Résultats préliminaires sur l'îlot de chaleur urbain dans l'agglomération de Brazzaville au Congo

Stevel G. MOUMBENZA et Gaston SAMBA*

Résumé

L'objectif de cet article est d'étudié l'îlot de chaleur dans l'agglomération urbaine de Brazzaville. Pour cette étude les données sont issues des mesures in situ dans l'espace urbain de Brazzaville. La démarche méthodologique consiste à identifier, à caractériser puis à hiérarchiser les zones urbaines au prorata de leurs degrés d'exposition, de sensibilité au réchauffement. Après contrôle et vérification ces données ont été intégrées dans la base de données développée par le CR2E afin de poser les bases de développement d'un modèle de distribution spatiale de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain sur un cycle de 24 heures. Les principaux résultats sont la cartographie d'îlot de chaleur urbain (ICU), en plus il ressort que le centre est plus chaud que la périphérie. Des facteurs, des causes des îlots de chaleur urbains (ICU) ont été identifiés.

Mots clés

Brazzaville, Îlot de chaleur urbain, ICU, Changement climatique, Congo, Environnement.

Abstract

Aim goal of this paper is studied the urban heat island of the Centre of Brazzaville town. For this study the data result from in situ measurements in the urban of Brazzaville area. The methodological consists in identifying, to characterize then to treat on a hierarchical basis the urban zones in proportion to their degrees of exposure, of sensitivity to the reheating. After control and checking these data were integrated in the dataset developed by the CR2E in order to pose the bases of development of a model of spatial distribution of the intensity of the urban heat island on a 24 hours cycle. The aim results are the cartography of the urban heat island (UHI), in more it arises that the

*Centre de Recherches et d'Études sur l'Environnement (CR2E), Université Marien Ngouabi, République du Congo

center is hotter than the periphery. Factors, causes of the urban heat island (ICU) were identified.

Keywords
Brazzaville, Urban Heat Island, UHI, Climate change, Congo, Environment.

Introduction

L'agglomération urbaine de Brazzaville située sur la rive droite du fleuve Congo, en aval du Pool Malebo (figure 1) reste sous l'influence du climat tropical chaud et humide. Elle se situe dans une aire géographique comprise entre les latitudes 4°11'45'' et 4°18'45'' Sud et les longitudes 15°11'15'' et 15°18'45'' Est et s'étend sur une superficie de 120 km2. L'ambiance climatique dans l'agglomération urbaine de Brazzaville se caractérise par l'inconfort thermique et les effets des pluies abondantes. Les pluies abondantes de ces dernières années ont comme corolaires les crues, les inondations dans les ruisseaux et rivières et les érosions des sols intramuros de Brazzaville. Dans le contexte actuel des aléas climatiques pourraient être amplifiés et exacerber la vulnérabilité à l'échelle locale. Brazzaville reste en permanence sous influence des échanges fluvio-lacustre du Pool Malébo. L'agglomération de Brazzaville au cours des saisons chaudes et humides se caractérise par d'importantes diffluences des masses d'air de l'est. Nombreuses de ces masses d'air potentiellement pluviogènes se scindent en traversent le substratum chaud de Brazzaville. Ceci provoque souvent des pluies qui contournent le substratum de Brazzaville soit plus au nord et plus au sud laissant ainsi augurer des longues séquences non pluvieuses au cours de la saison dite pluvieuse.

Dans ce travail, il s'agit de cartographier les potentiels îlots de chaleur urbains et ainsi contribuer à la compréhension du climat urbain de l'agglomération de Brazzaville, une ville tropicale humide. La cartographie d'îlot de chaleur urbain (ICU) peut faciliter l'analyse de la vulnérabilité de l'espace urbain de Brazzaville au réchauffement. Un îlot de chaleur urbain (ICU), aussi appelé « îlot thermique urbain », désigne une zone urbaine dont la température est significativement plus élevée que celle des zones environnantes. De plus en plus, les changements climatiques affectent significativement les populations urbaines à travers l'îlot de chaleur et le confort thermique. Sur le

territoire congolais la population urbaine représente 70% de la population totale contre environ 30% de la population rurale. La population urbaine de Brazzaville représente 30% de la population totale. Il s'avère que dans l'agglomération de la ville de Brazzaville les effets du réchauffement climatique se font ressentir le plus en plus. En plus l'aménagement des villes congolaises est mis en mal ces derniers temps par les effets du climat : érosion, chaleur, vents violents, etc. On peut donc observe que la ville se réchauffe plus que l'espace rural.

