'îlot de chaleur urbain dans l'agglomération rennaise dans le contexte du changement climatique.

FOISSARD Xavier, is a PhD student at the LETG Rennes Costel research laboratory at Université de Rennes 2. His doctoral research project focusses on the urban heat island effect in the Rennes urban area in the context of climate change.

GEILING Franck, est architecte-urbaniste, directeur de l'Architecture, de l'Urbanisme et du Développement durable de l'EPA Euroméditerranée - Marseille. En charge du projet EcoCité et co-animateur du réseau des aménageurs et opérateurs de la ville méditerranéenne durable en association avec le CMI, la Banque Mondiale, la BEI, l'AFD et la CDC. A enseigné à l'École d'architecture de Marseille, à l'Institut d'aménagement régional ainsi qu'au Politecnico de Turin.

GEILING Franck, is an architect and an urban planner, he is the urban planning, architecture and sustainable development director at Euromediterranean Urban Development Agency - Marseille. He manages the Ecocity project and participates in the network of developers and operators of the Mediterranean Sustainable City in association with CMI, the World Bank, EIB, AFD and the CDC. He has taught at the School of Architecture of Marseilles, at the Institute of Regional Planning and the Politecnico of Torino.

HIDALGO Julia, est physicienne, docteur en physique de l'atmosphère, chargée de recherche CNRS, chercheur rattaché au laboratoire LISST, membre de l'association internationale de Climatologie Urbaine IAUC.

HIDALGO Julia, physicist, doctor in atmospheric physics, CNRS associate researcher, member of the LISST, Member of the International association of Urban Climate IAUC.

HOUET Thomas, est géographe, docteur en géographie, chargé de recherche CNRS, chercheur rattaché au laboratoire Geode, membre du groupe de recherche Magis.

HOUET Thomas, geographer, doctor es geography, CNRS associate researcher, member of the Geode Lab, member of the research group Magis.

JUTRAS Pierre, est diplômé de l'Université McGill (Ph. D. Ingénierie biosystèmes et B. Sc. Agronomie) et de l'Université de Montréal (M. Sc. Biologie). Il a développé depuis vingt-cinq ans une expertise approfondie en matière de recherche, d'agronomie, d'arboriculture et d'écologie urbaines, d'ingénierie en biosystèmes et de modélisation mathématique des dynamiques associées à l'arbre urbain. Il est également professeur associé à l'Université McGill et chef de la section Biodiversité et écologie urbaine à la ville de Montréal.

JUTRAS Pierre, graduated from McGill University (PhD Bioresource Engineering and BSc Agriculture) and University of Montréal (MSc Biology). In the last 25 years, he has developed a vast expertise in research, agronomy, urban arboriculture and ecology, biological systems engineering and mathematical modelling of tree dynamics in urban environments. He is also an associate professor at McGill University and head of the biodiversity and urban ecology research section for the City of Montréal.

LEPROUST Christelle, est responsable du service Environnement Energie de la métropole de Rennes. Son service a en charge le plan Climat Air Energie Territorial ainsi que la rénovation énergétique de l'habitat privé.

LEPROUST Christelle, is head of the environment and energy department for Rennes city (service Environnement Energie de la métropole de Rennes). Her department is in charge of the local climate-air-energy plan (plan Climat Air Energie Territorial) as well as improving energy efficiency in private housing.

MALLET Alban, est ingénieur territorial, en charge de la coordination du plan Climat au sein de la Direction Énergies Environnement et Risques de Nantes Métropole depuis 2009. Ses missions au sein du pôle Animation développement durable & climat visent particulièrement l'accompagnement des politiques publiques thématiques pour l'intégration des volets atténuation et adaptation du plan Climat.

MALLET Alban, is an engineer working in the public realm. He has been in charge of coordinating the local climate plan within the energy, environment and risk department of Nantes Métropole since 2009 (Direction Énergies Environnement et Risques de Nantes Métropole). His work in the sustainable development and climate management centre (pôle Animation développement durable & climat) has particularly focussed on providing assistance on matters of public policy to integrate mitigation and adaptation components of the French climate plan.

