

Caractérisation des Îlots de Chaleur dans la Commune de Porto-Novo et ses Alentours

[Characterization of Heat Islands in the Municipality of Porto-Novo and its Surroundings]

Lucrèce Funmilayo FALOLOU ^{1*}, Vincent OREKAN ², Christophe S. HOUSSOU ¹, Euloge K. AGBOSSOU ³

¹ Laboratoire Pierre Pagney : Climat Eau Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin

² Laboratoire de Biogéographie et Expertise Environnementale (LABEE), BP: 677 Abomey-Calavi, Bénin

³ Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'eau (LHME), BP526 Cotonou – Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin



Résumé – La présente étude vise à caractériser des Îlots de Chaleur Urbains (ICU) dans la Commune de Porto-Novo et ses alentours. Il s'agit de relier la répartition des températures aux caractéristiques de l'espace bâti. Autrement il s'agit de montrer que la distribution thermique dépend essentiellement de la topographie, de la densité du bâti et de l'occupation du sol. La méthode utilisée est basée sur la télédétection et plus précisément sur l'utilisation de données de températures de surface, à partir d'images satellites thermiques MODIS, obtenues via le site LPDAAC depuis un terminal Linux Unbutu. Les résultats montrent que les variations spatiales de température sont faibles et que l'écart thermique est amoindri dans la zone d'étude. Cependant, on peut classer les îlots de chaleur urbain de la zone d'étude en trois catégories : Faible ICU avec un écart thermique de 1°C avec les périphéries, ICU moyen avec un écart thermique de 2°C avec les périphéries et ICU fort avec un écart thermique de 3°C à 6°C avec les périphéries. En effet, les températures des ICU forts varient de 24°C à 32°C. Ces fortes températures se rencontrent au niveau des toitures de bâtiments, des surfaces imperméables et sombres, des asphaltes ; ce qui les classe en première position des surfaces les plus chaudes. Il faut noter que cette augmentation de température, liée à l'urbanisation, peut avoir non seulement des impacts environnementaux mais aussi des impacts sanitaires non négligeables tel que : le stress thermique, les coups de chaleur, les syncopes, etc.

Mots-clés – Télédétection, images satellitaires, MODIS, température de surface, végétation, occupation du sol.

Abstract – The present study aims to characterize Urban Heat Islands (ICU) in the Municipality of Porto-Novo and its surroundings. It is a question of relating the distribution of temperatures to the characteristics of the built space. Otherwise it is a question of showing that the thermal distribution depends essentially on the topography, the density of the building and the occupation of the ground. The method used is based on remote sensing and more precisely on the use of surface temperature data, from MODIS thermal satellite images, obtained via the LPDAAC site from a Linux Unbutu terminal. The results show that the spatial variations in temperature are small and that the thermal difference is reduced in the study area. However, the urban heat islands in the study area can be classified into three categories: Low ICU with a thermal difference of 1 ° C with the peripheries, Medium ICU with a thermal difference of 2 ° C with the peripheries and strong ICU with a thermal difference of 3 ° C to 6 ° C with the peripheries. Indeed, the temperatures of strong ICUs vary from 24 ° C to 32 ° C. These high temperatures are encountered at the roofs of buildings, waterproof and dark surfaces, asphalts; which puts them in first position on the hottest surfaces. It should be noted that this increase in temperature, linked to

urbanization, can have not only environmental impacts but also significant health impacts such as: heat stress, heat stroke, faintness, etc.

Keywords – Remote sensing, satellite images, MODIS, surface temperature, vegetation, land

I. INTRODUCTION

L'urbanisation de l'espace a engendré la minéralisation des surfaces. En effet, le recouvrement des surfaces par des matériaux, pour la plupart imperméables et peu réfléchissant du rayonnement solaire, a accru les températures de surface au sein des villes et a favorisé la formation d'îlots de chaleur [1]. L'expression « îlots de chaleur urbains » indique la différence de température observée entre les milieux urbains et les zones rurales environnantes [2]. En effet, les éléments constitutifs de la ville sont très différents de ceux de la campagne : la végétation et l'humidité de surface sont en général moins importantes, les surfaces et les formes urbaines sont multiples et diversifiées. L'Îlot de Chaleur Urbain (ICU) est la conséquence thermique de ces différences [2]. Son intensité correspond à la valeur de cette différence de température. Ce phénomène se manifeste surtout la nuit [3]. L'intensité de l'ICU est d'autant plus marquée que la journée est ensoleillée et que la nuit suivante est claire (radiative) et calme (peu ou pas de vent).

Le développement urbain accéléré et mal planifié fait apparaître des îlots de chaleur urbains même dans les plus petites municipalités. La ville de Porto-Novo et ses environs (Adjara, Avrankou, Akpro-Missérété, Aguégoué et Sèmè-Podji), s'inscrivent dans cette mouvance. En effet, la croissance spatiale de Porto-Novo et de ses environs est évidemment le reflet de leur croissance démographique [4] avec un taux de croissance de 1,48%, 4,34%, 4,42%, 4,68%, 4,66%, et de 6,09% respectivement [5]. Elle est liée à l'absence d'une politique de planification foncière rigoureuse. Ce qui donne l'aspect de villes très peu structurées du fait que les autorités municipales n'arrivent pas souvent à anticiper sur les opérations de lotissement.

La présente étude vise à caractériser des Îlots de Chaleur Urbains (ICU) dans la Commune de Porto-Novo et ses alentours, de les corréler à la répartition des températures et aux caractéristiques de l'espace bâti [6].

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude

La zone d'étude regroupe les communes de Porto-Novo, de Sèmè-Podji, d'Akpro-Missérété, d'Adjara, d'Avrankou

et des Aguégoués (Figure 1). La commune de Porto-Novo est localisée entre 6°30 latitude nord et 3°30 longitude Est. Elle est limitée au nord par les communes d'Akpro-Missérété et d'Avrankou, au Sud par la commune de Sèmè-Kpodji, à l'Est par la commune d'Adjara et à l'Ouest par la commune des Aguégoués.

2.2. Localisation et identification des ICU

Plusieurs études utilisent la télédétection pour localiser les ICU. Ainsi, l'analyse cartographique d'images, basée sur des cartes, permet de connaître la température de surface d'une ville et de caractériser le type de recouvrement des sols ([7], [8]). Peu dispendieuse et pratique, elle permet également la juxtaposition de cartes comportant différentes données du milieu urbain étudié (données socioéconomiques, couvert forestier, etc.) [6]. Par contre d'autres études utilisent les données des stations météorologiques, des capteurs de température, des thermomètres mobiles, pour identifier les ICU ([9] et [10]). Cette méthode engendre des problèmes de coût et de logistique pour obtenir des sites de mesures avec suivi quotidien. Or, grâce aux capteurs satellitaires dans l'infrarouge thermique, les températures de surface peuvent être récupérées quotidiennement sur de grandes étendues dans l'infrarouge thermique ([7], [8] http://terra.nasa.gov/About/MODIS/modis_swath.php).

