

**Analyse de la variabilité mensuelle des îlots de chaleur de la canopée urbaine dans l'agglomération de Libreville (Gabon) sur la période février 2022-janvier 2023 : quels enjeux pour la santé des populations urbaines ?**

**Analysis of the monthly variability of urban canopy heat islands in the Libreville metropolitan area (Gabon) over the period February 2022-January 2023: what are the issues for the health of urban populations?**

**ZOLO-M'BOU Dergy-Strede**

Doctorant en Sciences Géographiques  
Département des Sciences, Géographiques, Environnementales et Marines  
Faculté des lettres et des sciences humaines  
Université Omar Bongo, Gabon  
Centre d'Etudes et de Recherche en Géosciences Politiques et Prospective (CERGEP)

**MAKITA-IKOUAYA Euloge**

Maître de Conférences CAMES en Géographie Humaine  
Département des Sciences, Géographiques, Environnementales et Marines  
Faculté des lettres et des sciences humaines  
Université Omar Bongo, Gabon  
Centre d'Etudes et de Recherche en Géosciences Politiques et Prospective (CERGEP)

**KOMBILA Ulrich Davy**

Maître de Conférences Agrégé de Pneumo-phtisiologie, Allergologie  
Faculté de Médecine  
Université des Sciences de la Santé de Libreville, Gabon  
Institut des Maladies Infectieuses, Professeur Daniel GAHOUMA

**Date de soumission** : 06/08/2025

**Date d'acceptation** : 07/09/2025

**Pour citer cet article** :

ZOLO-M'BOU D.-S. & al. (2025) «Analyse de la variabilité mensuelle des îlots de chaleur de la canopée urbaine dans l'agglomération de Libreville (Gabon) sur la période février 2022-janvier 2023 : quels enjeux pour la santé des populations urbaines ? », Revue Internationale du chercheur «Volume 6 : Numéro 3» pp : 1026-1055

## Résumé :

Les conditions climatiques, la croissance démographique et l'urbanisation croissante engendrent des perturbations microclimatiques au sein de l'agglomération de Libreville. Ces phénomènes favorisent la formation des îlots de chaleur de la canopée urbaine qui engendrent des répercussions négatives sur la santé humaine. Cette étude vise, dans un premier temps, à explorer la variabilité mensuelle des températures de l'air à Libreville à partir d'une analyse statistique de données de températures ambiantes. Elle s'appuie également sur une recherche documentaire ciblée, axée sur les liens entre les températures urbaines et les enjeux de santé publique. Les résultats obtenus au cours de l'étude montrent que les températures présentent une variabilité en fonction de la période et du site de mesure. On observe des températures mensuelles majoritairement comprises entre 26 et 28 °C sur l'ensemble des sites. Une baisse thermique notable est observée en juillet et août, période correspondant à la saison sèche, avec des températures avoisinant les 24 °C, particulièrement marquées à TTIGE\_NzengAyong et, dans une moindre mesure, au site ENEF. À l'inverse, des pics de chaleur sont visibles en février, mars et octobre, où les températures mensuelles sont supérieures à 28 °C, notamment sur le site d'ENEF, exposant ainsi la population à des risques d'aggravation et de chronicisation de maladies liées à la hausse de température.

**Mots clés :** îlots de chaleur urbains, canopée urbaine, enjeux sanitaire, température, Libreville

## Abstract :

Climatic conditions, population growth, and increasing urbanization are causing microclimatic disturbances within the Libreville metropolitan area. These phenomena promote the formation of heat islands in the urban canopy, which have negative repercussions on human health. This study aims, initially, to explore the monthly variability of air temperatures in Libreville based on a statistical analysis of ambient temperature data. It is also based on a targeted documentary research, focused on the links between urban temperatures and public health issues. The results obtained during the study show that temperatures exhibit variability depending on the period and the measurement site. Monthly temperatures are mainly between 26 and 28°C at all sites. A notable thermal drop is observed in July and August, the period corresponding to the dry season, with temperatures around 24°C, particularly marked at TTIGE\_NzengAyong and, to a lesser extent, at the ENEF site. Conversely, heat peaks are visible in February, March and October, where monthly temperatures are above 28°C, particularly on the ENEF site, thus exposing the population to risks of worsening and chronic illnesses linked to the rise in temperature.