MARIE Jean-Baptiste, est architecte-urbaniste, secrétaire scientifique de la Plateforme d'observation des projets et des stratégies urbaines (Popsu). Il est maître-assistant associé à l'École nationale supérieure d'architecture de Normandie et enseigne à l'École des Ponts et Chaussées Paris-Tech. Ses recherches portent sur le pilotage de l'innovation dans les processus de projet architecturaux et urbains.

MARIE Jean-Baptiste, is an architect, urban planner and the scientific secretary for the Popsu platform. He is an associate professor at the Normandie architecture school. His research concerns innovation management in architectural and urban design processes.

MARY Philippe, urbaniste, responsable de l'atelier Ressources et durabilité des Territoires à l'Agence d'Urbanisme pour le Développement de l'Agglomération Lyonnaise.

MARY Philippe, town planner, head of environmental resources and sustainable territories department (Greater Lyon Area Town Planning Agency).

MONTUORI Luca, est architecte, professeur de conception architecturale et urbaine, département d'Architecture de l'université Roma Tre. Membre fondateur (2000) avec Riccardo Petrachi du cabinet d'architecture 2tr avec lequel il a réalisé des projets de requalification urbaine et d'aménagement du paysage. Membre du comité scientifique de Casa dell'Architettura de Rome (depuis 2006).

MONTUORI Luca, architect, architectural and urban design professor in the architecture department at Roma Tre university. Founding member (2000) of the 2TR architectural firm with Riccardo Petrachi, which is specialised in urban regeneration projects and landscape design. Member of the scientific committee for Casa dell'Architettura de Rome (since 2006).

MUSY Marjorie, est agrégée, docteur en Génie civil et habilitée à diriger des recherches. Chercheur au CRENAU, elle est directrice adjointe de l'IRSTV. Sa recherche concerne les liens entre microclimat urbain et comportement thermique des bâtiments, ce qui l'amène à aborder conjointement les questions d'atténuation et d'adaptation climatique. Elle a coordonné le projet ANR VegDUD.

MUSY Marjorie, doctor of civil engineering and accredited to supervise research projects. A researcher at Cerma (architectural methods research centre) and assistant director for IRSTV (institute of scientific and technical research for cities). Her research concentrates on links between urban microclimates and the thermal performance of buildings, which has led her to study questions of climate mitigation and adaptation. She is the ANR VegDUD project manager.

OMBUEN Simone, est professeur en Urbanisme au département d'Architecture de l'université Roma Tre. Responsable de l'Agence départementale pour la recherche. Membre du Comité Scientifique de la Fondazione Sviluppo Sostenibile. Membre du Forum Wangari Maathai de la CGIL. Membre du Conseil national de direction de l'Istituto Nazionale di Urbanistica.

OMBUEN Simone, is a professor of urban planning in the architecture department at Roma Tre University. He is the head of a departmental research unit and a member of the scientific committee for the Sviluppo Sostenibile foundation. Member of the Wangari Maathai forum at the CGIL (Italian General Confederation of Labour), and a member of the national council at the Istituto Nazionale di Urbanistica (national urban planning institute).

PÉRÉ Anne, est architecte, urbaniste diplômée de l'École nationale des Ponts et Chaussées, fondatrice et associée de l'agence Urbane. Elle enseigne à l'École nationale supérieure d'architecture de Toulouse, dans le domaine « ville et territoire ». Elle a publié différentes recherches et articles sur la politique de la ville et les échelles de l'habiter. Ses travaux s'orientent actuellement sur les rapports ville-nature (programme européen Naturba et publication de l'ouvrage *Toulouse Territoire Garonne, Habiter en bord du fleuve*, Toulouse, Presses Universitaires du Mirail, 2012).