Dans la présente étude, nous avons utilisé la méthode de la télédétection pour identifier les ICU. Cette méthode repose principalement sur l'utilisation des images satellites thermiques de 2001 à 2015, collectées au-dessus de la ville de Porto-Novo et de ses environs.

En outre, compte tenu des moyens disponibles, nous avons opté pour « *les images satellitaires téléchargeables en ligne* » issues des satellites météorologiques. Ces derniers comportent souvent des capteurs qui permettent de sonder l'atmosphère pour repérer la structure des nuages et des systèmes météorologiques, les effets des îlots de chaleur urbains, les courants marins, les phénomènes comme El Niño, les feux de forêt, les émissions volcaniques et celles des industries polluantes (http://terra.nasa.gov/About/MODIS/modis_swath.php).

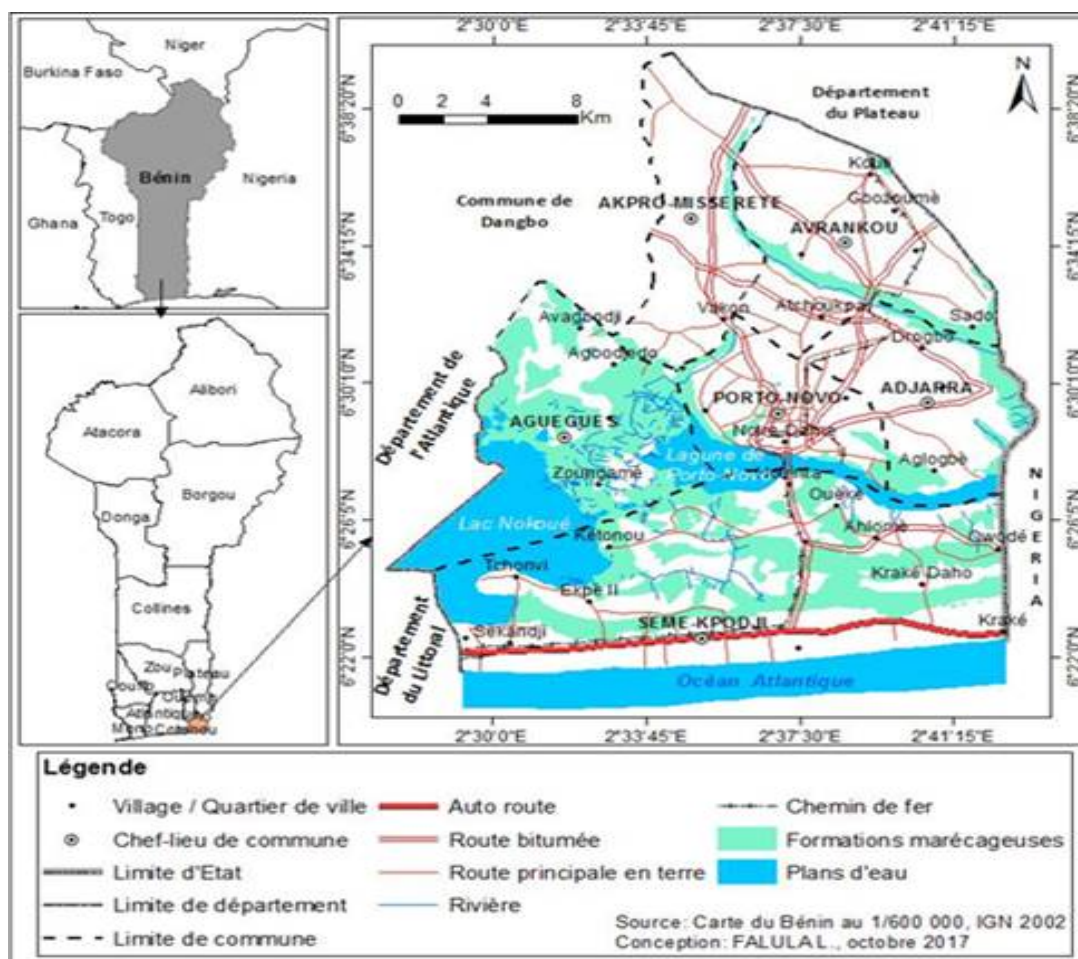


Figure 1 : Situation géographique de Porto-Novo et de ses environs

1.1. Justification du Choix du capteur MODIS

Après avoir inventorié les différents capteurs en mesure de fournir les données appropriées à cette étude, nous avons opté pour le capteur américain MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, c'est-à-dire «Radiomètre spectral pour imagerie de résolution moyenne ou modérée») embarqués sur les satellites Terra (depuis 1999) et Aqua (depuis 2002) [11]. En effet, MODIS offre des images de résolution variant entre 250m à 1Km (<https://lpdaac.usgs.gov>), [12]. Ces données de très bonne qualité [11] sont disponibles gratuitement par l'intermédiaire du Land Processes Distributed Active Archiv Center (LP DAAC) de la NASA et sur le site URL: <https://lpdaac.usgs.gov>.

Par ailleurs, ce capteur permet aussi de surveiller l'état de l'environnement de la terre et les changements progressifs de son climat.

Pour notre étude, nous avons choisi d'utiliser les composites 8-jours « Land Surface Temperature (LST) 8-days 1 km » (cadre optimal). En fait, le capteur photographie et mesure la même surface terrestre en moyenne 2 fois par jour. Mais les réflectances obtenues (notamment dans les longueurs d'ondes utilisées pour la température de surface) sont analysées automatiquement sur une série de 8 jours, et la moins bruitée (c'est-à-dire occultée par les nuages) est retenue. Des corrections géométriques sont également appliquées pour que l'image soit exploitable plus rapidement. De plus, les LST mesurées par le capteur MODIS sont aussi améliorées grâce à un nouvel algorithme, le day-night split-window qui prend en compte la variation des émissivités en fonction du temps, mesurées dans sept bandes infrarouges thermiques, à savoir les bandes 20, 22, 23, 29, 31, 32 et 33 [11].

1.2. Collecte des données de télédétection

Les fichiers de format HDF-EOS ont été téléchargés en suivant les étapes du guide de téléchargement et d'utilisation des données Modis de [13], en utilisant la commande WGET depuis un terminal Linux Unbutu.

La période choisie au cours de chaque année est la grande saison sèche comprise entre les mois « décembre et mars », et plus précisément les mois de Janvier, Février, Mars et Avril car ce sont les mois les plus chauds de l'année et aussi c'est pendant ces mois que l'on rencontre le pic

selon la courbe de température de surface issue des données de l'ASECNA (figure 2). En outre, cette période permettra d'obtenir des images sans nuages afin de mieux identifier les ICU. Ainsi, des images composites-8 jours de MODIS ayant déjà bénéficié de toutes les corrections et traitements nécessaires, donc directement exploitables ont été rassemblées.

