



**Apport d'une image satellite ETM+ dans l'identification des  
couloirs de fraîcheur en milieu urbain : cas de la ville de Pointe-  
Noire (République du Congo)**

**Contribution of an ETM+ satellite image to the identification of  
cool corridors in urban areas : case of the late town of Pointe-  
Noire (Republic of Congo)**

**SOUAMY-LEGRAND Joseph Edmé**

Doctorant

Faculté des Lettres Arts et Sciences Humaine

Université Marien Ngouabi

Laboratoire Géographie-Environnement et Aménagement (LAGEA)

Congo-Brazzaville

**SAMBA Gaston**

Enseignant chercheur

Ecole Normale Supérieure (ENS)

Université Marien Ngouabi

Congo-Brazzaville

**Date de soumission** : 05/06/2024

**Date d'acceptation** : 25/08/2024

**Pour citer cet article** :

SOUAMY-LEGRAND. J. & SAMBA. G. (2024) «Apport d'une image satellite ETM+ dans l'identification des couloirs de fraîcheur en milieu urbain : cas de la ville de Pointe-Noire (République du Congo)», Revue Internationale du chercheur «Volume 5 : Numéro 3» pp : 732-745



## Résumé

Le rafraîchissement urbain est devenu un enjeu majeur pour les villes dans le contexte actuel de changement climatique et du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Comme toutes les villes des pays en voie de développement, l'étalement urbain constitue un processus majeur dans la ville de Pointe-Noire. Ce processus connu sous le nom d'urbanisation, crée un climat local typique à la ville appelé îlot de chaleur urbain. Cet article s'inscrit dans un contexte de mesure de lutte contre les îlots de chaleur urbain dans la ville de Pointe-Noire. Il montre l'importance et l'influence des espaces naturels sur les températures de surface au sein de la ville. L'approche méthodologique adoptée émane de la géomatique et des SIG. L'image utilisée est celle du capteur ETM+ du satellite Landsat 7 du 20 juillet 2002. Les résultats des analyses de températures de surface extraite de l'image ETM+ ont révélé la présence des couloirs de fraîcheur dans une zone urbaine dense et bien compacte. La carte de végétation obtenue avec l'indice de végétation normalisé confirme la présence de ces couloirs de fraîcheur urbain.

**Mots clés :** Pointe-Noire ; température de surface ; indice de végétation normalisé ; couloir de fraîcheur ; l'image ETM+.

## Abstract

Urban cooling has become a major issue for cities in the current context of climate change and the urban heat island phenomenon. Like all cities in developing countries, urban encroachment constitutes a major process in the city of Pointe-Noire. This process, known as urbanization, creates a local climate typical of the city called an urban heat island. This article is part of a context of measures to combat urban chatter islands in the city of Pointe-Noire. It shows the importance and influence of natural spaces on surface temperatures within the city. The methodological approach adopted comes from geomatics and GIS. The ETM+ sensor of the Landsat 7 satellite from July 20, 2002. The results of surface temperature analyze extracted from the ETM+ image revealed the presence of cool corridors in a dense and compact urban area. The vegetation map obtained with the normalized vegetation index confirms the presence of these urban cool corridors.

**Keywords :** Pointe-Noire ; Surface temperature ; normalized vegetation index ; Freshness corridor ; the ETM+ image.



## Introduction

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain a suscité un intérêt particulier dans le monde. De nombreux auteurs (Thibaut V, 2021 ; BOURNEZ E, 2018; Yao Brou T, et al., 2024 ; FOLLIN A, 2019 ; Amorim M et Dubreuil V, 2016 ; Nassima H, 2023 ; Dominique M, 2022 ; Naegelen J, 2016 etc.) ont travaillé sur les causes, les conséquences et les mesures d'adaptation aux ICU. Les villes du XXI<sup>e</sup> siècle ne cessent de concentrer au sein de leur territoire des activités anthropiques qui sont généralement marquées par une forte minéralité et un déficit d'espaces de nature. Or, le premier facteur influençant les ICU est la quantité de revêtement à albédo faible ou pouvant absorber de la chaleur. On compte parmi ces revêtements les matériaux de construction des bâtiments (brique, béton), le pavage d'asphalte, les toitures, et tout autre revêtement pouvant accumuler de la chaleur (FILIA TREAU LT Y, 2015). Comme toutes les villes du monde, Pointe-Noire évolue au sein d'un environnement « naturel » avec lequel elle interagit en permanence et le climat fait partie intégrante de cet environnement. Il est constaté que les villes, en plus d'être influencées par le climat, influent elles-mêmes sur celui-ci. Elles modifient ainsi localement les paramètres climatiques. Ces modifications peuvent être constatées soit par comparaison avec les zones plus rurales voisines, soit par comparaison avec leur propre situation (moins urbanisée et/ou moins dense) dans le passé. La ville induit ainsi, au sein de son territoire, une augmentation des températures (COLOMBERT M, 2008).