PÉRÉ Anne, is an architect and spatial planner and a graduate of the Ecole nationale des ponts et chaussées engineering school. She is a founder and associate of Urbane and teaches about the "city and territory" at Ensar architectural school in Toulouse. She has published a variety of research articles on city policy and scales of living. Her work now concentrates on the relationship between the city and nature through the European Naturba programme and the book *Toulouse Territoire Garonne, Habiter en bord du fleuve* (Toulouse: Presses Universitaires du Mirail, 2012).

PONSAR Luce, est ingénieur généraliste de l'École centrale de Lyon. Elle a travaillé sur la gestion des eaux pluviales au Québec, puis sur les thématiques énergie, carbone et innovation chez Veolia Eau à Lyon, avant d'élargir son approche au développement du territoire en tant que chef de projet Plan Climat au Grand Lyon. Une belle rencontre entre les aspects énergétiques du quotidien et l'anticipation à long terme des effets du changement climatique.

PONSAR Luce, is a general engineer at the École centrale de Lyon. She studied rainwater management in Quebec, followed by energy, carbon and innovation topics for Veolia Eau in Lyon, before widening her approach to local development as head of the climate plan project for Grand Lyon. An interesting fusion of daily energy-use questions and the study of long-term climate change effects.

PREISS Jürgen, dirige le département création et conception d'aménagement paysager à l'université de ressources naturelles et des sciences de la vie de Vienne. Depuis 2010, il est responsable à Vienne du bureau MA 22 de la protection de l'environnement, section développement rural. Toujours à Vienne, il est en outre chef de projet de la Stratégie des îlots de chaleur urbains, directeur du programme de végétalisation des bâtiments (façades et toits) et mène le groupe de travail « espaces verts et ouverts » au sein du projet « EcoBuy Vienna ».

PREISS Jürgen, Master of Landscape Planning and Design at the Vienna University of Natural Resources and Life Sciences. Since 2010: officer in charge at the Environmental Protection Department MA 22, section Rural Development in Vienna. Project manager of the Urban Heat Islands (UHI) Strategy in Vienna, manager of the Vienna greening building program (façade-/roof-greening), leader of the working group "green- and open spaces" of the "EcoBuy Vienna" project.

REUTER Ulrich, est météorologue. Il dirige à Stuttgart en Allemagne le département de climatologie urbaine du bureau de la protection de l'environnement, dont le climat urbain, la sauvegarde du climat mondial et la lutte contre la pollution atmosphérique sont les principaux domaines d'action. Il est membre des comités et groupes de travail de l'Association des ingénieurs allemands (VDI) dans le domaine du climat et de la climatologie urbaine, et maître de conférences à l'université des sciences appliquées de Stuttgart.

REUTER Ulrich, is a meteorologist. He is the head of the Department for Urban Climatology in the Office for Environmental Protection of the municipality of Stuttgart, Germany, with the main topics urban climate, global climate protection and air pollution control. He is a member of committees and working groups for the German Engineering Society (VDI) in the field of climate and urban climatology as well as a lecturer at the University of Applied Sciences Stuttgart.

SALAT Serge, est architecte et urbaniste, historien de l'art et artiste. Il est un pionnier internationalement reconnu de la morphologie urbaine et des théories de la complexité. Il conseille les Nations Unies, le Giec, les principales banques de développement, le gouvernement chinois sur les réformes de l'urbanisation, et le maire de Shanghai sur sa stratégie 2050. Il a publié une vingtaine de livres et est diplômé de Polytechnique, de l'ENA, est titulaire d'un diplôme d'architecte ainsi que d'un doctorat d'économie et un doctorat d'histoire de l'art de l'EHESS.

SALAT Serge, is an architect, urban planner, art historian and artist. His work has won international recognition in the field of urban morphology and theories of complexity. He has worked in an advisory role for the United Nations, IPCC, major development banks, the Chinese government (on urban development reforms) and the Mayor of Shanghai (strategy for 2050). He has published twenty-or-so books and is a graduate of the French Ecole Polytechnique school and the ENA public service school. He holds a degree in architecture, a doctorate in economics, as well as another doctorate in art history from the EHESS (French school of advanced studies in the social sciences).