1.3. Bandes utilisées

Les bandes utilisées par les températures de surfaces sont énumérées dans le tableau ci-dessus

Tableau I : Tableau des spécifications techniques MODIS

Usage principale	Bandes	Largeur de bande (µm)	Résolution spatiale au nadir
Température surface	20	3.660 - 3.840	1000 m (1 Km)
	21	3.929 - 3.989	
	22	3.929 - 3.989	
	23	4.020 - 4.080	
	31	10.780 - 11.280	
	32	11.770 - 12.270	

Source : Tableau des spécifications techniques MODIS, [www.modis](http://www.modis.com)

1.4. Traitement et analyse des images MODIS

Les images MODIS utilisées ici sont des produits finis. Ainsi, l'extraction des températures de surface (land surface temperature, LST) se fait par intégration dans un SIG. Les images relatives aux températures de surface sont converties en degré Celsius. Elles permettent d'observer, pour plusieurs dates, l'évolution des températures de surface. Les méthodes de transformation des valeurs spectrales en températures de surface sont complexes. Elles font appel à de différents algorithmes à partir desquels les valeurs d'émissivité de surface dans l'intervalle du thermique sont

transformées en températures de surface et exprimées en degré Celsius ([14], [15]). Ainsi, dans la présente étude, les cartes thermiques sont réalisées à l'aide du logiciel NCL et d'un algorithme codé sous l'inter-face de Linux Unbutu.

II. RÉSULTATS

2.1. Evolution de la température de surface

La variation des températures de surface au cours des trente (30) dernières années (1985 à 2015), est présentée dans la figure 2.

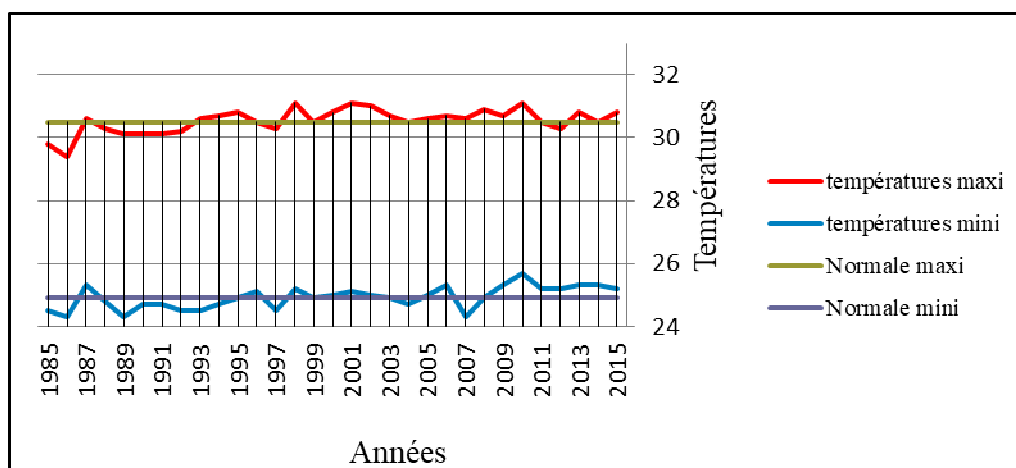


Figure 2 : Evolution des températures minima et maxima annuelles de 1985 à 2015

Source : ASECNA, Météo Bénin

Au regard de la figure 2 on remarque que les températures maxi et mini présentent le même type d'évolution au cours de la période 1985 - 2015. Les Normales des températures maxi et mini calculées sont respectivement de 30,5°C et 24,9°C d'où un écart de 5,6°C. Les parties de la courbe (des maxi ou des mini) se situant en bas de la Normale représente les années déficitaires et celles se trouvant en haut de la Normale représentent les années excédentaires.

2.2. Détermination des mois les plus chauds

La plupart des études sur l'ICU focalisent leur attention sur les périodes estivales uniquement à cause du climat de ces régions. Mais dans la présente étude, du fait de l'alternance des saisons, nous avons délibérément choisi de focaliser notre attention sur les mois les plus chauds consécutifs de l'année à partir des données de l'ASECNA sur la période 1985 à 2015 (figure 3).

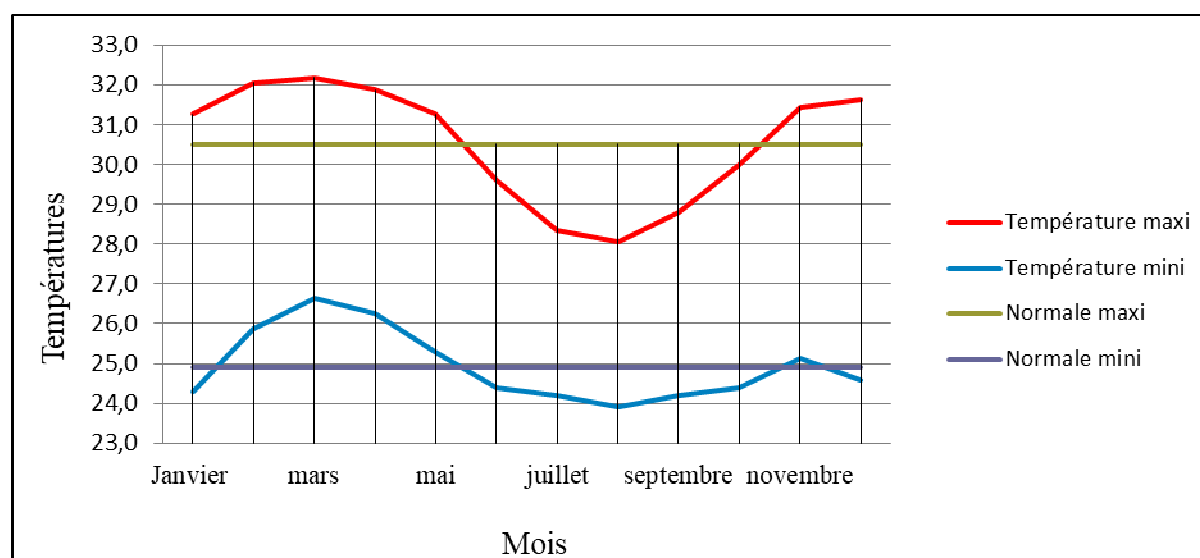


Figure 3 : Moyenne mensuelle des températures au cours de la période 1985-2015

Source : ASECNA, Météo Bénin

Au regard de la figure 2 ci-dessus les parties de la courbe (des maxi ou des mini) se situant en bas de la Normale représente les mois les moins chauds et celle se

trouvant en haut de la Normale représentent les mois les plus chauds. Ainsi, pour les températures maxi, les mois les plus chauds de l'année sont : janvier, février, mars, avril,

mai, novembre et décembre avec une valeur moyenne de 30,5 °C. Par contre, pour les températures mini les mois les plus chauds sont : février, mars, avril, mai et novembre avec une valeur moyenne de 25 °C.