Le présent travail, s'inscrit dans le cadre de la lutte contre les îlots de chaleur urbain en montrant l'importance de la nature face aux épisodes de forte chaleur, devenus, au cours des dernières décennies, un véritable problème de santé publique et l'une des principales causes de mortalité dans les villes. Il met également en évidence la relation qu'il y a entre la ville et le climat, conduisant à la formation dans certains cas d'une mosaïque IC (Îlot de chaleur) et IF (Îlot de fraîcheur). Certes, 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 (SAKHY A, et al., 2012). Cependant, la végétation et l'humidité de surface bien qu'étant moins importante au sein de la ville, elles influencent le climat aux alentours en introduisant un contraste thermique au sein même de l'agglomération. Les zones arborées et les surfaces en eau maintiennent des températures plus fraîches. A l'aide d'une image du capteur ETM+ du satellite Landsat 7 datant du 20 juillet 2002, nous allons identifier et cartographier ces différentes zones qui sont



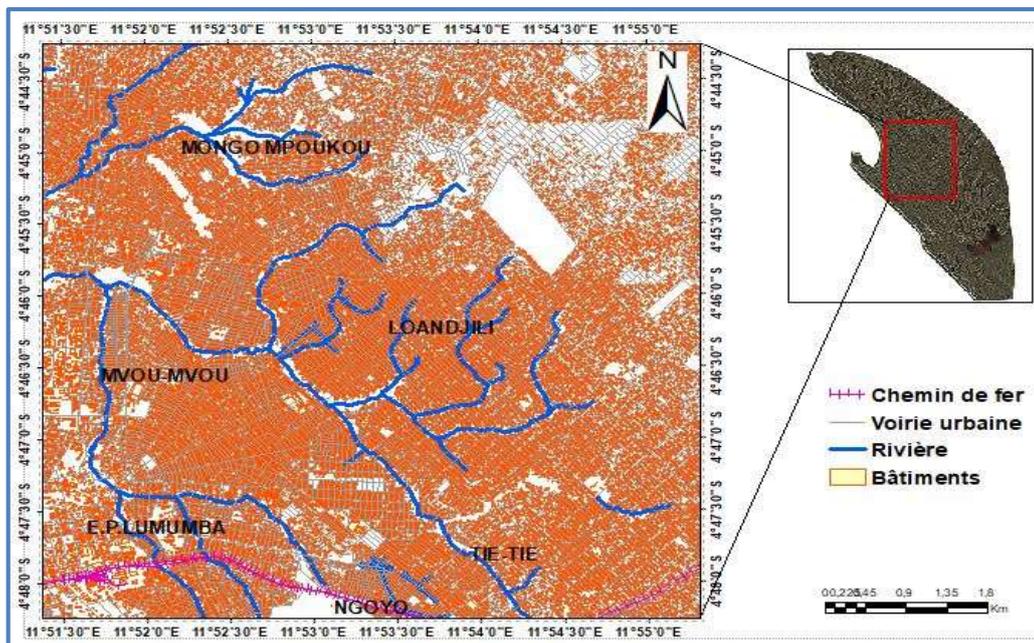
susceptible d'introduire des effets de couloirs de fraîcheur urbain dans la ville de Pointe-Noire. Ainsi, la problématique de la présente étude se résume en deux questions principales à savoir : Comment une image satellite ETM+ peut-elle servir à identifier et cartographier les couloirs de fraîcheur un milieu urbain et quel est le degré d'implication des unités naturelles dans la création de ces couloirs de fraîcheurs urbain. La méthodologie se structure autour de la présentation de la zone d'étude et les réponses à ces deux questions constituent les principales parties qui structurent cet article qui se termine par une conclusion précédée de la discussion des résultats.