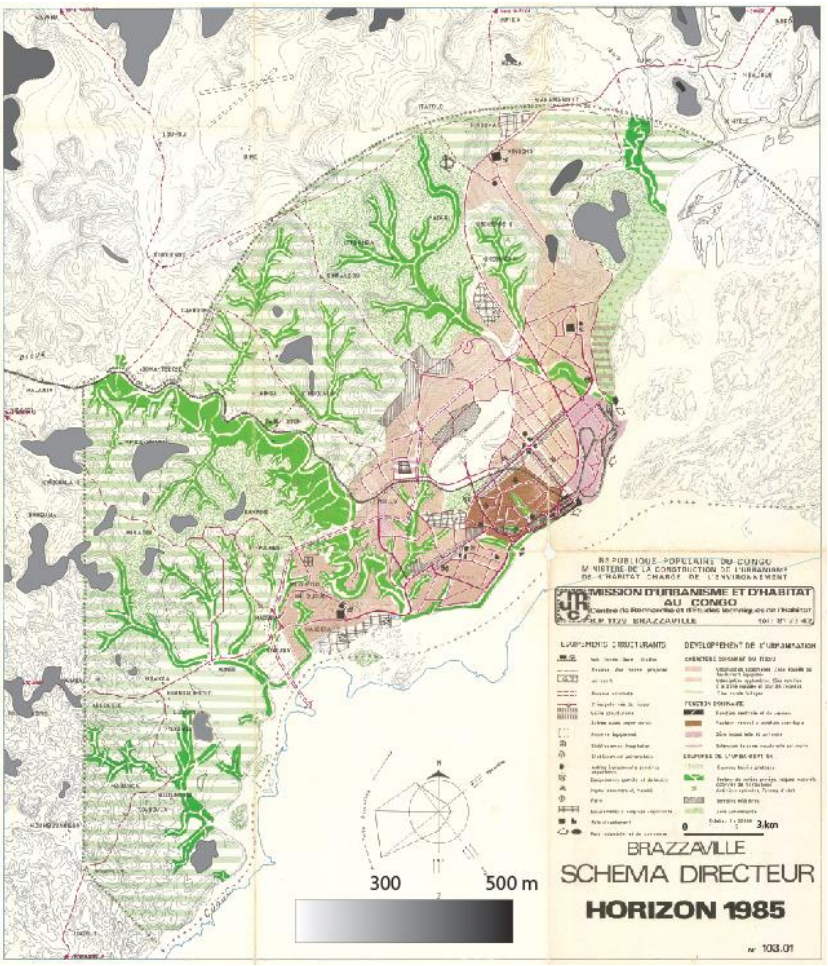

Figure 1 : Carte de l'agglomération urbaine de Brazzaville

Les ilots de chaleur urbains (ICU) n'ont de sens que parce que la température de l'air dans une ville est plus élevée que celle des zones périphériques ou des zones rurales avoisinantes. La différentiation des

températures entre la ville plus chaude et la campagne relativement moins chaude est pour toute la journée, elle le demeure davantage dans la nuit. De nombreuses études (Oke, 1973 et 1976 ; Watkins et al., 2002) portant sur les îlots de chaleur urbains ont confirmé la différenciation en températures ville-campagne. La différenciation des températures est observée dans la plupart des villes, sans distinction de latitudes et de régimes climatiques. L'ilot de chaleur urbain crée un microclimat bien particulier, la température de l'air augmente, en même temps accroit le stress hydrique et les concentrations de l'air en polluants. Les deux conditions microclimatiques (stress hydrique et les concentrations de l'air en polluants) ont une influence prépondérante sur la santé humaine. Suivant le rythme diurne, l'ICU est plus prononcé la nuit. En effet, la température ne diminue pas suffisamment en soirée pour permettre le repos physiologique nécessaire après le stress hydrique subit pendant la journée. La variation de température observée résulte des facteurs naturels et des facteurs anthropiques. Les facteurs anthropiques renvoient à l'occupation des sols en milieux anthropisés. Dans l'agglomération de Brazzaville et comme l'affirme Colombert (2008) que sur de très courtes distances (moins de 500 mètres), des variations importantes de températures peuvent être observées. La notion d'« îlot de chaleur urbain » renvoie donc de ce fait à trois types d'expressions :

- l'îlot de chaleur au sol : ils concernent les endroits de la ville où les surfaces sont les plus chaudes;
- l'îlot de chaleur de la canopée urbaine, qui est la couche d'air comprise entre le sol et la cime des arbres, ou des toitures des bâtiments, où l'essentiel de l'activité humaine se déroule;
- l'îlot de chaleur de la couche limite urbaine, située au-dessus de la couche de la canopée et font référence à la température de l'air (Oke, 1982 ; Voogt, 2002).

L'objectif de cet article est de présenter les résultats préliminaires des ICU appliquées à l'agglomération urbaine de Brazzaville.

1. Démarches méthodologiques

1.1. Données

Pour analyser l'îlot de chaleur urbain (ICU) de l'agglomération de Brazzaville, l'étude s'est basée fondamentalement sur des données de

températures *in situ* issues des trente thermomètres placés différents sites de mesures. Toutefois, les données météorologiques issues des archives de la Direction de la Météorologie Nationale du Congo-Brazzaville (ANAC) y ont été associées pour analyser la tendance du climat sur une longue période. Les données *in situ* et celles de la météorologie nationale ont été mises en forme puis intégrées dans la base de données développée par le Centre de Recherches et d'études sur l'environnement (CREE) de l'Université Marien Ngouabi de Brazzaville. Les trente thermomètres ont été reparties de manière aléatoire, mais en prenant en compte l'occupation de la ville, la densification des quartiers en habitation, en fonction du type de relief et des activités économiques. Certes trente thermomètres peuvent s'avérer insuffisant pour des observations *in situ* plus fines, toutefois le maillage effectué a permis de prendre en compte l'essentiel de la diversité du paysage urbain. La distribution des thermomètres a été réalisé suivant les transects partant du centre-ville vers le périurbain. Tous ces points de mesures ont été géo-référencies, ce qui a facilité la cartographie.