Au Sud-Bénin, selon données de l'ASECNA, la grande saison sèche s'étend de décembre à mars et parfois de décembre à mi-avril et la petite saison sèche s'étend de mi-août à mi-septembre. (ASECNA). La présente étude se concentre sur la grande saison sèche de chaque année étudiée (2000 à 2015) afin d'obtenir de meilleures images satellites et de mieux étudier les ilots de chaleur sur une longue période de l'année et éviter le chevauchement de deux années comme par exemple décembre 2000 à avril 2001. Du fait que l'étude des ilots de chaleur se focalise plus sur les excès de chaleur, nous avons choisi les mois les plus chauds à partir de la courbe des températures maxi. Ainsi, au regard de la figure N°2 on remarque que la partie de la courbe ayant atteint le niveau maxi de température concerne les mois de janvier, février, mars, avril et mai. Le mois de mai étant dans la descente de la courbe des températures et aussi faisant partie de la saison pluvieuse a été éliminé de l'analyse afin de réduire les excès de nuages.

En définitive, les mois retenus pour la présente étude sont les mois de janvier, février, mars et avril.

2.3. Etablissement des cartes thermiques de la zone d'étude

Des séries de cartes sont réalisées afin de permettre une visualisation claire de la dynamique thermique de Porto-Novo et de ses environs. Les figures 4, 5 et 6, présentent la répartition des températures sur les quinze (15) dates sélectionnées, durant les mois de janvier, février, mars et avril.

Les séries de cartes de la température de surface issues des images MODIS des 15 dates (2001 - 2015) montrent d'une part, l'installation progressive de la masse d'air chaud et d'autre part, une intensification de l'ICU avec de écarts conséquents entre le centre-ville et la périphérie (figure 3). Les images décrivent différentes surfaces thermiques du paysage étudié par le biais d'une échelle de couleurs graduées. Ainsi, la classification en plages de couleurs de ces figures est identique pour chacune des dates retenues, sans distinction entre les années. Les couleurs représentent différentes valeurs de la température au sol, en mettant l'accent sur les surfaces les plus chaudes de la zone d'étude. Cette échelle, de couleurs graduées, évolue de l'orange-

rouge au rouge foncé pour les zones ou surfaces chaudes, et du bleu-vert au jaune, pour les zones fraîches. Ainsi, les îlots de chaleur se retrouvent dans les zones de couleurs foncées (d'orange à rouge-ocre). Par conséquent, ces zones de couleurs foncées apparaissent comme des zones favorisant une chaleur accablante pour le corps humain pendant la nuit avec des températures supérieures à 22°C.

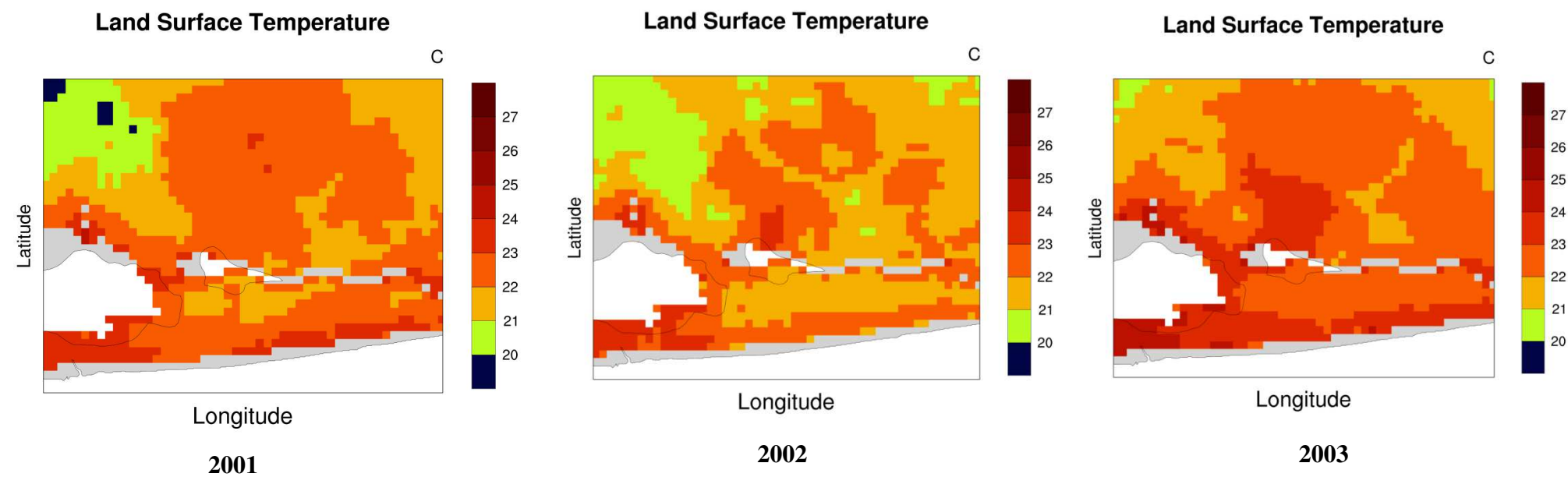
Par ailleurs, l'utilisation de ces couleurs sur les images satellites, et particulièrement dans notre zone d'étude, fait apparaître les caractéristiques thermiques pour différents types d'usage au sol typiques des zones urbaines, tels que les bâtiments, les pavages, les goudrons, asphaltes, les surfaces imperméables et la végétation. L'orange, le rouge au rouge foncé se concentrent au niveau des toitures des bâtiments, des surfaces imperméables, de l'asphalte et la couleur sombre caractérise l'intérieur des villes, ce qui les classe en première position des surfaces les plus chaudes. Tandis que le bleu et le vert couvrent plusieurs surfaces toujours à l'intérieur des villes, essentiellement grâce à l'ombre provoqué par certaines constructions ainsi que les surfaces de végétation et les surfaces humides. Le jaune indique la température de passage entre les zones fraîches et les zones les plus chaudes autrement dit la couleur jaune détermine la moyenne thermique spatiale propre à chaque série d'image.

L'observation de ces séries de cartes nous permet de remarquer que les maximums de températures gagnent en intensité et en superficie (orange, rouge au rouge ocre) au fil des années. Ainsi, la superficie des îlots de chaleur au sol et leur intensité sont élevées notamment pour les années 2003, 2006 et de 2009 à 2014. Il en résulte une diminution voir la disparition totale des températures mini (bleu et vert).

Comme les îlots de chaleur correspondent à des zones significativement plus chaudes que les secteurs alentours, de 2°C à 10°C, ainsi, on peut alors classer les ilots de chaleur urbains de la commune de Porto-Novo et de ses environs en 3 catégories à savoir :

- Faible ICU (couleur jaune) avec un écart thermique de 1°C avec les périphéries ;
- ICU moyen (couleur orange) avec un écart thermique de 2°C avec les périphéries ;

ICU fort (couleur rouge à rouge foncé) avec un écart thermique de 3°C à 6°C avec les périphéries.