## **1. Méthodologie**

### **1.1. Présentation de la zone d'étude**

La zone qui fait objet de notre étude se situe au centre de la ville de Pointe noire. Elle est comprise entre la latitude 4°44'30'' et 4°48'0'' Sud et la longitude 11°51'30'' et 11°55'0'' Est. La zone a été choisie pour la simple raison qu'elle présente non seulement une forte concentration urbaine, mais elle est aussi entrecoupée de plusieurs petits cours d'eau et de zones marécageuses insalubre non aménagées pouvant introduire un effet de couloir de fraîcheur. D'un point de vu général, la ville de Pointe-Noire, est située sur la façade atlantique du territoire congolais, et à l'extrême sud du pays dans le département du Kouilou, précisément aux abords du district d'Hinda. Elle constitue le débouché naturel d'un axe de communication prépondérante entre l'Afrique centrale et les eaux internationales. Sa superficie actuelle est estimée à 114 400 ha. Elle est bâtie sur une plaine littorale et compte actuellement 6 arrondissements. Le climat de cette zone est celle de la région de Pointe-Noire qui est de type tropical humide et chaud, caractérisé par une saison de pluies de huit (8) mois, d'octobre à mai avec une période de fléchissement de deux mois en janvier et février, et une saison sèche de 4 mois en moyenne, allant de juin à septembre (SAMBA-KIMBATA M. J, 1978).

Figure N°1 : Localisation de la zone d'étude



Source : CERGEC, réalisée par Souamy-Legrand, 2024

### 1.2. Les données utilisées

Les données sont d'une image satellite couvrant la zone d'étude. Elle est extraite du satellite Landsat 7 Enhanced Thematic Mappers Plus (ETM+), scène 182/63 du 20 juillet 2002 obtenue sur le site [http:// www. Earexplorer.com](http://www.Earexplorer.com). Il s'agit spécifiquement de l'image extraite du canal de la bande thermique 6 pour la réalisation de la carte des écarts de températures de surface. Les canaux du visible des valeurs de pixel du canal rouge (Red) et des valeurs de pixel du canal proche infrarouge (NIR) pour l'obtention de la carte de la végétation de la zone concernée. Les applications du système d'information géographique (SIG) par le biais du logiciel ArcGis ont été d'une grande contribution.

Tableau N°1 : Caractéristiques techniques de l'image Landsat 7 ETM+

S.N	Lansat 7 Enhanced Thematic Mappers Plus (ETM+)			Bande spectrales
	Résolution en m	Longueur d'onde	Le nom de la bande	
1	30	0.45-0.52	Blue	<b>Band 1</b>
2	30	0.52-0.60	Green	<b>Band 2</b>
3	30	0.63-0.69	Red	<b>Band 3</b>
4	30	0.77-0.90	NIR	<b>Band 4</b>
5	30	1.55-1.75	SWIR 1	<b>Band 5</b>
6	60*(30)	10.40-12.50	Thermal	<b>Band 6</b>
7	30	2.09-2.35	SWIR 2	<b>Band 7</b>
8	15	0.52-0.90	Panchromatic	<b>Band 8</b>

Source : USGS and NASA



### 1.3. Les méthodes d'extraction des températures de surface

Le traitement des températures de surface s'est effectué après intégration des données des images satellitaires brutes dans un logiciel SIG. Nous avons premièrement converti les données brutes de format Tif en format Pixel. Cette conversion a permis d'extraire uniquement la zone concernée par le traitement qui est toute la partie centre de la ville de Pointe-Noire. Après extraction, de la zone d'étude, nous avons calculé dans un premier temps la longueur d'ondes ou radiance par la formule suivante :

$$I_{\lambda} = \left( \frac{L_{\text{Max}} - L_{\text{Min}}}{QCAL_{\text{Max}} - QCAL_{\text{Min}}} \right) \times (QCAL - QCAL_{\text{Min}}) + L_{\text{min}} \quad (1)$$