**Keywords :** urban heat islands, urban canopy, health issues, temperature, Libreville

## Introduction

Dans le contexte actuel du changement climatique global, les villes se trouvent de plus en plus exposées à une variabilité accrue des conditions météorologiques, en particulier les températures ambiantes (Li & Bou-Zeid, 2013). Ces fluctuations, souvent exacerbées par les caractéristiques intrinsèques de l'urbanisation favorisent l'émergence d'îlots de chaleur de la canopée urbaine. Ces derniers induisent une série d'impacts sur la qualité de vie, la santé publique (Ymba, 2024), les écosystèmes urbains ainsi que sur les besoins énergétiques des populations. Au vu de ces enjeux sociétaux et sanitaires, on pourrait s'attendre à ce que l'îlot de chaleur urbain soit largement connu et considéré par les décideurs lors de leur prise de décision.

L'îlot de chaleur urbain désigne « un phénomène microclimatique qui se manifeste par une augmentation significative de la température de l'air urbain par rapport à l'environnement rural immédiat » (Agency, 2012). Dans certains cas comme en Amérique du Nord, la température moyenne de l'air dans les villes de taille moyenne et de grande taille est généralement de 1 °C à 3 °C plus élevée que dans les campagnes environnantes, et jusqu'à 12 °C plus chaude à certains endroits (Oke, et *al.*, 2017). Les îlots de chaleur de la canopée urbaine renvoient à la couche d'air comprise entre le sol et la cime des arbres ou encore des toitures des bâtiments où l'essentiel de l'activité humaine se déroule.

D'après le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, 2023), les milieux urbains apparaissent comme particulièrement sensibles aux interactions entre hausse des températures, l'urbanisation anarchique et les inégalités sociales. Au niveau mondial, entre 2000 et 2019, c'est environ 489 000 décès liés à la chaleur qui sont recensés chaque année (OMS, 2024). Selon la même source, dans la région européenne, entre 2000 et 2019, la chaleur fait plus de 175 000 victimes chaque année, soit environ 36 % des quelque 489 000 décès annuels liés à la chaleur dans le monde. L'Afrique sub-saharienne et le Sahel sont particulièrement vulnérables, mais les données sur la mortalité liée à la chaleur restent très insuffisantes (IFRC, 2024). Toutefois, l'organisation météorologique mondiale (OMM, 2022) met en lumière une tendance alarmante à l'augmentation des températures en Afrique. Cette dynamique climatique intensifie les risques pour la santé humaine, notamment durant les vagues de chaleur prolongées.

L'agglomération de Libreville, dans la province de l'estuaire au Gabon, est confrontée à une croissance démographique soutenue et à une urbanisation rapide, fréquemment marquée par

une déficiente planification (Okanga-Guay, 2002; Allogho-Nkoghe, 2006 ; Mombo & Edou Ebolo, 2007; Mounganga, 2012 ; Okanga-Guay, 2013 ; Nguema, 2014 ; Nguema & Ndong Mba, 2021). Ces dynamiques transforment profondément les équilibres écologiques et accentuent les disparités thermiques à l'échelle intra-urbaine. L'alternance des saisons sèches et humides, typique du climat équatorial (Maloba Makanga, 2010), interagit avec l'occupation du sol et la configuration morphologique de la ville pour générer des microclimats (Modinga Dikondo, 2018 ; Me Mba, et al., 2021) aux effets contrastés selon les secteurs (Ibouanga, et al., 2024). Si l'impact de la hausse des températures sur la santé des populations est connu (IPCC, 2023), le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU) reste cependant très peu étudié spécifiquement et localement afin de pouvoir y réagir. Le choix de Libreville pour cette étude se justifie d'une part par la présence d'un réseau de stations de mesure des concentrations particulières, complété par des données satellitaires, et d'autre part par le poids démographique de cette agglomération, qui regroupe à elle seule 44,77 % de la population gabonaise (RGPL, 2013). Ce fort peuplement la rend particulièrement vulnérable aux effets délétères de l'inconfort thermique, lesquels découlent notamment de l'urbanisation croissante, des activités anthropiques et des perturbations environnementales observées à diverses échelles spatiales et temporelles (Nguema, 2014).