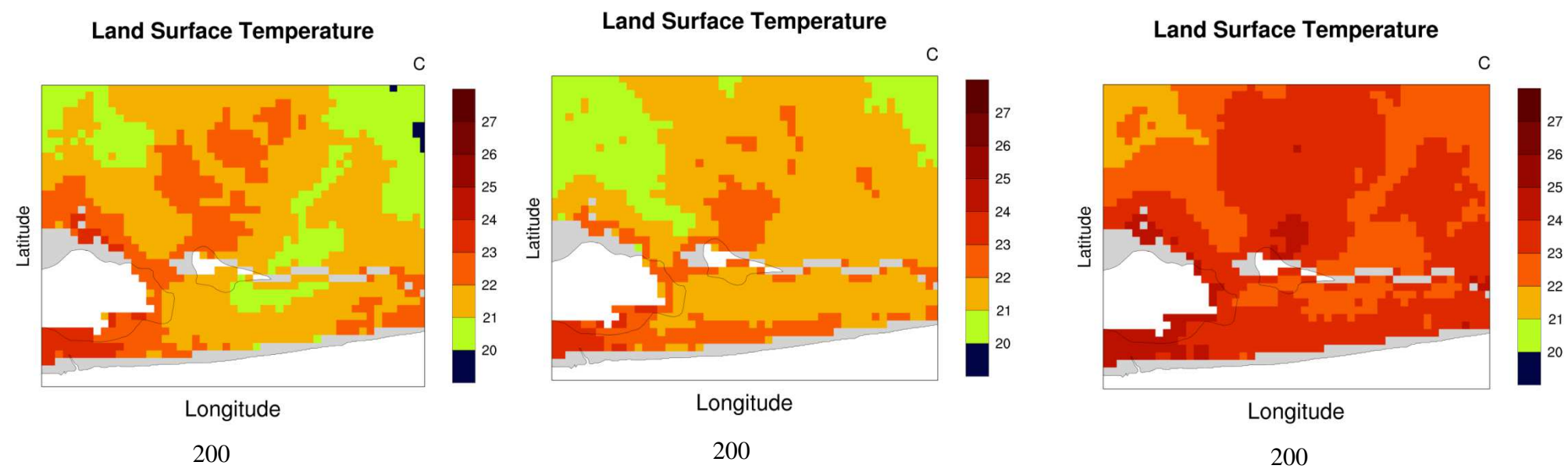
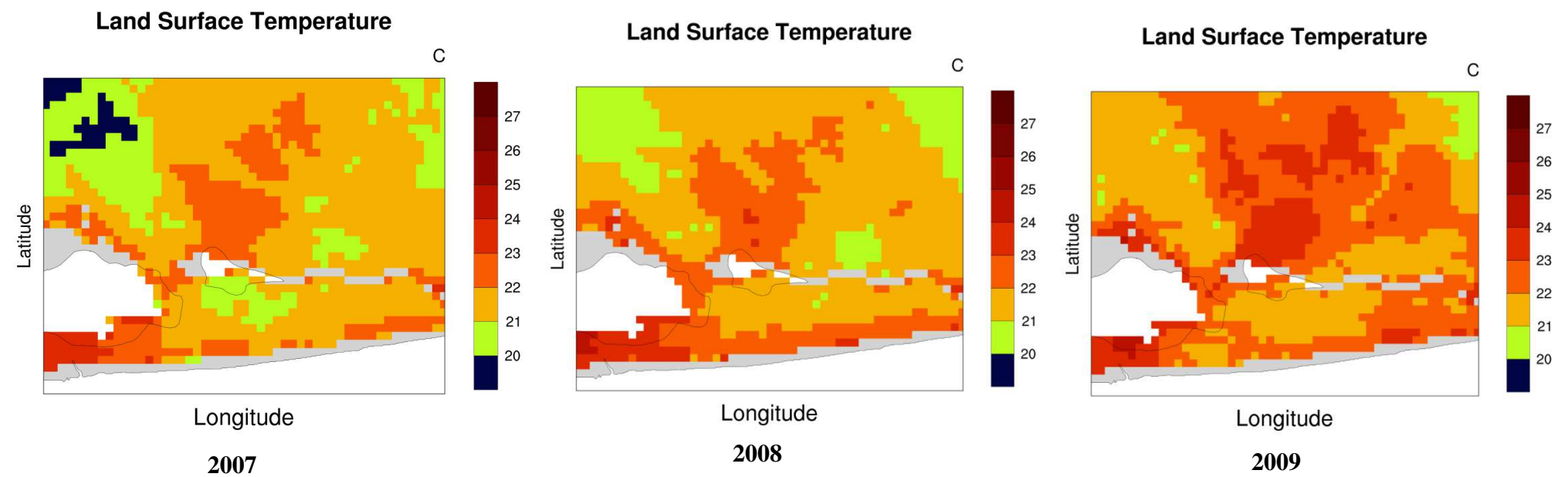


Figure 4 : Cartes thermiques de Porto-Novo et de ses alentours pour les mois janvier, février, mars et avril (degrés Celsius).



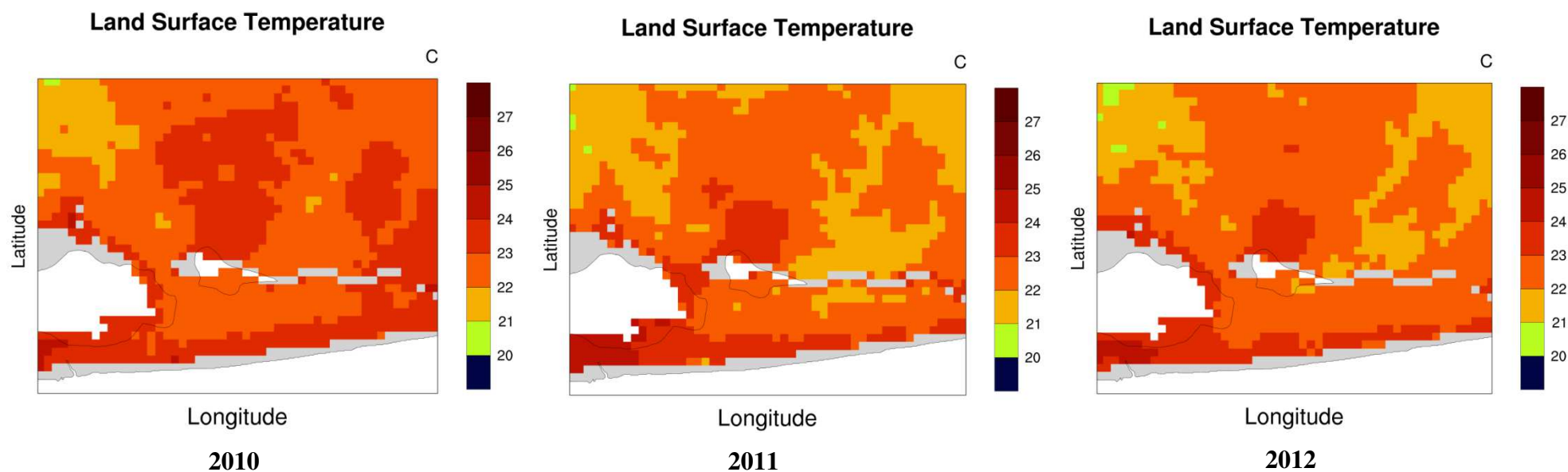


Figure 5 : Cartes thermiques de Porto-Novo et de ses alentours pour les mois janvier, février, mars et avril (degrés Celsius).

