

Morgane Colombert

Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville

Résumé

La civilisation sumérienne, au III^e millénaire avant Jésus-Christ, a marqué au Moyen Orient la fin de la préhistoire et a constitué l'une des premières civilisations urbaines (Bonello, 1998). Ce qui fut exceptionnel à l'époque est devenu le précurseur pour de nombreuses autres civilisations. Ainsi, au fil des siècles, les villes se sont multipliées et sont devenues des organisations de plus en plus complexes. Aujourd'hui, la population urbaine a dépassé en nombre la population rurale et à l'horizon 2030 elle devrait atteindre cinq milliards d'individus pour huit milliards d'habitants sur la planète (ONU).

La ville est un écosystème complexe que la multiplicité des définitions reflète bien. Elle est « *territoire et population, cadre matériel et unité de vie collective, configuration d'objets physiques et nœuds de relations entre sujets sociaux* » (Grafmeyer, 1995). La ville, pour reprendre les représentations systémiques et éco-système existantes (Bossel, 1999. Bonan *et al.*, 2004), allie à la fois des dimensions fonctionnelles (habitat, loisirs, éducation, emploi), une diversité de lieux (bâti, non bâti, etc.) et des groupes sociaux (des individus d'origines diverses et ayant des intérêts différents). De plus, la ville évolue au sein d'un environnement « naturel » avec lequel elle interagit en permanence. Le climat fait partie intégrante de cet environnement et, par le passé, la conception des bâtiments et, par extension, des villes s'est souvent faite avec une volonté d'adéquation avec celui-ci (Givoni, 1978). L'empirisme puis l'approche scientifique de la construction ont ainsi permis de répondre en partie aux besoins humains de sécurité et de confort vis-à-vis d'un climat pas toujours clément. Les villes modifient également localement les paramètres climatiques. Ces modifications peuvent être constatées soit par comparaison avec les zones plus rurales voisines, soit par comparaison entre une situation actuelle et une période passée (moins urbanisée et/ou moins dense). La ville induit notamment, au sein de son territoire, une augmentation des températures (Landsberg, 1979. Escourrou, 1991), d'où le concept d'îlot de chaleur, une diminution de la vitesse du vent (Sacré, 1983), une modification de la pluviométrie (Shepherd *et al.*, 2002. Jauregui et Romales, 1996), etc. Ces modifications ont des conséquences sur la consommation énergétique des bâtiments et l'efficacité de la climatisation naturelle (Santamouris *et al.*,

2004), la pollution atmosphérique (Sarrat *et al.*, 2006), le confort en extérieur (Steemers, 2006a), la santé (Buechley *et al.*, 1972) ou encore la faune et la flore (Sukopp, 2004).

Lieux de production importante de gaz à effet de serre, les villes contribuent de fait aux modifications climatiques mondiales. Selon les travaux du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la nouvelle donne climatique devrait à l'horizon 2100 présenter des événements caniculaires plus fréquents qu'actuellement. Au regard des événements récents, tels que la canicule de 2003 en Europe, les villes se révèlent mal adaptées à de telles conditions de chaleur (Besancenot, 2002). Le climat urbain a pour effet principal de limiter la baisse des températures durant la nuit, diminution qui, lors des vagues de chaleur, devient vitale pour permettre aux organismes humains une récupération des fortes chaleurs du jour. A cela s'ajoute l'influence éventuelle des changements climatiques globaux sur l'intensité de l'îlot de chaleur dont nous ne mesurons pas encore toute l'importance (Roaf *et al.*, 2005. Best et Betts, 2004. Rosenzweig *et al.*, 2005).