TERRIN Jean-Jacques, architecte-urbaniste, docteur en architecture, professeur émérite ENSA Versailles, professeur associé université de Montréal, professeur associé au département d'architecture de l'université de Tirana, chercheur associé au Lab'Urba université Paris-Est, expert auprès du programme européen Urbact, responsable scientifique de la plateforme Popsu Europe.

TERRIN Jean-Jacques, is an architect & urban planner, doctor in architecture, professor emeritus at the School of Architecture Versailles, associated professor at University of Montreal, associated professor at the Department of Architecture University of Tirana, associated researcher to Lab'Urba University Paris-Est, expert for the EU program Urbact, and Popsu Europe scientific head.

SOMMAIRE / CONTENTS

284

JEAN-JACQUES TERRIN	
PENSER LA VILLE AVEC LE CLIMAT	10
<i>PLANNING CITIES FOR THE CLIMATE</i>	12
JEAN-BAPTISTE MARIE	
LES PARADOXES CLIMATIQUES DES VILLES EUROPÉENNES	24
<i>EUROPEAN CITIES AND CLIMATE PARADOXES</i>	26

PROJETS DE VILLES / CITY PROJECTS 37

JAVIER MARTIN VIDE, MARC MONTLLÉO, ITZEL SANROMÀ	
L'EFFET ÎLOT DE CHALEUR À BARCELONE	38
<i>BARCELONA: URBAN HEAT ISLANDS</i>	40
LUCE PONSAR ET PHILIPPE MARY	
GRAND LYON :	
UNE POLITIQUE D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	58
<i>GRAND LYON: THE CLIMATE CHANGE ADAPTATION POLICY</i>	60
FRANCK GEILING, YVES BIDET	
EUROMÉDITERRANÉE-MARSEILLE :	
UN PROJET URBAIN FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	80
<i>THE EUROMÉDITERRANÉE PROJECT IN MARSEILLES:</i>	
<i>AN URBAN PROJECT TO MITIGATE CLIMATE CHANGE</i>	82
PIERRE JUTRAS, JOËLLE ROY-LEFRANÇOIS	
RENFORCER LE PATRIMOINE VERT À MONTRÉAL	102
<i>ENHANCING GREEN HERITAGE IN MONTREAL</i>	104
ALBAN MALLET, KATIA CHANCIBAULT	
NANTES, COMMENT CONSTRUIRE LA VILLE AVEC LE CLIMAT ?	120
<i>NANTES – HOW CAN THE CITY BE BUILT FOR THE CLIMATE?</i>	122
XAVIER FOISSARD, CHRISTELLE LEPROUST, ARMELLE ECOLAN	
RENNES, UNE VILLE-ARCHIPEL FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	138
<i>RENNES, AN ARCHIPELAGO CITY'S RESPONSE TO CLIMATE CHANGE</i>	140

285

SIMONE OMBUEN, ANDREA FILPA, LUCA MONTUORI	
CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ÎLOTS DE CHALEUR À ROME	156
<i>CLIMATE CHANGE AND URBAN HEAT ISLANDS IN ROME</i>	158
ULRICH REUTER	
LA STRATÉGIE DE STUTTGART FACE AUX ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS	174
<i>STUTTGART'S STRATEGY ON URBAN HEAT ISLANDS</i>	176
JULIA HIDALGO, THOMAS HOUET	
TOULOUSE MÉTROPOLÉ FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	188
<i>TOULOUSE MÉTROPOLÉ'S RESPONSE TO CLIMATE CHANGE</i>	190
JÜRGEN PREISS	
UN PROGRAMME STRATÉGIQUE POUR LA VILLE DE VIENNE	208
<i>A STRATEGIC PROGRAMME FOR THE CITY OF VIENNA</i>	210