Ensuite nous avons calculé la température de surface en degré kelvin ( $^{\circ}\text{k}$ ) par la formule suivante :

$$T(k^{\circ}) = \frac{K2}{\left[ \ln\left(\frac{K1}{L_S} + 1\right) \right]} \quad (2)$$

Avec :

T = Température effective au satellite en Kelvin

K2 = Constante d'étalonnage 2 du tableau 2

K1 = Constante d'étalonnage 1 du tableau 2

L = Rayonnement spectral en watts/ (mètre carré \*ster\*  $\mu\text{m}$ )

**Tableau N°2 :** Constantes d'étalonnage de la bande ETM+ Landsat 7

	Constante 1-K1 Watts/ (mètre carré *ster* $\mu\text{m}$ )	Constante 2-K2 Kelvin
Landsat 7	666,09	1282,71

**Source :** Image Landsat 7 ETM+

Une fois les températures en degré Kelvin obtenues, nous les avons calculés en degré Celsius (température de brillance). Le calcul s'est effectué par la formule suivante :

$$T(C^{\circ}) = K^{\circ} - 273,15 \quad (3)$$

Dans la procédure de calcul de températures de surface, nous avons également introduit les résultats obtenus lors du calcul du NDVI. Le calcul du NDVI est important pour déterminer la proportion de végétation ( $P_v$ ), qui est fortement liée par la suite au calcul de l'émissivité ( $\epsilon$ ). Tous ces paramètres sont nécessaires pour déterminer la température de surface terrestre. En outre, la télédétection des ICU se sert de l'indice normalisé de différence de végétation (NDVI) comme indicateur de présence ou d'absence végétale afin d'estimer la relation entre la végétation et les températures de surface (*Land surface Temperature; LST*). Cette relation a été largement étudiée et documentée car la variabilité spatiale des LST est fortement corrélée de façon négative avec celle du NDVI (*Cox et al. 2005*). Ces variations sont responsables



d'une partie du comportement thermique des ICU (PHILIPPE M, 2008). Ainsi, dans cette étude, le NDVI nous a servi à calculer tout d'abord les températures de surface, et en suite à confirmer la présence des couloirs de fraîcheur.

- la proportion de végétation Pv

$$PV = \text{square}((NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})) \quad (4)$$

- l'émissivité ( $\epsilon$ )

$$\epsilon = 0,004 * PV + 0,986 \quad (5)$$

- la température de surface terrestre

$$LST = (BT / (1 + (0,00115 * BT / 1,4388) * \ln(\epsilon))) \quad (6)$$

#### 1.4. Les méthodes d'analyse de la végétation (NDVI)

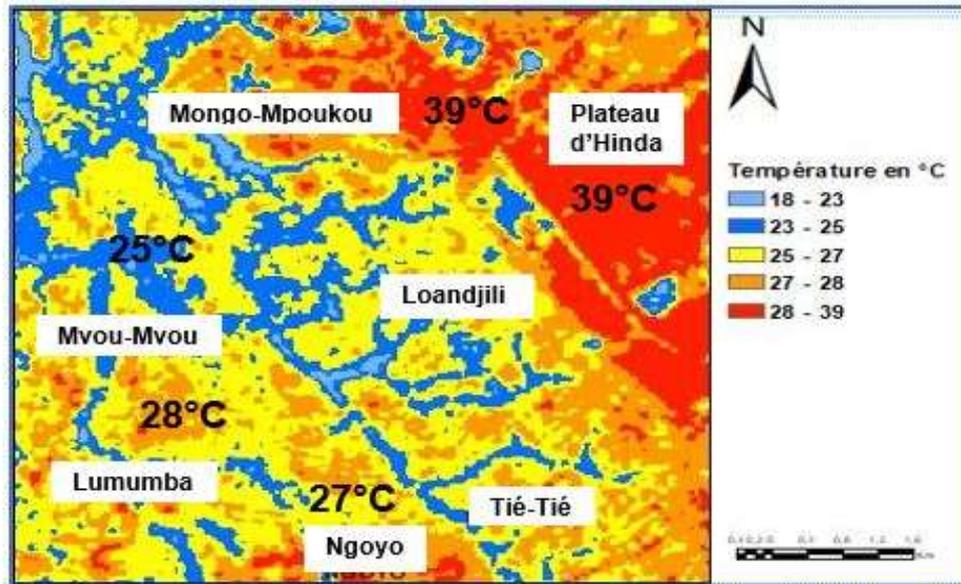
L'indice de végétation normalisé est un indicateur de l'activité chlorophyllienne de la végétation. Il varie entre 0 pour les surfaces désertiques et 1 pour les forêts denses (A. Razagui et al, 2014 : 498). Cet indice fournit des valeurs estimées de «l'intensité de vert» des forêts, résultant de l'analyse de données satellitaires. La démarche part du principe que le NDVI est un indicateur de la santé végétale, dans la mesure où une dégradation de la végétation d'un écosystème, ou une diminution de l'intensité de vert, se traduirait par une diminution de la valeur du NDVI (MENESES-TOVAR .C.L, 2011). Sa formule est donnée par l'expression suivante comme étant la différence entre les réflectances dans le visible et le proche infrarouge.