Dans cette optique, une compréhension approfondie des variations spatio-temporelles de la température ambiante à l'échelle de l'agglomération de Libreville s'avère cruciale. Elle permet non seulement d'anticiper les risques sanitaires liés aux extrêmes thermiques, mais aussi de guider l'adaptation des infrastructures urbaines et d'orienter les politiques d'aménagement en faveur d'un développement urbain durable.

Dans ce contexte, une question centrale émerge : la variabilité mensuelle des îlots de chaleur de la canopée urbaine de l'agglomération de Libreville représente-t-elle un risque sanitaire ? Telle est la question centrale qui constituera le fil conducteur de cette étude.

Cette étude s'appuie sur une méthodologie intégrative articulant plusieurs axes complémentaires : une recherche documentaire ciblée, une analyse statistique des données thermiques, une exploration spatiale de l'îlot de chaleur urbain (ICU) à l'échelle de la canopée urbaine, ainsi qu'une lecture territoriale approfondie de l'espace urbain de Libreville. L'ensemble de ces démarches vise à éclairer les enjeux de santé publique liés aux dynamiques climatiques et spatiales propres au contexte urbain gabonais.

Le but de l'étude est de produire et de mettre à disposition des données probantes sur le phénomène ICU dans un contexte tropical très peu exploré et ses incidences sur la santé des

populations vulnérables. Ces données sont nécessaires à la prévention, à l'élaboration de plans d'urgence et à l'action des organismes sociaux et humanitaires.

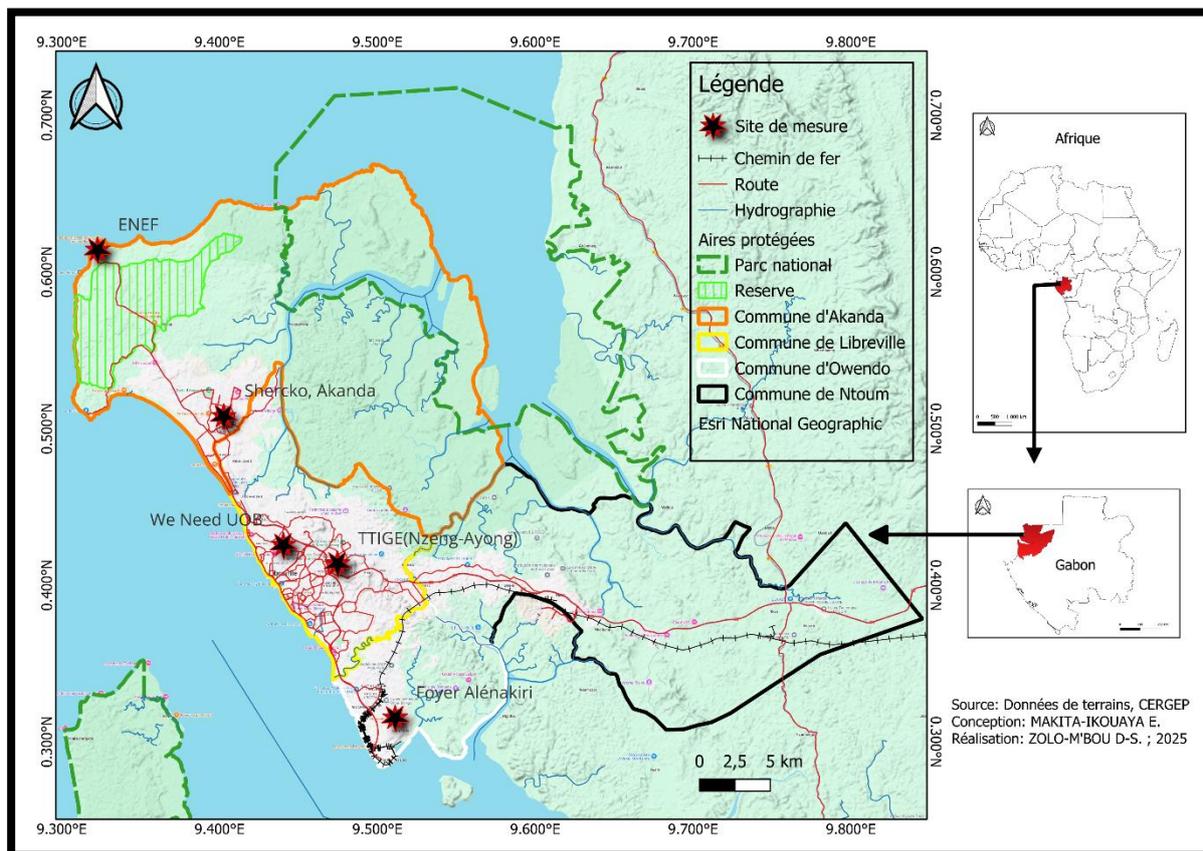
A cet effet, il semble judicieux, dans cet article, de se concentrer premièrement sur le matériel et les méthodes. Deuxièmement, il présentera les résultats obtenus. Enfin, il abordera : discussions et conclusion.