REGARDS / PERSPECTIVES 223

SERGE SALAT	
DE LA VILLE BLANCHE, VERTE ET BLEUE	
À LA FORME URBAINE BIOCLIMATIQUE	224
<i>FROM WHITE, GREEN AND BLUE CITIES TO THE BIOCLIMATIC URBAN FORM</i>	226
MARJORIE MUSY	
ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS : CHANGER DE FOCAL	244
<i>URBAN HEAT ISLANDS: A CHANGE OF FOCAL POINT</i>	246
ANNE PÉRÉ	
LES VILLES FACE AUX ÎLOTS DE CHALEUR	260
<i>CITIES AND URBAN HEAT ISLANDS</i>	262
BIBLIOGRAPHIE	275
LES AUTEURS	279

collection la ville en train de se faire

sous la direction de Alain Bourdin et Robert Prost

Projets et stratégies urbaines, regards comparatifs

16,5 × 24 cm, 288 p., 2009
ISBN 978-2-86364-220-7

sous la direction de Laurent Devisme

Nantes, petite et grande fabrique urbaine

16,5 × 24 cm, 272 p., illustrations en couleurs, 2009,
ISBN 978-2-86364-221-4

Textes de : Pierre-Arnaud Barthel, Célia Dèbre, Laurent Devisme, Marc Dumont, Élise Roy.

sous la direction de Patrice Godier, Claude Sorbets
et Guy Tapie

Bordeaux métropole, un futur sans rupture

16,5 × 24 cm, 288 p., nombreuses illustrations en couleurs, 2009
ISBN 978-2-86364-222-1

Textes de : Michel Bergeron, Patrice Godier, Jenny Ibars, Jean Marieu, Lise Monneraud, Claire Parin, Peggy Rouland, Sébastien Ségas, Claude Sorbets, Guy Tapie.

sous la direction de Didier Paris et Dominique Mons

Lille métropole, laboratoire du renouveau urbain

16,5 × 24 cm, 288 p., nombreuses illustrations en couleurs, 2009
ISBN 978-2-86364-223-8

Textes de : Elsa Escudié, Isabelle Estienne, Marie-Thérèse Grégoris, Christine Liefoghe, Philippe Louguet, Catherine Martos, Philippe Menerault, Dominique Mons, Didier Paris, Maryvonne Prévot, Frank Vermandel.

sous la direction de Paul Boino

Lyon, la production de la ville

16,5 × 24 cm, 276 p., nombreuses illustrations en couleurs, 2009
ISBN 978-2-86364-224-5

Textes de : Paul Boino, Bernard Jouve, Rachel Linossier, Roelof Verhage.

Sous la direction de Jean-Paul Volle, Laurent Viala, Emmanuel Négrier,
Catherine Bernié-Boissard

Montpellier, la ville inventée

16,5 × 24 cm, 264 p., nombreuses illustrations en couleurs, 2010
ISBN 978-2-86364-226-9

Brigitte Bertoncello, Jérôme Dubois

Marseille Euroméditerranée, accélérateur de métropole

16,5 × 24 cm, 272 p., nombreuses illustrations en couleurs, 2010
ISBN 978-2-86364-225-2

Sous la direction de Jean-Jacques Terrin

Gares et dynamiques urbaines, les enjeux de la grande vitesse

16,5 × 24 cm, 224 p., nombreuses illustrations en couleurs, 2011
ISBN 978-2-86364-227-6

Sous la direction de Jean-Jacques Terrin

Le piéton dans la ville

16,5 × 24 cm, 288 p., nombreuses illustrations en couleurs, 2012
ISBN 978-2-86364-228-3

Sous la direction de Jean-Jacques Terrin

La ville des créateurs

16,5 × 24 cm, 256 p., nombreuses illustrations en couleurs, 2012
ISBN 978-2-86364-229-0

Sous la direction de Jean-Jacques Terrin

Jardins en ville, villes en jardin

16,5 × 24 cm, 320 p., nombreuses illustrations en couleurs, 2013
ISBN 978-2-86364-233-7

Sous la direction de Jean-Jacques Terrin

Villes inondables

16,5 × 24 cm, 288 p., nombreuses illustrations en couleurs, 2014
ISBN 978-2-86364-237-5