$$NDVI = \frac{(\text{Bande Proche infrarouge} - \text{Bande Rouge})}{(\text{Bande Proche infrarouge} + \text{Bande Rouge})} \quad (7)$$

## 2. Résultats des analyses

Les résultats des analyses de l'image satellite Landsat 7 du 20 juillet 2002 (Figure 2) présente des températures de surface qui vont de 18°C à 39°C. Les températures élevées comprises entre 27°C et 28°C se localisent dans la plaine côtière, précisément au niveau des communes de Ngoyo, Lumumba, Mvou-Mvou, Tié-Tié, une partie de Loandjili et Mongo-Mpoukou. Tandis que, celles qui atteignent 39°C se localisent au nord-est de la zone d'étude, au niveau du plateau d'Hinda qui fait une faible incursion dans la ville de Pointe-Noire. En revanche, les valeurs des températures comprises entre 18°C et 25°C sont localisées au cœur de la ville, au niveau des cours d'eau et de multiples zones marécageuse représentées par la couleur bleue sur la carte (Figure N°2).

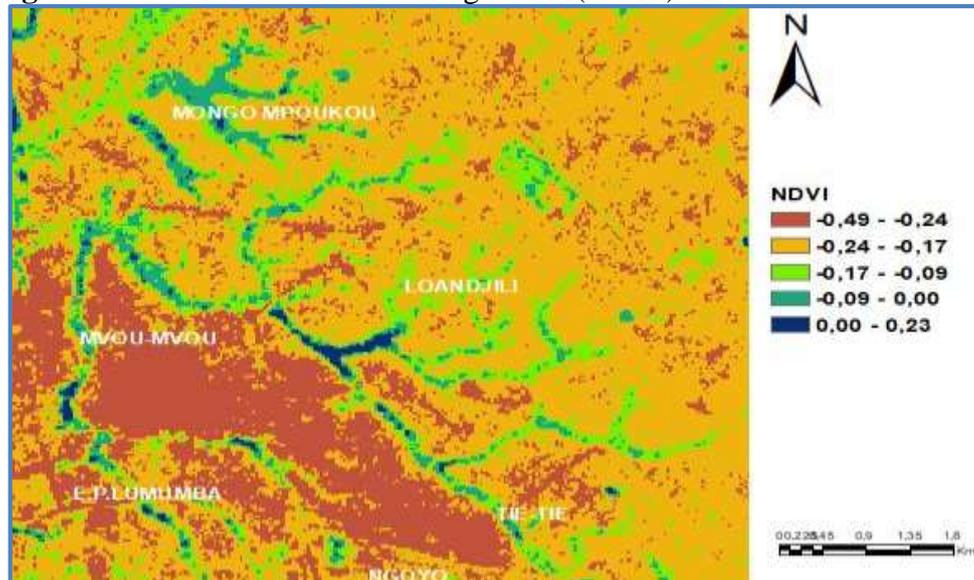
**Figure N°2 : Écarts de températures de surface à Pointe-Noire en 2002**



Source : Les auteurs, 2023

Les résultats des analyses de la répartition de l'indice normalisé de végétation (NDVI) dans notre zone d'étude (Figure N°3) correspondent parfaitement avec le gradient des écarts thermique observé sur la carte des températures de surface de sol. Le NDVI révèle que l'ensemble de la zone étudiée est quasiment dépourvu de végétation. Le couvert végétal représenté par des valeurs comprises entre 0,00 et 0,23 reste concentré le long des petits cours d'eau et des zones marécageuse sauvage, ceux même qui introduise des couloirs de fraîcheur atténuant considérablement les températures alentours. Ils sont représentés sur la carte par la couleur verte et bleue.