## 1. Matériel et méthodes

### 1.1. Cadre de l'étude

L'agglomération de Libreville est localisée dans la province de l'Estuaire, au nord-ouest du Gabon (**Carte 1**). Elle est délimitée au nord-est par la Baie de la Mondah, au sud par l'enclave d'Ikoy-Komo, à l'est par la commune de Ntoun et à l'ouest par l'océan Atlantique. Elle se situe précisément entre 0°20' et 0°30' de latitude nord, et entre 9°25' et 9°30' de longitude est.

**Carte 1 : Localisation de l'agglomération de Libreville**



**Source: CERGEF, données de terrain 2022; Réalisation: ZOLO-M'BOU, 2025**

Sur le plan administratif, cette agglomération se subdivise en trois communes : Akanda au nord, Libreville au centre et Owendo au sud, ainsi que Bikélé et le 2<sup>ème</sup> arrondissement de Ntoun. Implantée à l'embouchure du fleuve Komo, elle s'étend sur la frange côtière du continent et

s'inscrit dans la zone climatique dite « équatoriale de transition centrale » (Maloba Makanga, 2009).

D'un point de vue démographique, sa population est de 817 787 habitants, répartie comme suit : 34 548 à Akanda, 79 300 à Owendo et 703 939 à Libreville (DGS - RGPL, 2015). Il s'agit de l'agglomération la plus peuplée du pays, avec une densité de 1 349 habitants par kilomètre carré (Bouyou-Akotet, et al., 2012).

## 1.2. Méthode de collecte et de traitement des données

### 1.2.1 Méthodes de collecte de données

#### 1.2.1.1 Choix d'implantation des moniteurs et réseau de mesure

Le déploiement des moniteurs a été guidé par les objectifs du projet intitulé « Qualité de l'air du Grand Libreville », tout en étant influencé par la configuration et les dynamiques d'aménagement de cet espace urbain. Les caractéristiques de chaque site sont présentées au **tableau n°1**.

**Tableau n°1 : Principales caractéristiques des sites de mesure de l'agglomération de Libreville**

Zone de localisation du site de mesure	Latitude	Longitude	Routes à proximités	Routes éloignées	Référence du site	Descriptions
Foyer Alénakiri	0.330440	9.478297	Bitumées	Bitumées	Urbain	Ce site est situé non loin de grand village(Owendo) et près de la zone portuaire; le trafic routier est principalement composé camions, de véhicules transports personnels avec quelques lignes de transport public.
We Need UOB	0.425618	9.440427	Bitumées et Non Bitumées	Bitumées	Urbain	Situé à l'Université Omar Bongo, point de mesure principal du projet. Le trafic environnant est important (personnes et véhicules).
TTIGE (Nzeng-Ayong)	0.413746	9.474748	Non Bitumées	Bitumées	Urbain	ce site est situé dans une zone de la municipalité la plus densément peuplée du pays (Nzeng-Ayong)
Shercko, Akanda	0.507846	9.402675	Bitumées	Bitumées	Urbain	Ce site est situé dans un quartier; le trafic routier est principalement composé de véhicules personnels avec quelques lignes de transport public. Avec des bâtiments habitée par des populations à revenus élevé et moyen.
ENEF	0.614008	9.322746	Non Bitumées	Bitumées	Rural	Localisé au cap estérias, l'école nationale des eaux et forêts ; sous l'influence des aérosols marins

Source: données de terrain 2022 ; Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

Ce projet est porté par la Direction Générale de l'Environnement, relevant du Ministère des Eaux et Forêts, en collaboration avec l'Université de l'Oregon et l'ONG We Need, engagée dans la défense de l'environnement. Il convient toutefois de souligner que la finalité de cette étude ne s'aligne pas entièrement avec les attentes spécifiques du projet susmentionné. Le **tableau n°2** présente les métadonnées d'implantation du capteur PurpleAir Classic.