A l'heure actuelle, si les collectivités territoriales françaises ont commencé à s'organiser pour limiter les rejets de gaz à effet de serre, la réflexion autour de l'adaptation nécessaire aux impacts du changement climatique se limite souvent à améliorer la politique existante de prévention et de gestion des risques associés aux aléas naturels. Face à l'incertitude, justifiée, des prévisions concernant l'évolution du climat de la part des climatologues, les collectivités territoriales hésitent à s'engager dans des actions encore aujourd'hui peu valorisantes et valorisables auprès des citoyens et synonymes d'échec des moyens de lutte contre le changement climatique (Bertrand et Larrue, 2007). Pourtant des dispositifs peuvent être envisagés tels que : l'institutionnalisation d'un planning sur le long terme pour anticiper les problèmes et y apporter des réponses adéquates ; les stratégies « sans regret »¹, qui réduisent la vulnérabilité à un coût négatif, nul ou négligeable ; le choix de stratégies réversibles ; etc. (Hallegatte, 2008). Le manque d'anticipation et d'intérêt, les forts conflits d'intérêts locaux, ou encore l'incapacité à s'approprier la responsabilité du problème des impacts du changement climatique de la part des politiques freinent la réflexion autour de la question de l'adaptation (ADEME, 2007) et, par conséquent, l'intégration de l'enjeu du climat urbain dans cette problématique.

¹ Le terme stratégie « sans regret » est utilisé pour des stratégies qui en plus d'apporter une solution à un problème donné (ici le changement climatique) peuvent être valorisées par les bénéfices conjoints qu'elles offrent. Elles sont « sans regret » dans le sens où si le changement climatique n'a pas lieu, nous ne regretterons cependant pas d'avoir mis en place de telles stratégies.

Au sein de la climatologie urbaine, les différentes réflexions engagées par les climatologues, les géographes mais également les architectes et les urbanistes pour mieux comprendre le climat urbain, permettent aujourd'hui de percevoir le potentiel de réduction des températures en milieu urbain par le biais d'une limitation de l'îlot de chaleur. A l'heure des changements climatiques, ces réflexions offrent des perspectives de solutions d'adaptation intéressantes pour mieux se protéger des vagues de chaleur.

Les collectivités territoriales ont ainsi un intérêt à mieux connaître et à mieux intégrer les modifications climatiques locales que la ville provoque. Ce n'est cependant pas suffisant pour générer des initiatives comprenant des actions réfléchies et ayant des influences réelles sur le climat urbain. Pour cela, les élus et les aménageurs ont besoin de connaître de façon aussi précise que possible les conséquences climatiques de leur(s) aménagement(s) mais également de savoir quels sont actuellement les moyens à leur disposition pour en tenir compte. Plusieurs échelles d'analyse sont possibles (bâtiment, quartier, ville) et nous avons choisi l'échelle de la ville pour répondre à notre problématique : *comment favoriser une meilleure prise en compte des facteurs influençant le climat urbain et sur lesquels l'homme peut agir au travers de l'aménagement des villes ?*

Pour tenter de répondre à cette problématique, nous nous sommes donc intéressés aux deux aspects suivants qui constituent le cœur de ce travail de recherche : 1) la compréhension de la formation du climat urbain et la quantification de l'influence de différents facteurs sur celui-ci, 2) l'intégration de nouveaux enjeux relatifs au climat urbain au sein des projets urbains et d'aménagement.

Pour le premier point, nous nous sommes appuyés sur l'état de l'art de la formation du climat urbain pour comprendre le rôle joué par différents facteurs. Cette analyse permet d'identifier les facteurs, contrôlables et incontrôlables par l'homme, participant à la formation du climat urbain et à l'intensité des modifications climatiques observées. Or la description du milieu urbain utilisée dans le cadre de la climatologie urbaine n'est pas forcément identique ou en adéquation avec la façon de concevoir la ville, il était donc intéressant de mettre en relation facteurs influant sur le climat urbain et domaines d'actions de l'urbanisme. L'état de l'art ne permettait également pas de proposer une hiérarchie entre les différents leviers, chaque étude ne comportant pas les mêmes hypothèses, analysant seulement un nombre limité de facteurs,