1.2. Méthodologie de travail

L'analyse de l'îlot de chaleur urbain (ICU) de l'agglomération de Brazzaville, s'est basée sur des données de températures *in situ* issues des trente thermomètres placés différents sites de mesures. Cela permet donc de descendre à des échelles fines et inclut des modules de physique urbaine. Des moyennes ont été établies pour chaque point de mesures et à différentes heures de la journée. Les valeurs étaient relevées à 6 heures pour le matin, à 12-13 heures pour midi et à 18 heures le soir. La méthode choisie pour identifier les ICU dans cette étude se fonde sur la démarche empirique. L'originalité de la démarche méthodologique proposée dans cet article repose sur le croisement de paramètres présentant une forte corrélation avec le phénomène d'ICU, devant mener à l'obtention de résultats précis. Notamment de privilégié les observations in situ compte tenue de la faible documentation sur l'ilot de chaleur urbain en zone de ville tropicale humide d'un pays en développement. Par la suite il n'est pas exclu de l'utilisation de logiciels géomatiques voire l'utilisation des SIG dans le champ des ICU qui est relativement récente.

2. Résultats

2.1. Les cartes des îlots de chaleur urbains

Les résultats obtenus à partir du traitement de données des températures issues des mesures *in situ* montrent une discrimination au réchauffement de l'espace de l'agglomération urbaine de Brazzaville. En effet, les données recueillies, traduisent bien la présence d'îlot de chaleur urbain (ICU) dans l'agglomération de la ville de Brazzaville. L'îlot de chaleur apparait dès le matin sous forme de faible plage (figure 2) et prenant de l'ampleur au fil de la journée. L'ICU présente une hétérogénéité d'intensité selon les endroits de l'espace urbain (centre urbain, péri-urbain et la périphérie) en raison de plusieurs facteurs (topographie, densité d'habitation, nature des rues…). L'îlot de chaleur urbain qui s'amorce la matinée, apparait dans la partie nord-est de la ville dans les quartiers de Talangai (zone de Mikalou, quartier le Bled). Les températures maximales observées ici au matin, sont de l'ordre de 38°C dans l'îlot de chaleur urbain et de 34°C à la périphérie (figure 2). L'îlot de chaleur urbain, est renforcé aux heures de Midi (figure 3). On assiste à une augmentation relative des températures diurnes à midi et à une extension d'îlot de chaleur urbain. Les températures maximales atteignent sont l'ordre de 41,5°C au cœur de îlot de chaleur urbain et de 36°C à la périphérie. Il se forme à midi des forts noyaux d'îlots de chaleur dans les quartiers de Kinsoundi et de Mikalou.

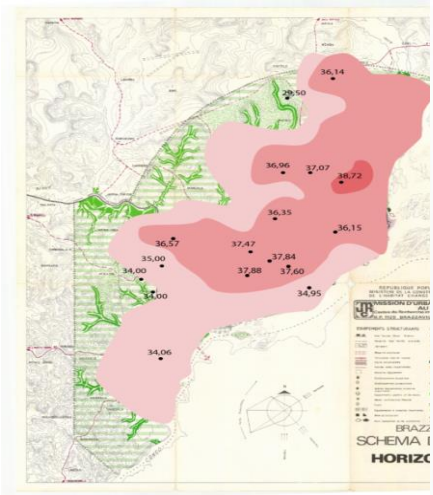

Figure 2 : Ilot de chaleur urbain au matin

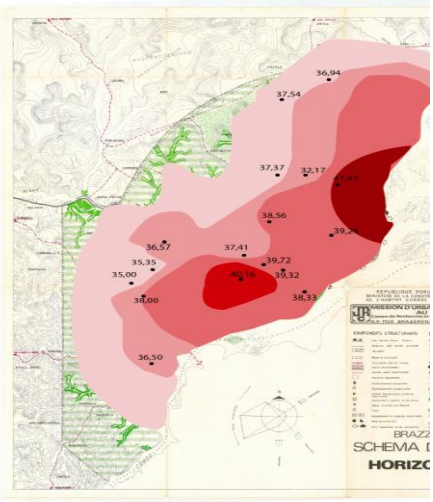

Figure 3 : Ilot de chaleur urbain à midi

En fin de journée, on observe un fort noyau d'îlot de chaleur urbain (figure 4). On note une augmentation progressive des températures maximales du centre-ville vers la périphérie. L'une des particularités à mentionner ici est que, les deux noyaux thermiques des heures de midi se greffent l'un à l'autre pour ne former qu'un seul. Les valeurs des températures au cours de cette période de la journée sont de l'ordre de 40°C au centre-ville et sont comprises entre 36°et 37°C à la périphérie le soir.