**Tableau n°2 : Métadonnées d'implantation du capteur**

Paramètre	Description / Valeur recommandée
Hauteur d'installation	2m au-dessus du sol (hauteur de respiration humaine).
Exposition	Zone bien ventilée, dégagée de gros obstacles, à l'air libre.
Ombre	à l'ombre et protégé du soleil direct pour éviter la surchauffe (fausse mesure de T°/HR).
Écran de rayonnement	Utilisation d'un abri ventilé pour les mesures de T°/HR plus fiables.
Voisinage	Distance $\geq$ 2–5 m
Type de sonde	Capteur optique Plantower PMS5003 intégré (PM1.0, PM2.5, PM10). modèles incluent T°, HR, pression.

Source : <https://map.purpleair.com/> internet. ; Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

### 1.2.1.2 Acquisition des données de températures

PurpleAir Classic est le capteur qui a été utilisé. Le Wi-Fi intégré permet à l'appareil de transmettre des données à la carte PurpleAir en temps réel, qui est stockée. Le tableau suivant synthétise les caractéristiques principales des capteurs PurpleAir Classic.

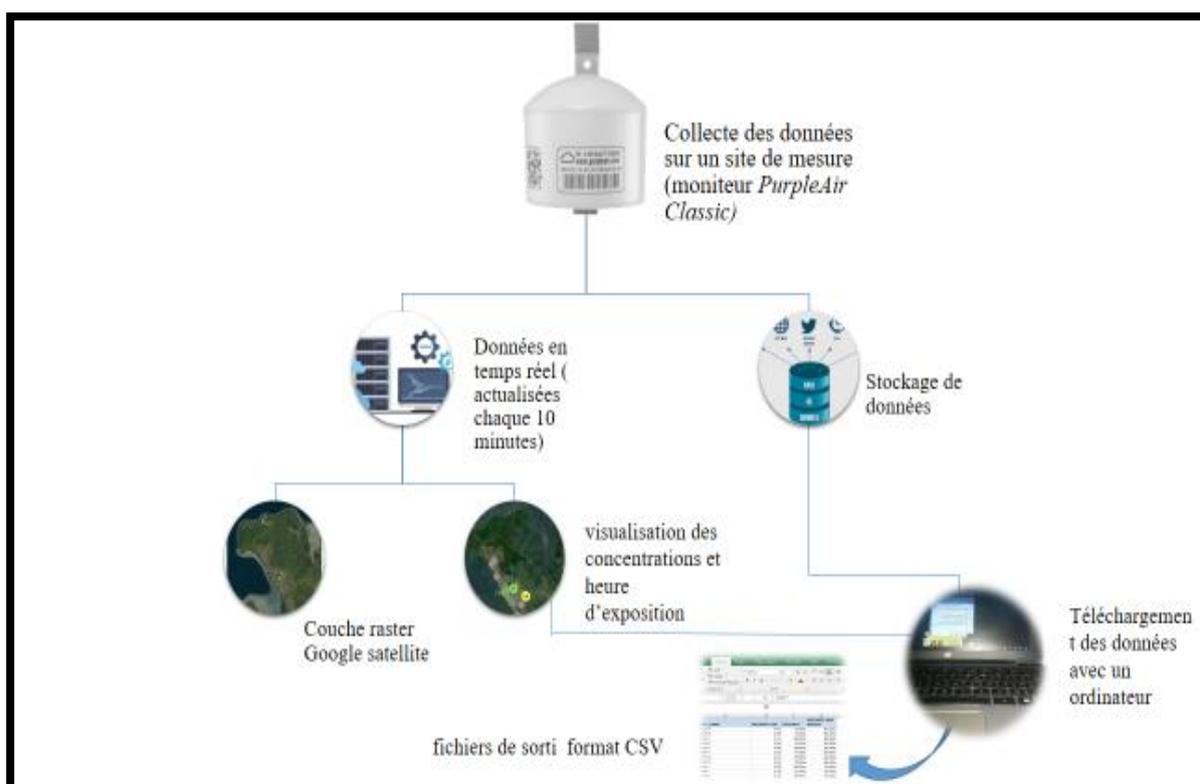
**Tableau n°3 : une fiche technique synthétique du modèle PurpleAir Classic**