ou se situant dans un contexte climatique uniquement estival. Nous avons donc décidé de mettre en place nos propres simulations pour essayer de quantifier l'influence de différents facteurs sur le climat urbain. Nous avons effectué des tests de sensibilité du bilan d'énergie thermique de la ville à plusieurs variables, avec le schéma *Town Energy Balance* (TEB). Ce modèle numérique a été développé par Météo-France pour paramétrer les échanges en énergie et en eau entre les surfaces bâties et l'atmosphère. Le choix du modèle de simulation s'est appuyé sur l'étude de différents modèles disponibles. Pour le sélectionner, plusieurs critères ont été proposés en relation avec leur capacité à modéliser les mécanismes physiques à l'origine de la formation du climat urbain et leur capacité à prendre en compte les domaines d'action identifiés.

Pour le second point, c'est-à-dire l'intégration de nouveaux enjeux relatifs au climat urbain au sein des projets urbains et d'aménagement, nous avons mené une réflexion autour des moyens existants et permettant aux collectivités territoriales françaises d'intégrer dans la conception urbaine des critères identifiés, à l'issue du premier point, comme influant sur le climat urbain. Le choix des collectivités territoriales pour notre analyse a été justifié par plusieurs aspects. Tout d'abord, le climat urbain est influencé par la ville dans son ensemble plus que par un bâtiment en particulier, il est de ce fait difficile de mobiliser les propriétaires autour d'un sujet sur lequel ils ont, à leurs yeux, a priori peu d'influence. De plus, l'objectif de la thèse n'étant pas d'aborder la manière dont chacun des acteurs peut intégrer des éléments de climatologie urbaine dans son domaine, la question de l'acteur commun à l'ensemble des projets d'aménagement urbain s'est posée, que ces projets soient des interventions ponctuelles (création ou réhabilitation d'un bâtiment ; travaux ponctuels sur la voirie ; etc.), des interventions sur un quartier, des interventions sur l'agglomération (documents d'urbanisme, zones d'aménagement concerté, etc.) ou encore des interventions linéaires (modification physique de la voirie ; modification de l'utilisation de la voirie). Si nous excluons l'Etat et l'Union Européenne, un des acteurs communs à l'ensemble de ces projets est la collectivité territoriale, dont l'atout est d'être l'échelon le plus proche des citoyens et des entreprises. Nous nous sommes donc concentrés sur la possibilité et la capacité des collectivités territoriales à pouvoir prendre en compte des enjeux du climat urbain au sein de leurs projets d'aménagement.

A la manière de la ville, qui peut se comprendre et s'appréhender par les différentes relations entretenues par ses composantes, le climat urbain s'analyse aussi à différentes échelles et par la mise en évidence de certaines relations de cause à effet. A l'échelle micro, c'est-à-dire à l'échelle de la rue, les principaux mécanismes physiques mis en jeu concernent les écoulements de l'air – fortement perturbés par le milieu urbain –, l'évapotranspiration – en nette diminution –, les apports anthropiques de chaleur, ou encore les perturbations radiatives et thermiques, dues principalement à la géométrie de la ville et aux propriétés radiatives des matériaux de construction.

L'ensemble de ces mécanismes physiques initiés à l'échelle de la rue engendre des phénomènes à l'échelle de la ville. Nous pouvons les expliciter au travers du bilan radiatif – dont l'ensemble des termes est affecté par le milieu urbain du fait de sa géométrie, des matériaux ou de la pollution atmosphérique –, du bilan énergétique – dont l'étude permet d'expliquer notamment la formation de l'îlot de chaleur urbain –, du bilan hydrique, de la circulation atmosphérique et des précipitations et averses orageuses.

La ville influence ainsi, plus ou moins significativement, l'ensemble de ces phénomènes dont l'appréciation nécessite de tenir compte de la situation géographique et de la topographie (montagne, vallée, plaine, etc.).