**Figure N°3 : Indice normalisé de végétation (NDVI) de Pointe-Noire en 2002**



Source : Les auteurs, 2023



### 3. Discussion des résultats

Les travaux antérieurs menés sur les îlots de chaleur urbaine (ICU) ont révélés que celui-ci est lié à l'occupation du sol. Une corrélation très forte entre l'occupation du sol et les écarts de température de surface sont nettement observables sur la carte (Figure N°2). Les observations faites sur le terrain nous ont permis de constater que, le centre-ville de Pointe-Noire bien que bitumé, possède à certains endroit une présence importante de sols nus, des cours d'eau et des zones marécageuses non aménagées. Or, les sols nus possèdent pratiquement le même comportement thermique que les surfaces bâties et minéralisées, comme le témoigne les résultats trouvés par (SEBBAR A, et al., 2022), après modélisation des îlots de chaleur urbain (ICU) sur la ville de Casablanca. En effet, les auteurs, ont constaté pour la saison d'été (saison sèche) une augmentation de plus de 40°C de température sur les terrains nus et agricole. Cette température restait largement supérieure à celle enregistré sur les zones industrielles d'Ain Sbaa (40°C). Cette hausse de températures due à la perte du couvert végétal prouve que le sol nu peut avoir le même effet négatif que les zones bâties et minéralisées. Tandis que la végétation et l'eau créer l'effet inverse. Les surfaces imperméables, les sols nus et les zones fortement urbanisé en termes d'occupation jouent un rôle prépondérant dans l'intensité de l'ICU.

Nous pouvons observer sur la carte (Figure N°2) que les zones ou les bâtiments que ce soit administrative ou résidentielle sont très importantes montrent, de manière récurrente, de très fortes températures de sol comprise entre 27°C et 39°C. Si les surfaces liées à la zone d'activités et aux concentrations urbaines sont surchauffées, l'inverse c'est-à-dire les zones marécageuses non aménagé, de végétation et les surfaces en eau représentées par la couleur verte et bleue (Figure N°3) maintiennent des températures plus fraîches. Ces zones qui ont des températures comprises entre 18°C et 25°C, créent des couloirs de fraîcheurs urbains dans une zone fortement urbanisée. Les résultats vont dans le même sens que ceux de SAKHY A et al (2012) qui, après avoir calculé le coefficient de corrélation linéaire entre les températures diurnes de surface de Landsat et le NDVI affirme qu'une augmentation des valeurs du NDVI correspond à une baisse de températures de surface. Il indique que les zones de végétation importantes en termes de couverture correspondent aux endroits relativement frais à Paris au niveau des températures de surface. La présence de l'eau, sa circulation dans les espaces urbains a un effet positif en termes d'adaptation au changement climatique. Toutes les techniques qui permettent de maintenir cette présence, présentent donc un intérêt qui est celui de rafraîchir la zone en limitant les îlots de chaleur urbain. Les cours d'eau et la végétation

des zones marécageuses non aménagés qui entrecourent la ville de Pointe-Noire créent un effet de couloir de fraîcheur bien visible au sein de son milieu urbain (Figure N°3).