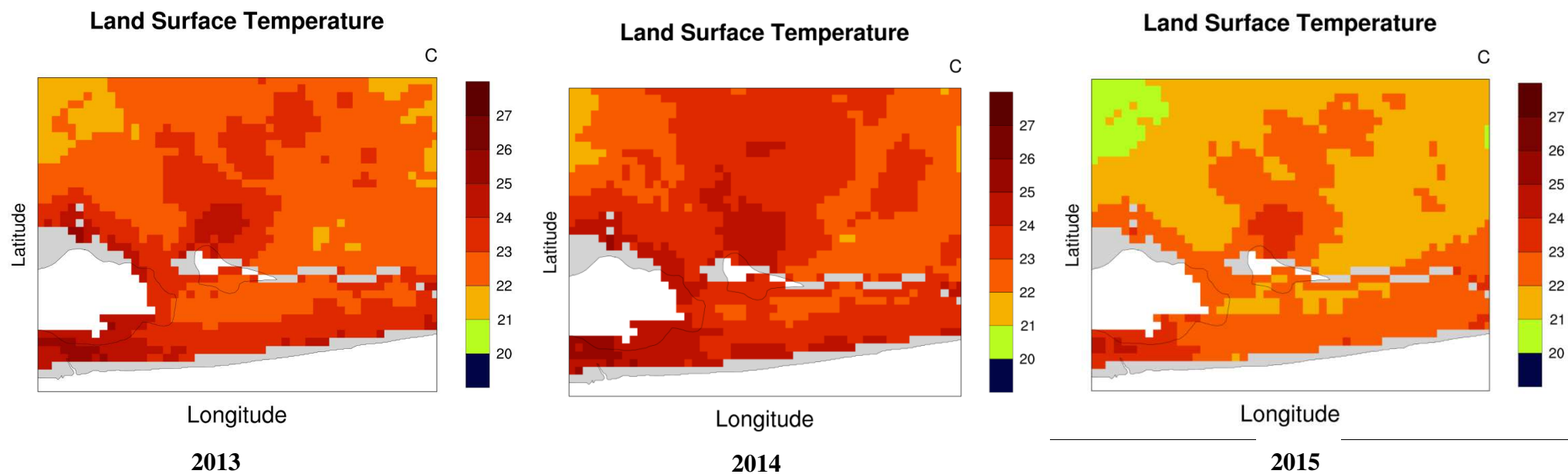


Figure 6 : Cartes thermiques de Porto-Novo et de ses alentours pour les mois janvier, février, mars et avril (degrés Celsius).

En outre, les ICU de la zone d'étude évoluent du sud-ouest vers le centre et le nord-est qui correspond à la zone d'extension de la ville et donc de l'occupation des sols. Enfin, notons que les variations spatiales de température sont faibles et l'écart thermique est amoindri dans notre zone d'étude. Malgré cela il y a la présence d'ICU dont l'intensité et la variation spatiales dépendent réellement des types d'occupation du sol et de l'absence ou la présence de la végétation dans la commune de Porto-Novo et de ses environ [16].

En effet, selon [16], les zones de végétations naturelles disparaissent au détriment des agglomérations et des zones de cultures au cours des différentes périodes à savoir 1972-1992, 1992-2012, 2012-2032. Autrement dit, la dynamique de l'occupation du sol fonction de l'évolution démographique et de la densité de la population semble en parfaite corrélation avec la dynamique des ICU.

Ainsi, les changements d'occupation du sol (déforestation, urbanisation) dans la zone d'étude ont des conséquences sensibles sur les températures à l'échelle locale comme nous pouvons le constater sur les images thermiques modis. Il en résulte une bonne corrélation entre l'intensité et la variation spatiales de l'ICU et les types d'occupation du sol.

III. DISCUSSION

La présente étude a permis de caractériser des Îlots de Chaleur Urbains (ICU) dans la Commune de Porto-Novo et de ses alentours. L'analyse des résultats révèle la présence d'ICU dont l'intensité et la variation spatiales dépendent réellement des types d'occupation du sol et de l'absence ou la présence de la végétation dans la commune de Porto-Novo et de ses environ [16]. Ainsi, les changements d'occupation du sol (déforestation, urbanisation) dans notre zone d'étude ont des conséquences sensibles sur les températures à l'échelle locale comme nous pouvons le constater sur les images thermiques modis.

Ces résultats confirment ceux des auteurs qui ont analysé le phénomène d'îlot de chaleur urbain notamment à Beijing en Chine [17], à Séoul, en Corée du Sud [18], à Baltimore aux États-Unis [19], à Phoenix aux États-Unis [20], à Manchester en Grande-Bretagne [21], à Łódź en Pologne [22] et à Montréal au Canada [23].

L'étude réalisée dans la région Parisienne [24], montre d'une part que les températures nocturnes de surface des zones densément urbanisées sont beaucoup plus élevées (+ 6°C) que les zones agricoles avoisinantes, lors des nuits de

ciel clair et d'autre part l'influence notable de l'occupation/utilisation du sol sur le climat local.

De même, ces résultats confirment également ceux de l'étude réalisée par [25], grâce à l'imagerie satellitale dans la ville de Basel en Suisse. Leurs résultats soulignent une fois de plus l'importance de la végétation sur le comportement thermique de la zone d'étude. Leurs résultats, rejoignent ceux de [26] sur Paris, qui réaffirment l'hypothèse d'un refroidissement des surfaces occupées par les parcs urbains déjà montré par [27]. Ainsi, les conclusions de ces études corroborent les résultats obtenus sur Porto-Novo et ses environs dans le sens où un lien entre la végétation et la température a été établi.

Allant dans ce même ordre d'idée, l'étude de [28] sur la métropole de New York aux USA, a permis de montrer d'une part qu'à des échelles locales, la densité du bâti et la forme des rues jouaient un rôle principal dans les variations des ICU de surface et d'autre part une forte similitude entre l'évolution de la végétation et celle de la température. Ce qui rejoint [29] qui affirment que la présence de grands bâtiments (canyon urbain), la disposition des bâtiments au bord des rues et les matériaux utilisés pour les constructions et la voirie sont les principales causes des ICU nocturnes. En effet, ces matériaux participent à la rétention de la chaleur leur conférant une faible inertie thermique [30]. C'est le cas de l'asphalte qui est particulièrement performant pour emmagasiner et restituer peu à peu la chaleur, et ce, plusieurs heures après le coucher du soleil [31]. De plus, la référence [32], atteste que la disposition des bâtiments notamment en bordure des rues et leur hauteur entravent partiellement le mouvement de l'air ce qui participe à la rétention de la chaleur dans le matériau.