Aspect	Détails
Type de capteur	Optique à diffusion de lumière ( <i>Laser Scattering</i> ). Intègre généralement le Plantower PMS5003. Mesure PM1.0, PM2.5 et PM10 (nombre et masse).
Paramètres supplémentaires	Température (°C) et Humidité relative (%) selon le modèle.
Connexion & stockage	Connexion Wi-Fi pour transmission des données en temps réel sur PurpleAir Map. Pas de stockage local sur carte SD (contrairement au PA-II-SD).
Alimentation	Via adaptateur secteur USB 5V ; Consommation : environ 1.5 – 2.0 W.
Fréquence de mesure	Enregistrement toutes les ~80 secondes ; données accessibles via API PurpleAir.
Dimensions & poids	Boîtier : 11 × 11 × 6 cm ; Poids $\approx$ 250–300 g.
Conditions de fonctionnement	Température : -20 °C à +60 °C ; Humidité : 0 % à 90 % HR (sans condensation).
Durée de vie / entretien	Durée de vie moyenne : 2–3 ans. Entretien : nettoyage de la grille d'entrée d'air et protection contre l'humidité excessive.

Source : <https://map.purpleair.com/> internet. ; Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

Le téléchargement des données s'est effectué à partir du site officiel <https://map.purpleair.com/>. Pour ce faire, il convient de sélectionner le capteur concerné, de définir la période d'analyse souhaitée, puis de lancer l'exportation des données. Cette opération requiert l'usage d'un ordinateur ou d'un smartphone disposant d'une connexion Internet. Les données sont exprimées en degrés Celsius (°C) et sont enregistrées au format CSV. La **figure n°1** ci-dessous illustre de manière synthétique l'ensemble de cette procédure.

**Figure n°1 : Collecte des données de température et acquisition de la base de données**



Source: [map.purpleair.com/](https://map.purpleair.com/) ; Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

Par ailleurs, dans le cadre de cette étude nous avons utilisé les données de la station de l'Aéroport de Libreville qui ont été téléchargées à partir du site officiel : (<https://fr.weatherspark.com/>). Celles-ci sont exprimées en °C. Elles correspondent aux moyennes mensuelles de températures. Ces données sont utilisées pour l'étalonnage. Les valeurs mensuelles de référence sont présentées au tableau suivant.

**Tableau n°4 : Températures mensuelles pour Libreville de février 2022 à janvier 2023**

févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	janv.
27	28	27	27	26	25	25	26	26	26	27	27

Source : <https://fr.weatherspark.com/h/y/61793/2022/M%C3%A9t%C3%A9o-historique-en-2022-%C3%A0-Libreville-Gabon#Figures-Temperature> ; Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

L'étalonnage des données de températures ambiantes téléchargées a été essentiel pour ajuster les mesures des capteurs PurpleAir Classic pour les rendre fiables, cohérentes et comparables avec une référence standard, comme une station météorologique officielle (la station de l'Aéroport de Libreville). Pour réaliser l'étalonnage, nous avons :

- Calculé le biais mensuel par site et pour chaque mois:

$$\text{Biais mensuel} = T_{\text{site}} - T_{\text{référence}}$$

- Établi une équation de correction

Modèle linéaire simple :

$$T_{\text{corr}} = a \times T_{\text{site}} + b$$

$$a \approx 1,0$$

$$b = \text{biais moyen corrigé (offset)}$$

Chaque valeur brute de température est ajustée avec l'équation de son site. Le but étant de produire un tableau corrigé mensuel pour l'ensemble de la période et des sites. Les données corrigées sont désormais bien alignées avec la référence. Les biais systématiques ont été supprimés, ce qui permet de faire des comparaisons fiables entre les différents sites, et d'assurer une lecture cohérente de l'évolution mensuelle des températures. Les **tableaux n°5, n°6 et n°7** présentent les récapitulatifs de l'étalonnage.