Dans les zones proches des cours d'eau et des berges à végétation ombrophile, non aménagé la température de surface reste fraîche. Le gradient de température montre un écart croissant (de 18°C à 39°C) selon l'éloignement des zones marécageuses. Plus l'espace est fortement urbanisé et imperméable, plus la température de surface observée augmente. Ces couloirs de fraîcheur montrent à quel point les milieux naturels autrement dit les endroits recouverts de végétation ou d'arbres constituent des puits de fraîcheur. Ces résultats sont pratiquement identiques avec ceux des campagnes mobiles effectuées après le coucher de soleil (21h30) par LEBAUT S et al (2021). Des campagnes qui ont révélé que, les espaces les plus frais correspondent aux espaces ruraux et aux espaces urbains végétalisées tandis que les espaces les plus chauds coïncident avec les espaces urbains denses et les axes routiers importants. Les zones qui présentent des températures de surface inférieures à la référence (27°C et 39°C) correspondent ainsi, aux petites entités naturelles présentes dans la ville de Pointe-Noire. Ces petites masses végétales continues, tantôt insalubres et sauvages, associées aux cours d'eau, maintiennent une température de surface fraîche et constituent ainsi des puits de fraîcheur dans ces zones fortement urbanisées mais également à l'échelle de la ville de Pointe-Noire. Une représentation cartographique de la végétation présente dans notre zone d'étude, a été réalisée à partir du NDVI (indice normalisé de végétation). Elle est présentée à la Figure N°3 et confirme la présence de ces couloirs de fraîcheur urbain dans la ville de Pointe-Noire.

**Planche 1.** Images représentant les zones susceptibles d'introduire des couloirs de fraîcheur dans la ville de Pointe-Pointe.





Photo **a**. Rivière Loufoulakari. Photo **b**. Rivière Patra. Photo **c**. Lac Tchinoubi en plein cœur de la commune de Mongo-Mpoukou. Photo **d** et **e**. Rivière Lubanda. Source : Souamy-Legrand, 2022.

Pour reprendre à l'urgence climatique et s'adapter à la chaleur urbaine, la ville de Pointe-Noire devrait s'engager dans différentes actions de lutte contre les ICU en mettant l'accent sur la végétation et l'eau. En dehors des plans d'eau et de la végétation aquatique maintenue par celui-ci, les zones boisées urbaines sont aussi plus fraîches que le reste de la ville. Toujours dans cette perspective de lutte contre les ICU dans la ville de Pointe-Noire, nous proposons d'augmenter la quantité de végétation, de diminuer les surfaces absorbant la chaleur ou leur efficacité à l'absorber, de revitaliser les zones sensibles par le reboisement des chaussées minéralisées. Ainsi, augmenter la couverture végétale au sol permettrait de rafraîchir plus efficacement les rues. Cependant, cet effet de rafraîchissement est d'autant plus efficace si la surface végétalisée est importante et si la proportion d'arbres est élevée. La végétation urbaine est donc un moyen efficace et économique pour limiter les effets des ICU. Elle est une mesure qui, par son pouvoir rafraîchissant sur le climat extérieur, tient lieu à la fois de levier d'adaptation au changement climatique et de levier de mitigation en réduisant la demande de climatisation. La végétation remplit aussi de multiples fonctions au sein de



l'écosystème urbain (MUNCK de C, 2013). Il faudrait retenir de nos résultats et de ceux des autres que le végétal engendre la présence des IFU (Ilot de Fraicheur Urbain). Elle a donc tendance à renforcer l'effet de fraîcheur en ville, de façon plus ou moins importante selon la densité de celle-ci. Les choix des aménagements actuels et à venir sont décisifs pour lutter contre l'ICU futur.

### **Conclusion**

Les résultats de cet article mettent en évidence la représentation restreinte des IFU (Îlot de Fraîcheur Urbain) dans une ville compacte telle que Pointe-Noire, aux proies à une croissance urbaine accélérée ne tenant pas compte des règles de mesure de lutte contre les ICU. Les espaces naturels insalubre et marécageuse qui entrecoupent la ville de Pointe-Noire, souvent négligé semble être un atout pour lutter contre les hausses de températures dans la mesure où ils atténuent les températures aux alentours. L'idéale serait d'aménager et de renforcer ces espaces en plantant des arbres. La plantation d'arbres urbains, est une mesure peu couteuse, efficace et facile à mettre en place dans un objectif d'amélioration du climat urbain. Ainsi, comme on peut le noter, cette étude met à la disposition des décideurs politiques et administratifs, des données permettant de prendre des mesures adéquate pour mieux lutter contre les effets des ICU, devenue un véritable problème de santé publique. Mais il importe de relever que, la végétation bien qu'étant un régulateur thermique naturel et qu'elle constitue des solutions d'adaptation à l'augmentation des températures dans les zones urbaines ; pour qu'elle ait une large influence sur le microclimat urbain, il faudrait également prendre en compte l'étendue de celle-ci. Les effets de l'influence de la végétation sur les températures de surface au sein d'une agglomération densément urbanisé et fortement peuplée tel que Pointe-Noire, est fonction de l'échelle des surfaces végétales. De ce fait, les mesures de lutte contre les ilots de chaleur urbain constitue les perspectives de cette étude.