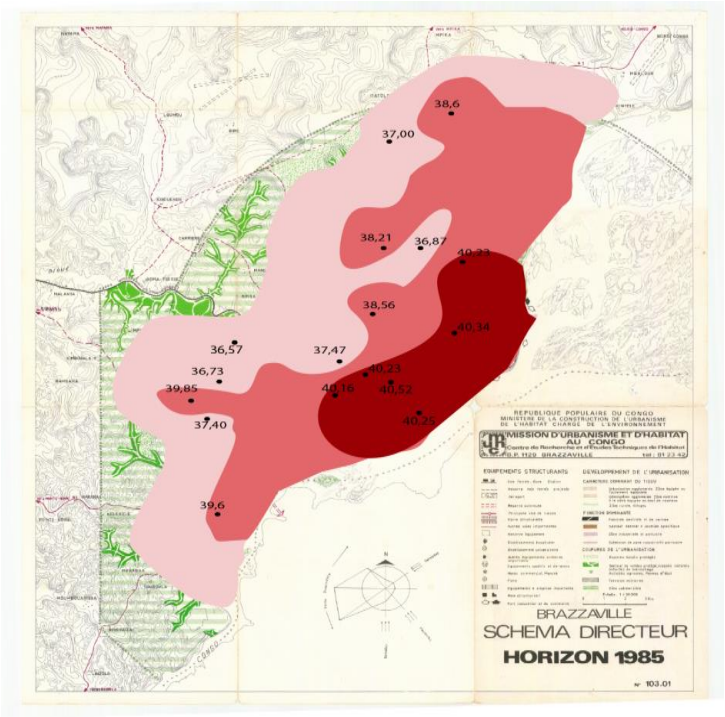

Figure 4 : Ilot de chaleur urbain au soir

2.2. Aperçu de l'ambiance climatique de l'agglomération urbaine de Brazzaville

Les récentes études sur les températures au Congo par Samba et al, *2008 ;* Samba et Nganga (2014) ont montré que la zone de Brazzaville n'est pas épargnée par le phénomène du réchauffement. Cette hausse semble aller dans le sens du réchauffement global constaté avec des nuances entre les grandes agglomérations (Brazzaville, Pointe-Noire) et les villes faiblement urbanisées (Sibiti, Dolisie). Sans pour autant que cela ne soit la particularité de Brazzaville, Oke (1982, 1987) et

Mpounza et al. (2003) ont montré que les grandes métropoles perturbent les précipitations, freinent et canalisent le vent, engendrent un air pollué, entretiennent ainsi un îlot de chaleur, dû à la restitution par les différents composants de la ville de la chaleur stockée pendant la journée.

La présente étude est une contribution à la compréhension du climat urbain de Brazzaville. Elle permet de compléter la compréhension de la sensibilité de ville au réchauffement additionnel, phénomène environnemental de premier ordre qui interpelle actuellement le monde de la recherche. La ville de Brazzaville, par le biais des activités humaines qui s'y rattachent et ses états de surface en grande partie anthropisés, constitue un élément important dans la modification des caractéristiques des masses d'air, notamment dans la couche limite (atmosphérique) de surface. À une période où la pollution dans les grandes villes constitue une préoccupation majeur au niveau national sinon international, il paraît indispensable de bien comprendre le fonctionnement du climat urbain. De nombreuses études (Oke, 1987, 2006) ont réussi à mettre en évidence l'existence d'un îlot de chaleur urbain et donc l'augmentation des températures au-dessus des villes, ou encore leur influence dans les précipitations. Cependant, elles sont rares les études qui ont cherché à comprendre l'interaction des différents champs météorologiques et évaluer leur influence de certains paramètres influençant les ilots de chaleur urbain. L'étude du climat urbain nécessite la mise en place (même de manière temporaire) d'un vaste réseau d'observation et des mesures des paramètres disponibles et non disponibles sur les réseaux météorologiques conventionnels ou traditionnels. On peut observer dans les villes aux moyennes latitudes, la création des marais des températures maximales sur quelques kilomètres carrés. En ce qui concerne l'agglomération urbaine de Brazzaville la disparition du couvert végétal qui jadis dominait cet espace, conduit à une diminution de l'évaporation et donc contribuer à un échauffement accru du sol. À l'échelle régionale, l'influence de l'homme sur le climat est admise. À l'échelle locale, l'action humaine est encore plus perceptible, dans la ville de Brazzaville et offre les modifications les plus spectaculaires de son environnement climatique. Elle a, en effet, une structure complexe et se compose de divers éléments qui constituent le tissu urbain (bâtiments, routes, …) et s'accroit spatialement au cours des décennies, par la création de nouveaux quartiers successifs ou par phagocytose des hameaux aux alentours, du centre-ville historique vers la périphérie. L'étalement

spatial urbain de Brazzaville engendre ainsi des transformations non seulement des états de surface naturels et anthropisés, mais également des mécanismes du topoclimat ou climat local. En effet, la variété des propriétés thermiques des matériaux comme la structure de la « canopée » urbaine induisent des modifications du bilan d'énergie urbain. L'hétérogénéité spatiale de la ville de Brazzaville induit de nombreuses variations du microclimat urbain. La ville de Brazzaville impose aux éléments du climat de nombreuses modifications : la diffluence des nuages pluviogènes issus du Pool Malébo. La topographie des différents quartiers de Brazzaville à laquelle il faut associer l'allure générale des sommets des immeubles se présentent comme une succession des microclimats caractérisés chacun par des ambiances particulières.