Par ailleurs, plusieurs études sur les îlots de chaleur urbains ayant recours à la méthode de campagne de mesures par capteurs de températures, station météorologique, thermomètres mobiles aboutissent toutes aux mêmes résultats. Ainsi, ces différentes études de par le monde dans des villes de tailles différentes démontrent que la variabilité spatiale de l'îlot de chaleur urbain est fonction des types d'occupation du sol et de l'absence ou la présence de la végétation, des formes urbaines, des surfaces imperméables et de la hauteur moyenne des bâtis et de leur densité ([9], [10])

Compte tenu de tout ce qui précède, il faut noter que cette augmentation de température, liée à l'urbanisation, peut avoir des impacts sanitaires très graves tels que : le stress thermique et hydrique, 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, cérébrovasculaires, neurologiques ou rénales, au point de causer la mort [33]. En ce sens, un suivi régulier du phénomène d'îlot de chaleur urbain et de l'évolution de l'occupation du sol est fondamental dans la gestion durable de l'environnement et dans la compréhension de son fonctionnement et des facteurs climatiques. Ainsi, comme le conseillent [34], et le Conseil Régional de l'Environnement de Montréal [35], accroître la couverture végétale des villes par le verdissement et la protection des espaces naturels est déterminant dans la réduction des îlots de chaleur.

IV. CONCLUSION

Les résultats de l'étude révèlent non seulement la présence des ICU dans la commune de Porto-Novo et de ses environs mais que leur intensité et leurs variations spatiales dépendent des types d'occupation du sol et de l'absence ou de la présence de la végétation. Il faut néanmoins noter que les variations spatiales de température sont faibles et que l'écart thermique est amoindri dans ladite zone d'étude.

En effet, la présence de la végétation et/ou de cours d'eau crée des zones de fraîcheur contrairement aux surfaces les plus chaudes qui se concentrent au niveau des toitures de bâtiments, surfaces imperméables, asphalte et sombre à l'intérieur des villes.

Cette étude a permis de mieux comprendre le comportement thermique des surfaces de la commune de Porto-Novo et de ses environs durant la nuit notamment.

En vue de réduire l'effet de ces îlots de chaleur urbains, il serait adéquat de mettre en place des mesures d'atténuation afin de diminuer significativement la température de l'air durant le jour comme la nuit. Il existe à cet effet, une diversité d'actions pour réduire ce phénomène telles que « des mesures de végétalisation, des mesures liées aux infrastructures urbaines (architecture et aménagement du territoire), des actions de gestion des eaux pluviales et de perméabilité des sols ou encore des mesures visant à réduire la chaleur anthropique [36].

REFERENCES

- [1] ARNFIELD J.A., (2003): « Two Decades Of Urban Climate Research: A Review Of Turbulence. » Exchanges Of Energy And Water, And The Urban Heat Island, International Journal Of Climatology, 23: 1–26.
- [2] VOOGT J. A., (2002): « Urban Heat Island, Encyclopedia Of Global Environmental Change » Vol. 3, Pp. 660-666.
- [3] DE LAPPARENT B., ROUX J., RICHARD Y., POHL B., (2015) : « Mesures De La Température Et Spatialisation De L'îlot De Chaleur Urbain A Dijon. » Xxviii Colloque De L'Association Internationale De Climatologie, Liège 2015
- [4] B. N'BESSA, (1997): « Porto-Novo Et Cotonou (Bénin) : Origine Et Evolution D'un Doublet Urbain. » Bordeaux III. Université Michel De Montaigne: Thèse De Doctorat d'Etat Es Lettres, 416 P.
- [5] INSAE (2013) : "Résultats Provisoires Du Quatrième Recensement Général De La Population Et De L'Habitation (RGPH4)", Cotonou, Bénin 8 P. [Www.insae-bj.org](http://www.insae-bj.org)
- [6] QUENOL H., OLIVIER V. ET VINCENT D., (2007) : « Apport De La Géomatique Pour La Caractérisation De L'îlot De Chaleur Urbain A Rennes (France) », Anais XIII Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 Avril 2007, INPE, P. 5467-5469. Laboratoire COSTEL, UMR6554 LETG Université Rennes2, Place Du Recteur Henri Le Moal, 35043 Rennes Cedex (France) Herve.Quenol@Uhb.fr ; Vincent.Dubreuil@Uhb.fr
- [7] ANIELLO, C., MORGAN, K., BUSBEY, A., ET NEWLAND, L., (1995) : « Mapping Micro Urban Heat Islands Using Landsat TM And A GIS », Comparative Geoscience, Vol.21 : Pp.965–969.
- [8] 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 Flots De Chaleur Sur Le Territoire De La Communauté Métropolitaine De Montréal (1984-2005). » Rapport Destiné Au CRÉ De Laval
- [9] XAVIER F. (2015) : « L'îlot De Chaleur Urbain Et Le Changement Climatique : Application A L'agglomération Rennaise », Thèse Soutenue Le 14 Octobre 2015, Université Rennes 2 Haute-Bretagne, 247p.
- [10] EFE, S.I. AND EYEFIA, O.A. (2014) : « Urban Warming In Benin City, Nigeria. » Atmospheric And Climate Sciences, 4, 241-252. [Http://Dx.Doi.Org/10.4236/Acs.2014.42027](http://dx.doi.org/10.4236/acs.2014.42027)
- [11] WAN Z., YULIN ZHANG, QINCHENG ZHANG, ZHAO-LIANG LI, (2002) : « Validation Of The Land-Surface Temperature Products Retrieved From Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data