## BIBLIOGRAPHIE

Amorim M, Dubreuil V. (2016). « Intérêts des images visible et infrarouge du satellite Landsat-8 pour modifier l'îlot de chaleur urbain à présidente prudente (SP) – Brésil. » XXIXe colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Besançon, France. pp.95-100.

Bournez Elena. (2018). « Etude du rôle de la végétation dans la création de microclimats urbains : approche combinée de mesures et de modélisations à différentes échelles. Climatologie. » Université de Strasbourg, 217p.

COLOMBERT M. (2008). « École Doctorale Ville et Environnement: Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville. » Thèse de doctorat. 538 pages.

Dominique M. (2022). « Impact de la résolution spatiale du capteur TIRS dans l'étude des îlots de chaleur urbains : effet de l'occupation du sol dans la ville de Liège. » Faculté des bioingénieurs, Mémoire de fin d'études, Université catholique de Louvain, 2022, 66p.

FILIATREAU Y. (2015). « CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ÎLOTS DE CHALEUR : INDICATEURS DE PERFORMANCE POUR LES MESURES D'ADAPTATION. » Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de Maîtrise en environnement (M. Env.), 84 p.

MUNCK de C. (2013). « Modélisation de la végétation urbaine et stratégie d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville. » Ecole doctorale Sciences de l'Univers de l'Environnement et de l'Espace (SUEE), Université de Toulouse (premières parties de la Thèse), 106 p.

MENESES-TOVAR .C.L. (2011). « L'indice différentiel normalisé de végétation comme indicateur de la dégradation. » Unasylva 238, Vol. 62, Pp 39-46.

Nassima H. (2023). « Caractérisation des îlots de chaleur de saison chaude dans les territoires de l'Eurométropole de Metz (France) et du Grand Casablanca (Maroc) : observation, perception, vulnérabilité. » Géographie. Thèse de doctorat, Université de Lorraine, 452p.

Naegelen J. (2016). « Entre gestion et perception des îlots de chaleur urbains : quels leviers d'actions pour les acteurs du territoire du Grand Lyon ? Architecture, aménagement de



l'espace »Mémoire de recherche, Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional Université Aix-Marseille Provence, 111p.

PHILIPPE M. (2008). « Analyse diachronique du comportement Thermique de Montréal en période estival de 1984 à 2005 ». Mémoire, Université du Québec à Montréal, 129p

RAZAGUI A. et BACHARI N.E.I. (2014). « Analyse spatio-temporelle de l'indice de végétation NDVI calculé à partir des images satellites NOAA et MSG.» Revue des Energies Renouvelables Vol. 17 N°3, Pp 497 – 506

SAKHY A., MALIKA M et BELTANDO G. (2012). « Les échelles d'étude de l'îlot de chaleur urbain et ses relations avec la végétation et la géométrie de la ville (exemple de Paris) », Dixièmes Rencontres de Théo Quant, 9 p.

SAMBA-KIMBATA, M. J. (1978). « Le climat du Bas-Congo », Thèse de 3ème cycle, Université de Bourgogne, Dijon.

SEBBAR A, IDRIS A, FOUGRACH H. (2022). « Modélisation de l'îlot de chaleur (ICU) sur la ville de Casablanca », in Morin, Acte du colloque, Changement Climatique, Pénurie des ressources en eau, nexus eau/énergie et formes d'adaptation, pp. 425-430.

Thibaut V. (2021). « Ilot de chaleur, croissance urbaine et climat urbain : simulations sur Dijon Métropole ». Géographie. Thèse de doctorat, Université Bourgogne Franche-Comté, 216p.

Yao B T, Rwanyiziri G et Uwayezu E. (2024). « Dynamique urbaine et développement d'îlots de chaleur urbains à Kigali, Rwanda », *Les Cahiers d'Afrique de l'Est / The East African Review*, 59, 24p.