3. Discussion

Plusieurs facteurs ou paramètres expliquent la différenciation des températures dans l'espace urbain de l'agglomération de Brazzaville. La ville de Brazzaville qui se construit sans aucune référence urbanistique et échappe au contrôle du pouvoir public a un aménagement spatial qui reste confrontée aux aléas climatiques. Les problématiques liées aux îlots de chaleur urbains sont encore faiblement prises en compte, notamment en matière d'aménagement. En sus du microclimat urbain, influencé par différents paramètres météorologiques, plusieurs paramètres de source anthropique favorisent l'émergence et l'intensification des îlots de chaleur urbains de Brazzaville. Le cas de Brazzaville, sans qu'il soit particulier à cette ville, les émissions de gaz à effet de serre, la perte progressive du couvert forestier dans les milieux urbains, l'imperméabilité des matériaux, les propriétés thermiques des matériaux, la *morphologie urbaine* et la taille des villes ainsi que la chaleur anthropique constituent les principaux éléments qui contribuent à au réchauffement urbain. On peut donc distinguer deux catégories de paramètres qui influencent la mise en place des îlots de chaleur urbains : les paramètres urbains et les paramètres physiques. Toutefois, le réchauffement de la ville n'est nullement une relation injective ou surjective, il est une relation rétroactive d'interdépendance. Il est admis aujourd'hui que les différences de températures sont un phénomène assez complexe où s'entremêlent causes et effets en même temps. L'îlot de chaleur est une fonction du moment de la journée. Parmi les facteurs ou causes de l'ilot

de chaleur urbain, on peut citer dans l'agglomération urbaine de Brazzaville, les émissions de gaz à effet de serre dont les sources principales sont les véhicules, au niveau du résidentiel, il y a la combustion du bois énergie puis la combustion des énergies fossiles.

Le climat de Brazzaville est naturellement forestier, mais avec la densification progressive de la ville et le développement des infrastructures urbaines ces dernières décennies font reculés le milieu forestier. Le couvert forestier urbain de Brazzaville est en diminution constante depuis les années 1950 et serait même menacé de disparition. La perte de végétation induit des perturbations bioclimatiques notamment une perte de fraîcheur en milieu urbain. Dans le processus bioclimatique normal, la végétation joue un rôle essentiel de protection contre la chaleur grâce au phénomène d'évapotranspiration et d'ombrage des sols et des bâtiments. De nombreux auteurs (Bolund et Hunhammar, 1999 ; Cavayas et Baudouin, 2008 ; Akbari et al., 2001) pensent qu'au cours du processus naturel d'évapotranspiration de la vapeur d'eau, l'air ambiant se refroidit et cède une partie de sa chaleur pour permettre l'évaporation. La végétation participe également à une bonne gestion des eaux pluviales et à une meilleure qualité de l'air dans les villes.

Avec l'intensification de l'urbanisation des dernières décennies les sols naturels ont été remplacés par des matériaux imperméables, tels que l'asphalte et les matériaux utilisés pour la construction des bâtiments qui, n'assurant pas de fonctions de filtration et d'absorption de l'eau, modifient le parcours naturel des eaux pluviales. Avec ces mêmes matériaux de construction on augmente les énergies grises. Les revêtements imperméables et les matériaux des bâtiments influencent le microclimat et les conditions de confort thermique, car comme l'affirment Asaeda et al., (1994) ils absorbent beaucoup de chaleur durant le jour qu'ils rediffusent à l'atmosphère pendant la nuit, contribuant ainsi à l'effet d'îlot thermique urbain.

L'agglomération de Brazzaville a une *morphologie urbaine*, qui se situe entre les deux plateaux Batéké et des Cataractes puis les petites vallées drainées ou sèches, avec une orientation et espacement des bâtiments qui joue un rôle majeur dans la formation des îlots de chaleur urbains. Les quartiers de Brazzaville avec les grands bâtiments et les rues étroites surtout dans les nouveaux quartiers ne favorisent pas une bonne ventilation des centres urbains. Aussi, comme la montré Oke (1988) la *morphologie urbaine* peut également influencer les apports de chaleur et de pollution de l'air.

L'agglomération de Brazzaville se situe dans une zone atmosphérique dite de calme équatorial, dominée par des faibles vents (inférieur à 1 m/s) où les forts vents sont rares. Ainsi, comme le temps se caractérise par des vents souvent calmes et quelquefois à ciel dégagé, de plus en plus l'îlot de chaleur urbain est intense. En plus, la morphologie urbaine de Brazzaville joue sur le régime des vents : une rue étroite empêche les vents de circuler et fait alors stagner les masses d'air créant les conditions d'établissement des îlots de chaleur urbains. L'ICU dépend donc des conditions aérologiques c'est-à-dire des régimes de vents. Un vent fort, ventile la ville de Brazzaville et va favoriser la circulation de l'air, ainsi, il diminue le réchauffement du substratum urbain. À l'inverse, un vent faible entraîne une stagnation des masses d'air qui ont alors le temps de réchauffer le bâti.