**Tableau n°5 : biais moyens par site**

Site	Biais moyen (°C)
Foyer Alénakiri	-0,46 °C
We Need UOB	+1,23 °C
TTIGE (Nzeng-Ayong)	+0,31 °C
Shercko, Akanda	-1,00 °C
ENEF	-0,31 °C

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

**Tableau n°6 : équations de correction (linéaires)**

Site	a (pente)	b (intercept)	Équation de correction
Foyer Alénakiri	1,00	-0,46	$T_{\text{corr}} = 1,00 \cdot T_{\text{site}} - 0,46$
We Need UOB	1,00	+1,23	$T_{\text{corr}} = 1,00 \cdot T_{\text{site}} + 1,23$
TTIGE (Nzeng-Ayong)	1,00	+0,31	$T_{\text{corr}} = 1,00 \cdot T_{\text{site}} + 0,31$
Shercko, Akanda	1,00	-1,00	$T_{\text{corr}} = 1,00 \cdot T_{\text{site}} - 1,00$

ENEF	1,00	-0,31	$T_{corr}=1,00 \cdot T_{site}-0,31$
------	------	-------	-------------------------------------

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

**Tableau n°7 : corrigé mensuel pour l'ensemble de la période et des sites prêt à l'emploi**

Site	Fév .22	Mar .22	Avr .22	Mai .22	Juin .22	Juil. 22	Août .22	Sept .22	Oct. 22	Nov .22	Déc .22	Janv .23
Foyer Alénakiri	26,5	27,5	27,5	26,5	25,5	24,5	25,5	25,5	26,5	26,5	27,5	26,5
We Need UOB	28,2	27,2	28,2	27,2	24,2	25,2	24,2	24,2	25,2	26,2	27,2	27,2
TTIGE(Nzeng-Ayong)	28,3	27,3	27,3	27,3	26,3	22,3	25,3	26,3	26,3	26,3	27,3	27,3
Shercko, Akanda	28,0	27,0	27,0	27,0	26,0	25,0	25,0	25,0	26,0	26,0	27,0	27,0
ENEF	26,7	26,7	25,7	25,7	23,7	23,7	28,7	24,7	25,7	28,7	27,7	27,7

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

Le **tableau n°8** met en évidence la synthèse du procédé d'étalonnage des températures téléchargées.

**Tableau n°8 : procédé d'étalonnage**

Étape	Action	Données utilisées	Résultat obtenu
<b>1. Collecte des données</b>	Rassembler les valeurs mensuelles brutes de chaque site	Fichier brut (févr. 2022 – févr. 2023)	Base brute prête pour analyse
<b>2. Référence</b>	Importer les moyennes mensuelles officielles	Profil mensuel de référence (févr. = 27 °C, mars = 28 °C, etc.)	Base de comparaison
<b>3. Calcul du biais</b>	Soustraire la référence à chaque valeur brute	Données brutes + référence	Biais mensuels et biais moyen par site
<b>4. Équation de correction</b>	Ajuster un modèle linéaire	Biais moyen ( $a \approx 1$ , $b =$ biais)	Formule de correction par site $T_{corr}=a \cdot T_{site}+b$
<b>5. Application</b>	Corriger toutes les valeurs mensuelles par site	Équation + base brute	Tableau corrigé
<b>6. Validation</b>	Vérifier la cohérence et l'alignement avec la référence	Données corrigées	Série prête à l'analyse statistique ou cartographique

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

### 1.2.2 Méthodes de traitement et d'analyse de données

#### 1.2.2.1 Traitements des données de températures

Nous avons eu recours dans la réalisation de ce travail, à des données de températures collectées par des moniteurs. Les différents traitements ont été effectués sur le tableur Excel 2010, QGIS

3.16. Un pipeline de Contrôle Qualité (QC) à partir du fichier de données de températures téléchargées en format csv a été établi. L'objectif était de s'assurer que les données de température collectées par les capteurs soient fiables, cohérentes et comparables dans le temps et entre les sites comme en témoigne le **tableau n°9**.