Plusieurs facteurs participent à la formation du climat urbain :

- des facteurs naturels : les conditions anticycloniques, la saison, les conditions météorologiques de la journée, la vitesse du vent, la couverture nuageuse, etc.
- et des facteurs urbains : la couche superficielle du sol (présence plus ou moins importante de surfaces végétales ou d'eau), les activités humaines (rejets de chaleur anthropique et de polluants), et la structure urbaine (morphologie du cadre bâti, matériaux de construction).

L'îlot de chaleur est un des aspects du climat urbain les plus perceptibles et connus. Des recherches sont menées pour comparer l'influence de plusieurs critères pour permettre une diminution de l'îlot de chaleur urbain. Différentes études mettent ainsi en évidence l'influence de la végétalisation des espaces, de la variation des flux de chaleur d'origine anthropique, et de l'augmentation de l'albédo des surfaces.

A partir d'une proposition de domaines d'action qui sont le bâtiment, l'espace public, l'organisation spatiale, les activités industrielles et le transport, la thèse complète ces informations par le biais d'une modélisation du bilan d'énergie de plusieurs milieux urbains. Comme le signale SASAKI *et al.* (2008), le bilan d'énergie permet de mettre en avant les facteurs qui gouvernent l'augmentation et la diminution de la température de l'air. Cette modélisation permet ainsi de tester la sensibilité du climat urbain à la variation de différents facteurs.

A l'aide de TEB, une simulation du bilan d'énergie de Paris² a constitué une « simulation témoin ». Pour cela Paris a été modélisée de façon uniforme et considérée comme une ville dense et très minérale ayant des rues étroites couvertes d'asphalte, et avec des murs faiblement isolés, des toits en zinc, un trafic dense et peu d'industrie. A partir de cette simulation, nous avons effectué des tests de sensibilité en faisant varier un à un différents paramètres (hauteur et profondeur des bâtiments, largeur des rues, albédo des toits, des murs et des routes, conductivité et capacité thermiques des toits et des murs, etc.) ainsi que des tests faisant varier plusieurs paramètres (isolation générale des bâtiments, couleur des toits et des murs, etc.).

En réponse au manque d'études comparant l'influence des facteurs en été et en hiver, deux situations climatiques ont été choisies : une journée estivale chaude (la température monte au-dessus des 29°C), ensoleillée (la nébulosité est nulle hormis en tout début de matinée) et sans précipitation ; et une journée hivernale fraîche (la température descend en-dessous des -2°C), ensoleillée (la nébulosité est nulle toute la journée) et sans précipitation. Le choix de ces deux journées ensoleillées a eu pour objectif de permettre le réchauffement des surfaces urbaines et de créer des situations plutôt favorables à la formation d'un fort îlot de chaleur.

Nos simulations ont permis de confirmer le rôle prédominant des paramètres radiatifs dans le bilan d'énergie de la ville en été. Durant l'hiver, c'est un autre paramètre thermique, l'isolation, qui a la plus grande influence. Hormis pour la végétation, que nos simulations ne nous ont pas permis de prendre en compte comme nous l'aurions souhaité, nos résultats concordent avec ceux d'autres études privilégiant pour l'été une augmentation de l'albédo et de la surface végétalisée pour diminuer l'îlot de chaleur urbain. Les conséquences sur le bilan

² Dans le cadre d'une convention, Météo-France nous a donné accès aux données permettant la description d'un tissu de type 'urbain dense', et utilisées actuellement pour la description de Paris intra-muros, ainsi qu'aux données météorologiques de l'année 2006 de la station Montsouris de Paris. Il a ainsi été décidé de choisir Paris pour cas-témoin de nos modélisations.

d'énergie de cette augmentation d'albédo sont moindres en hiver et l'îlot de chaleur est principalement influencé, durant cette saison, par les flux de chaleur anthropique dus au chauffage.

Par ailleurs, la forme du cadre bâti influence la quantité et la proportion de surfaces de murs, de routes et de toits. Ainsi, les modifications de cette forme entraînent des variations du bilan d'énergie dues à la fois à une modification de l'accès au rayonnement solaire des différentes surfaces mais également à la modification de leur proportion sachant que chaque surface possède ses propres caractéristiques physiques et donc un comportement thermique différent. L'influence de la forme du cadre bâti sur le bilan d'énergie est donc complexe.