Enfin, il est important de noter aussi l'importance de la chaleur anthropique, notamment : les énergies émises dans la cuisson auprès des différents ménages, dans la circulation automobile et toutes les énergies grises (liées aux bâtiments et autres infrastructures), sont autant de facteurs qui font augmenter les températures et donc favorisent l'apparition d'un îlot de chaleur.

3.1. Déterminants des îlots de chaleur urbains à Brazzaville

Les observations des températures du matin, par exemple, dévoilent l'amorce d'un îlot de chaleur dans les quartiers situés sur le Mont Boukiéro (plateau Batéké), une situation exceptionnelle aux quartiers liée au régime de brise de vallée du fleuve. En fonction de l'orientation et la situation du quartier situé du côté Est où apparait le soleil, au matin, lui fait bénéficier et avec son rayonnement arrivé sur des surfaces exposées. Les quartiers sur le Mont Boukiéro se situent topographiquement sur les contreforts de retombés du plateau Batéké. Le quartier sur les versants Est de Mont Boukiéro bénéficierait de son exposition à des radiations du matin par rapport aux autres quartiers sous abri. Cette situation topographique l'expose au rayonnement matinal. Les autres quartiers péri-urbains et périphériques grâce aux vents locaux bien localisés et à la trame urbaine, semblent encore bien ventilés. La présence du gradient de champ de pression au sol crée un mouvement d'air chaud vers les bas quartiers de Talangai et Ouenzé, ajouter à cela la densification de l'habitation des anciens quartiers développent aux environs des 12 h un noyau de chaleur. L'îlot de chaleur urbain de Brazzaville est aussi sensible aux différences de

l'albédo et à l'évolution diurne du rayonnement relatif selon les quartiers.

À cause des aérosols urbains l'effet de serre est beaucoup renforcé. Entre la pollution urbain, l'effet de serre bien particulier, l'agglomération de Brazzaville, créée un biotope urbain bien particulier. À certains endroits les microclimats favorisent le développement des organismes comme les micro-moisissures et autres champignons sous l'effet de la chaleur, favorisant une gamme des maladies de la peau, par exemple. Des vagues de chaleur pourraient accroître la sensibilité des maladies pulmonaires chez les populations vivant dans des maisons à modeste confort. Entre l'agglomération urbaine de Brazzaville et le milieu rural avoisinant, peuvent se créer une brise urbaine. L'air des zones périphériques converge vers endroits chauds dans la ville. Une cellule de convection se crée alors sur la ville et en altitude les masses d'air divergent en retournant vers les zones périphériques.

3.2. Échelle spatiale de manifestation de phénomène climatique à Brazzaville

De manière générale pour les études relatives au microclimat urbain, il est à distinguer différentes échelles horizontales et verticales. Oke (2004) distingue aux échelles horizontales urbaines, trois dimensions d'étude en climatologie urbaine : la micro-échelle, l'échelle locale et la méso-échelle. La micro-échelle (moins de 100 m) permet de distinguer le microclimat qui existe au niveau d'un bâtiment, d'une rue, d'un arbre, d'un jardin, d'une cour, etc. En effet, à faible distance, il peut être observé des différences de températures de quelques degrés et le flux d'air est également perturbé par le moindre objet. L'échelle locale (10^2 à $5x10^4$ m) dans le cas d'une zone urbaine, elle correspond à un quartier pour lequel il peut être trouvé une unité dans le développement urbain (unité architecturale, taille et espacement des bâtiments, activité, etc.). La méso-échelle (10^4 à $2x10^5$ m) correspond à la zone influencée par exemple par la présence d'une agglomération. À la vertical, les influences de la ville ne s'observent pas sur l'ensemble de l'atmosphère mais au sein de la couche limite atmosphérique (CLA), qui s'étend du sol jusqu'à une altitude entre 100 et 3 000 mètres. La couche limite urbaine (CLU) se distingue par sa complexité due à des caractéristiques et processus particuliers.