- », Source: Remote Sensing Of Environment, Nov 2002, 83:163-180
- [12] CHU, D. A., Y. J. KAUFMAN, C. ICHOKU, L. A. REMER, D. TANRE, AND B. N. HOLBEN, (2002) : « Validation Of MODIS Aerosol Optical Depth Retrieval Over Land » *Geophys. Res. Lett.*, 29(12), Doi:10.1029/2001GL013205.
- [13] BERNARD LACAZE (2013): « Guide De Téléchargement Et D'utilisation Des Données Modis » UMR PRODIG
- [14] RUBIO E. M., (1998) : « Hacia La Optimización De La Medida De La Emisividad Y La Temperatura En Teledetección », Phd Thesis, Universitat De Valencia, Valencia.
- [15] COLIN J., (2006) : « Apport De La Télédétection Optique A La Définition D'indicateurs De Performance Pour L'utilisation De L'eau En Agriculture », Thèse De Doctorat, Université Strasbourg 1, Strasbourg.
- [16] LUCRECE F., VINCENT O., CHRISTOPHE H., EULOGE A., (2018) : « Analyse De La Dynamique De L'occupation Du Sol Et De La Densité De La Population Dans La Zone Urbaine Et Péri-Urbaine De Porto-Novo », *Revue, Afrique Science* 14(5) (2018) 33 - 49, ISSN 1813-548X, [Http://www.afriquescience.net](http://www.afriquescience.net)
- [17] XIAO, R.-B., OUYANG, Z.-Y., ZHENG, H., LI, W.-F., SCHIENKE, E. W. ET WANG, X.-K. (2007) : « Spatial Pattern Of Impervious Surfaces And Their Impacts On Land Surface Temperature In Beijing, China. », *Journal Of Environmental Sciences*, 19(2), 250256. Doi: 10.1016/S1001-0742(07)60041-2
- [18] KIM, Y.-H. ET BAIK, J.-J. (2005): « Spatial And Temporal Structure Of The Urban Heat Island In Seoul. », *American Meteorological Society*, 44, 59 1-605.
- [19] LI D. ET BOU-ZEID, E. (2013) : « Synergistic Interactions Between Urban Heat Islands And Heat Waves: The Impact In Cities Is Larger Than The Sum Of Its Parts », *Journal Of Applied Meteorology And Climatology*, 52(9), 2051-2064. Doi: 10.1175/Jamc-D-13-02.1
- [20] CHOW, W. T. L., BRENNAN, D. ET BRAZEL, A. J. (2012) : « Urban Heat Island Research In Phoenix, Arizona: Theoretical Contributions And Policy Applications. », *Bulletin Of The American Meteorological Society*, 93(4), 517-530. Doi: 10.1175/Bams-D11-00011.1
- [21] SKELHORN, C., LINDLEY, S. ET LEVERMORE, G. (2014) : « The Impact Of Vegetation Types On Air And Surface Temperatures In A Temperate City: A Fine Scale Assessment In Manchester, UK ». *Landscape And Urban Planning*, 121, 129-140. Doi: 10.1016/j.landurbplan.2013.09.012
- [22] OFFERLE, B., GRIMMOND, C. S. B. ET FORTUNIAK, K. (2005) : « Heat Storage And Anthropogenic Heat Flux In Relation To The Energy Balance Of A Central European City Centre ». *International Journal Of Climatology*, 25(10), 1405-1419. Doi: 10.1002/Joc.L198
- [23] BERGERON, O. ET STRACHAN, I. B. (2012) : « Wintertime Radiation And Energy Budget Along An Urbanization Gradient In Montreal, Canada. », *International Journal Of Climatology*, 32(1), 137-152. Doi: 10.1002/Joc.2246
- [24] MADELIN M., BIGOT S., DUCHÉ S. ROME S. (2017), « Intensité Et Délimitation De L'îlot De Chaleur Nocturne De Surface Sur L'agglomération Parisienne. », *Climat, Ville Et Environnement*, Xxxème Colloque De l'Association Internationale De Climatologie, Université De Sfax 03-06 Juillet 2017, 39-45p ;
- [25] RIGO G., AND E. PARLOW. (2003) : « Multitemporal Analysis Of The Radiation Temperature Of The Urban Surface Heat Island In The City Of Basel ». *Workshop Remote Sensing Of Urban Areas Regensburg*.
- [26] ARIANE SAKHY, MALIKA MADELIN ET GERARD BELTRANDO (2012) : « Les Echelles D'étude De L'îlot De Chaleur Urbain Et Ses Relations Avec La Végétation Et La Géométrie De La Ville (Exemple De Paris) », ISSN 1769-6895. Article Accepté Le 4 Janvier 2012. Université Paris Diderot-Sorbonne Paris-Cité, UMR 8586 Du CNRS (PRODIG).
- [27] DOUSSET B., GOURMELON F., (2003) : « Satellite Multi-Sensor Data Analysis Of Urban Surface Temperatures And Landcover », *ISPRS Journal Of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58, 1-2, 43-54.
- [28] COX, J., S. HODGES, L. PARSHALL, C. ROSENZWEIG, AND W. D. SOLECKI. (2005) : « Skin Of Big Apple, Characterizing The Surface Heat Island Of New York City And Integration With MM5 Climate Model ». *EPA Conference Cali*, January 26 1h, 2005.
- [29] SCHRIJVERS, P. J. C., JONKER, H. J. J., KENJERES, S. ET DE ROODE, S. R. (2015) : « Breakdown Of The Night Time Urban Heat Island Energy Budget. », *Building And Environment*, 83, 50-64. Doi: 10.1016/j.buildenv.2014.08.012

- [30] CHEN, J., WANG, H. ET ZHU, H. (2017) : « Analytical Approach For Evaluating Temperature Field Of Thermal Modified Asphalt Pavement And Urban Heat Island Effect ». *Applied Thermal Engineering*, 113, 739-748. Doi: 10.1016/J.Applthermaleng.2016.L1.080
- [31] QIN, Y. ET HILLER, J. E. (2014) : « Understanding Pavement-Surface Energy Balance And Its Implications On Cool Pavement Development. », *Energy And Buildings*, 85, 389399. Doi: 10.1016/J.Enbuild.2014.09.076
- [32] OKE, T. R. (1981) : « Canyon Geometry And The Nocturnal Urban Heat Island; Comparison Of Scale Model And Field Observation. ». *Journal Of Climatology*, 1, 237-254p.
- [33] LACHANCE G., BAUDOUIN Y. ET GUAY F., (2006) : « Étude Des Ilots De Chaleur Montréalais Dans Une Perspective De Santé Publique ». Disponible A L'adresse Suivante : [Http://Www.Inspq.Qc.Ca/Bise/Post/2006/06/15/Etude-Des-Ilots-De-Chaleur-Montrealais-Dans-Uneperspective-De-Sante-Publique.aspx](http://www.inspq.qc.ca/Bise/Post/2006/06/15/Etude-Des-Ilots-De-Chaleur-Montrealais-Dans-Uneperspective-De-Sante-Publique.aspx)
- [34] GIGUERE M., (2009) : « Mesures De Lutte Aux Ilots De Chaleur Urbains, Institut National De Santé Publique Du Québec ». 77 P. Disponible A L'adresse Suivante : [Http://Www.Inspq.Qc.Ca/Pdf/Publications/988_Mesuresilotschaleur.Pdf](http://www.inspq.qc.ca/Pdf/Publications/988_Mesuresilotschaleur.Pdf)
- [35] CONSEIL REGIONAL DE L'ENVIRONNEMENT DE MONTREAL (CRE De Montréal), (2010) : « Guide Sur Le Verdissement Pour Les Propriétaires Institutionnels, Commerciaux Et Industriels », 42 P. Disponible A L'adresse Suivante : [Http://Www.Cremtl.Qc.Ca/Fichiers-Cre/Files/SBM2010/Guide_Verdissement_Entreprises.Pdf](http://www.cremtl.qc.ca/Fichiers-Cre/Files/SBM2010/Guide_Verdissement_Entreprises.Pdf)
- [36] Guigère, M. (2009) : « Mesures De Lutte Aux Ilots De Chaleur Urbains. », INSPQ. [Http://Www.Inspq.Qc.Ca/Pdf/Publications/988_Mesuresilotschaleur.Pdf](http://www.inspq.qc.ca/Pdf/Publications/988_Mesuresilotschaleur.Pdf)