Enfin, nous avons montré que les collectivités territoriales ne peuvent pas œuvrer librement pour intégrer dans la conception urbaine des critères permettant d'influer sur l'environnement climatique. Ceci s'explique principalement par les limites entre droit de l'urbanisme, qui s'apparente à une forme de droit d'affectation des sols, garant de l'équilibre et de l'esthétique des lieux, et droit de la construction et de l'habitat. En effet, le plan local d'urbanisme (PLU), dont les tenants et aboutissants sont réglementés par le droit de l'urbanisme, ne peut fixer à l'heure actuelle de règles concernant des propriétés radiatives de matériaux ou alors, de manière détournée, par le biais de la couleur ou encore de l'efficacité énergétique d'été.

Toutefois, le PLU permet d'influer sur la forme du cadre bâti et des rues notamment au travers de la réglementation concernant le prospect des rues. Le très faible taux de renouvellement du bâti (inférieur à 1%) et l'influence complexe de la forme du cadre bâti sur le bilan d'énergie n'en fait cependant pas un levier facile à mettre en œuvre. Le PLU permet également d'influer sur la présence d'espaces végétalisés par le biais des articles de son règlement concernant l'emprise au sol, le coefficient d'imperméabilisation ou encore le pourcentage d'emprise d'espaces végétalisés.

Ainsi, si le PLU permet, tout comme d'ailleurs le schéma de cohérence territoriale (SCOT), d'inscrire au travers de son projet d'aménagement et de développement durable des enjeux globaux relatifs au climat urbain et à l'îlot de chaleur, la mise en pratique sur le terrain n'est pas évidente.

Malgré tout, aujourd'hui, plusieurs outils sont à la disposition des collectivités territoriales. C'est le cas notamment des zones d'aménagement concerté (ZAC), qui offrent une plus

grande liberté pour les prescriptions inscrites dans leur règlement et peuvent ainsi recommander des couleurs claires pour les façades exposées au soleil et la mise en œuvre de toitures végétalisées. C'est également le cas des agendas 21 locaux et des plans climats territoriaux, même si aujourd'hui peu d'entre eux abordent les questions d'îlot de chaleur urbain ou, plus globalement, de climat urbain. L'adaptation aux impacts du changement climatique, thème qui peut être abordé par les plans climat comme les agendas 21, peut en effet permettre une meilleure compréhension de l'enjeu du climat urbain. Ces plans et agendas permettent ainsi aux collectivités de s'engager dans différentes actions pour favoriser une meilleure prise en compte du climat.

Le travail et les différentes actions autour des problématiques environnementales en général ont donc permis de créer un terrain favorable à la prise en compte de questions plus précises telles que l'îlot de chaleur urbain. De plus, les compétences des collectivités territoriales en matière de gestion et d'entretien de nombreux bâtiments publics et de la voirie communale offrent aux collectivités la possibilité d'occuper un rôle de premier plan en étant elles-mêmes exemplaires.

Ainsi des moyens et des outils, avec leur portée et leurs limites, sont disponibles pour intégrer dans la conception urbaine des critères permettant d'influer sur l'environnement climatique.

Ce travail de recherche a ainsi investigué des domaines de connaissance distincts que sont la climatologie urbaine et l'urbanisme. Il s'inscrit dans un cadre pluridisciplinaire tendant à créer une passerelle entre deux champs qui ont encore peu l'habitude de se côtoyer. Cette thèse ne clôt pas la problématique des facteurs influençant le climat urbain et sur lesquels l'homme peut agir au travers de l'aménagement des villes. Elle ouvre au contraire plusieurs perspectives de recherche tant sur le climat urbain et sa modélisation, les contraintes physiques, économiques et sociales de la prise en compte des facteurs, que sur le sujet de l'adaptation aux impacts du changement climatique.