3.3. Conséquence de la couche limite urbaine (CLU)

L'îlot de chaleur urbain, avec des températures plus élevées au centre de la ville et relativement basses dans la périphérie. Les couches limites internes dynamiques et thermiques perturbent l'équilibre des champs de vent, générant des flux locaux entre le centre de la ville et ses environs et, entre les différents quartiers « brises de campagne », ainsi que des convections thermiques. L'influence de la ville de Brazzaville s'observe au niveau de l'atmosphère avec un « dôme ou pic de chaleur » et aussi à travers les vents, compte tenu de la densification du cadre bâti, des dimensions et aménagement des rues et avenues, de la mauvaise orientation des ouvertures par rapport à la direction du vent et espaces confinés. De même, la présence dans l'agglomération du bitume ou surfaces noires, les gaz d'échappement, des différentes couleurs non règlementées mais choisies arbitrairement pour la décoration des bâtisses impact sur l'absorption et la réflexion du rayonnement solaire donc sur « albédo » urbain. En effet, les transports urbains induisent des effets néfastes sur la formation des microclimats urbains. Ceci par l'élévation de l'effet de serre avec l'accroissement des gaz à effet de serre liés aux gaz d'échappement. Pour la ville de Brazzaville les heures de six/sept heures (6/7h), onze-treize heures (11-13h) et dix-sept/dix-huit heures (17/18h) sont de moment de grands flux migratoires entre le centre-ville et la périphérie avec de nombreux embouteillages à différents points. Au-delà des émissions liées au transport, le facteur orographique impacte aussi significativement sur le régime des vents. Les vallées et les collines créent un régime de brises de vallées, altérant ou exacerbant les différences thermiques entre les versants de la vallée. L'habitat urbain reste l'enjeu majeure pour l'Effet Îlot de Chaleur Urbain (EICU). Il faut tenir compte des mutations en matériaux de construction, l'orientation des ouvertures, l'élargissement des périmètres es voiries urbaines, du mode de transport, les espaces verts, la couleur de la peinture, les énergies grises, etc.

3.5. Les conséquences de l'îlot de chaleur urbain

Les îlots de chaleur urbains sont de façon interdépendante et rétroactive à l'origine de la diminution de l'humidité relative et des brouillards matinaux. De plus, ils modifient le régime des pluies journalières avec le phénomène de diffluence des masses nuageuses entre le Pool fluvial Malebo et le substratum Brazzaville. Cependant, lorsque le temps est

instable, l'ICU provoque une augmentation de l'intensité des précipitations provoquant parfois de violents orages car la ville perturbe principalement la convection profonde des masses d'air. Son influence est ainsi marquée sur les phénomènes violents comme les fortes averses et les orages. De plus, les îlots de chaleur urbains influencent les paramètres qui dans une interrelation vont les renforcer. Ainsi, les différences de chaleur entre centre-ville et périphérie sont à l'origine de « brises de campagne » (des vents thermiques de faible intensité engendrés par les différences de température), vont des zones moins chaudes aux zones plus chaudes, favorisant ainsi la concentration de polluants dans les secteurs les plus urbanisés et les plus denses, autrement dit les secteurs qui souffrent déjà le plus des effets d'îlots de chaleur. Besancenot (2002), affirme que certaines personnes peuvent être davantage vulnérables aux îlots de chaleur urbains, comme les personnes atteintes de maladies chroniques, les populations socialement isolées, les très jeunes enfants, les travailleurs extérieurs, les personnes ayant un faible niveau socioéconomique, les sportifs extérieurs de haut niveau et les personnes souffrant de troubles mentaux. La chaleur accablante engendrée par les îlots de chaleur urbains peut provoquer des inconforts, des faiblesses, des troubles de la conscience, des crampes, des syncopes, des coups de chaleur, voire exacerber les maladies chroniques préexistantes comme le diabète, l'insuffisance respiratoire, les maladies cardiovasculaires, cérébro-vasculaires, neurologiques et rénales, au point de causer la mort (Besancenot, 2002; Luber et McGeehin, 2008). En raison des îlots de chaleur, une hausse de la demande en eau potable, pour se rafraîchir ou pour hydrater les aménagements végétalisés, est probable (Balling et al., 2008). La chaleur accablante accentuée ou générée par les îlots de chaleur urbains peut créer un stress thermique pour la population. Afin de réduire la vulnérabilité individuelle et d'assurer un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique, les températures ambiantes doivent être ni trop basses ni trop élevées. La température corporelle, d'environ 37°C, est maintenue grâce aux apports de calories apportés par la nourriture et aux échanges de chaleur avec l'environnement immédiat selon ces mécanismes :

- la *convection*, qui favorise les échanges entre la peau et l'air ambiant, lesquels sont accentués par la vitesse de l'air ;

• la *conduction*, soit des échanges par contact direct de la peau et d'un corps plus chaud ou moins chaud (exemple : marcher pieds nus sur un plancher froid) ;
• le rayonnement, ou des échanges entre la peau et les éléments solides de l'environnement (exemples : murs, plafond, sol et sources de chaleur) ;
• la transpiration, soit une perte de chaleur par évaporation de sueur, plus efficace lorsque l'humidité relative est faible (Salomon et Aubert, 2003).

Ainsi, le confort thermique sera fonction des individus et du contexte.

3.6. Les ICU, une problématique centrale

Les ICU ne sont ni une cause, ni une conséquence du changement climatique, les interrelations de l'un sur l'autre aggravent les impacts de chacun. Le changement climatique qui devrait s'accompagner d'une augmentation des températures générales rendra l'ICU encore plus intense. De même, dans une bien moindre mesure toutefois, les dynamiques qui président à la formation des ICU et leurs conséquences (pollutions, consommations d'énergie …) sont d'autant plus de facteurs du changement climatique. Ainsi, si les îlots de chaleur urbains ne peuvent être vus comme un phénomène nouveau, ils s'inscrivent dorénavant dans une systémique qui leur donne une place centrale dans les problématiques urbaines actuelles. De plus, à l'heure où l'on connaît de mieux en mieux les effets de la concentration de pollution sur la santé et sur l'environnement, lutter contre les chaleurs urbaines améliorerait en même temps la qualité de l'air. La lutte contre les ICU est alors un enjeu majeur de la ville pour leur attractivité. La problématique des îlots de chaleur s'inscrit dans une interrelation avec de nombreux autres enjeux urbains. Il convient donc, de la traiter de manière intégrée, en prenant garde, par exemple, de ne pas résoudre un problème en en aggravant un autre. Les réponses apportées doivent s'inscrire dans une logique de développement durable qui intègre à la fois les préoccupations sociales et sanitaires, les préoccupations économiques et les préoccupations environnementales.

Conclusion

Ce travail a fait l'objet d'une analyse de l'îlot de chaleur urbain de Brazzaville. À partir des données des températures *in situ,* une

cartographie des îlots de chaleur urbains du matin, de midi et du soir a été établit. L'îlot de chaleur urbain de Brazzaville s'étend du centre-ville vers la périphérie. Une des grandes caractéristiques des îlots de chaleur urbains dans l'agglomération de la ville de Brazzaville est qu'il dépend du relief, des activités, du climat local… concernant les stratégies d'adaptation de la vile à l'îlot de chaleur urbain on ne peut donc pas appliquer des solutions « toutes faites » à toutes les villes qui souffrent des ICU, car Brazzaville présente des spécificités bien particulières. Il est bien intéressant de couplé cette étude aux données des températures, à différentes strates urbain et à des conditions aérologiques aux échelles spatiotemporelles plus fines.

Bibliographie

AKBARI H., POMERANTZ M., TAHA H. Cool, 2001, *Surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas.*Solar Energy, vol.70, n°3, p. 295-310.

ASAEDA A., CA V.T., AKIO Wake, A., 1994, "Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere", *Atmospheric environment*, vol. 30, nº 33, p. 413-427.

BALLING R. C., GOBER Jr. P., JONES N., 2008, *Sensitivity of residential water consumption to variations in climate: an intraurban analysis of Phoenix, Arizona, Water Resour. Res., gardens as an adaption strategy for urban areas,* National Research Council Canada, Ottawa.

BESANCENOT J., 2002, « Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines », *Environnement, risques et santé*, vol. 4, nº. 1, p. 229-240.

BESANCENOT J. P., 2002, « Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines », *Environnement, Risques et Santé*, vol.1, n°4, p. 229-240.

BOLUND P., HUNHAMMAR S., 1999, "Ecosystem services in urban areas", *Ecological Economics*, vol. 29, p. 293-301.

CAVAYAS F. et BAUDOUIN Y., 2008, *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 (http://cmm.qc.ca/biotopes/docs/volets1et2.pdf).

COLOMBERT M., 2008, *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*, Université Paris-Est, Thèse de Doctorat. (http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00470536/en/).

LUBER G., McGEEHIN M., 2008, "Climate change and extreme heat events", *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 35, p. 429- 435.

OKE T.R., 1982, "The energetic basis of the urban heat island", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 108, p. 1-24.

OKE T.R., 1987, « *Boundary Layer Climate* », *Routledge*.

OKE T.R., 1988, "Street design and urban canopy layer climate", *Energy and Buildings*, vol. 11, p. 103-113.

OKE T.R. 2004. *Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites*. 13. http://www.urban-climate.org/ITM04-Oke.pdf

OKE T.R., 1973, « City size and the urban heat island », *Atmospheric Environment (1967)*, 7 (8), p. 769-779.

OKE T. R., 1976, « The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands », *Atmosphere*, vol. 14, Iss. 4, pp. 268–277.

OKE T.R., 1987, *Boundary Layer Climates.* 2e éd. London, Routledge.

OKE T. R., 1988: "Street design and urban canopy layer climate", *Energy and Buildings*, vol.11, n°1-3, 1988, p. 103-113.

OKE, T. R. 2006. *Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. WMO. (http://weather.gladstonefamily.net/UrbanMetOps.pdf).

SALOMON T. et AUBERT C., 2003, *La fraîcheur sans clim*. Paris, Terre Vivante.

SAMBA G. & NGANGA D., 2014: Minimum and Maximum Temperature Trends in Congo-Brazzaville: 1932-2010. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4, p. 404-430 (http://dx.doi.org/10.4236/acs .2014.43040).

SAMBA G, NGANGA D. and MPOUNZA M, 2008, *Rainfall and temperature variation over Congo-Brazzaville between 1932 and 1998, Theoretical Applied Climatology*, 91, 85-97 (DOI 10.1007/s00704-007-0298-0).

VOOGT J.A., 2002, "Urban heat island", *Encyclopedia of global environmental change*, Vol. 3, p. 660-666.

VOOGT J.A., 2004, "Urban heat islands: hotter cities", in *ActionBioscience.org. America Institute of Biological Sciences.*

(http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html#educator)

WATKINS R., PALMER J., KOLOKOTRONI M., 2007, "Increased temperature and intensification of the urban heat island: implications for human comfort and urban design", *Built Environment*, vol. 33, p. 85-96.