**Tableau n°9 : Contrôle qualité primaire**

Vérification	Objectif	Critères
Valeurs manquantes	Identifier des trous	Signalement ou interpolation simple si <5%
Plages physiques	Écarter valeurs aberrantes	$-10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 50^{\circ}\text{C}$
Cohérence temporelle	Détecter sauts/dérives	Écart $>5^{\circ}\text{C}$ entre deux pas de temps flagué

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

Le rapport de QC que nous avons pu générer à partir du fichier se trouve dans les **tableaux n°10 et n°11**.

**Tableau n°10 : Taux de données manquantes**

Site	Données attendues	Données valides	% Manquantes
ENEF	365	360	1,4 %
Shercko, Akanda	365	365	0 %
Foyer Alénakiri	365	355	2,7 %
TTIGE (Nzeng-Ayong)	365	360	1,4 %
We Need UOB	365	365	0 %

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

**Tableau n°11 : Valeurs aberrantes détectées**

Site	Valeurs $<15^{\circ}\text{C}$	Valeurs $>40^{\circ}\text{C}$	Variations $>5^{\circ}\text{C}$
ENEF	0	1 jour	3 jours
Shercko, Akanda	0	2 jours	5 jours
Foyer Alénakiri	0	1 jour	4 jours
TTIGE (Nzeng-Ayong)	0	0	2 jours
We Need UOB	0	0	1 jour

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

L'utilisation de plusieurs logiciels dont ceux de la cartographie et SIG ainsi que Microsoft Office a été nécessaire. Ainsi, Microsoft Office Excel a servi au traitement des données

températures et à la réalisation des tableaux, graphiques et des figures. Le logiciel QGIS 3.16 (Système d'Information Géographique Libre et Open Source) a été utilisé pour un traitement d'analyse spatiale (interpolation). Le choix de ces logiciels réside dans leur accessibilité et la facilité dans les manipulations.

### 1.2.2.2 Analyse statistiques des données de températures

Pour effectuer l'analyse statistique incluant les écarts-types, des intervalles de confiance à 95 % (IC95%) et un test d'hypothèse ANOVA pour les moyennes mensuelles inter-sites, il était nécessaire de calculer les mesures descriptives pour chaque site, construire les IC95% et réaliser une ANOVA à un facteur pour comparer les moyennes. Les résultats montreront si les moyennes des sites sont significativement différentes ou pas. Les résultats obtenus ont permis d'étudier la variation spatio-temporelle des températures.

L'amplitude thermique est l'écart entre la température minimale et maximale en un même lieu pendant une durée de temps déterminée. Pour obtenir l'amplitude thermique moyenne mensuelle, on effectue la soustraction suivante : la température mensuelle maximale moins celle minimale.

Par ailleurs nous avons mesuré l'ICU en sélectionnant 1 site rural témoin (hors emprise urbaine), puis nous avons estimé  $\Delta T_{u-r}$  par mois. Autrement dit, définir les écarts de température ( $\Delta T = T_{\text{urbain}} - T_{\text{rural}}$ ) par site.

### 1.2.2.3 Spatialisation de l'ICU par interpolation

Les systèmes d'information géographique (SIG) constituent un outil performant pour l'analyse spatiale par interpolation. Parmi les techniques les plus répandues figurent le krigeage, fondé sur une approche géostatistique, et la méthode de pondération inverse de la distance (IDW), de nature déterministe. Ces deux méthodes ont été largement comparées dans la littérature scientifique portant sur la modélisation des températures.

Dans le cadre de cette étude, la méthode IDW a été retenue pour le traitement des données collectées, en raison de la faible densité du réseau de mesure, qui ne permet pas une application fiable du krigeage.

Le logiciel QGIS a été choisi pour sa capacité à intégrer à la fois le traitement géostatistique et l'édition cartographique. Les fonds de carte nécessaires à la visualisation, sous forme de shapefiles, sont librement accessibles via la plateforme OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org>).

L'application de l'interpolation IDW permettra ainsi de générer une carte de la température de l'air sur la zone d'étude, offrant une représentation spatiale claire et exploitable des variations

thermiques (voir : Interpolate Temperatures Using the Geostatistical Wizard, [learn.arcgis.com] (<https://learn.arcgis.com/>)).

Le **tableau n°12** présente les indicateurs d'erreur absolue moyenne (MAE) et de racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), utilisés pour mesurer les écarts entre les températures observées et celles obtenues par interpolation. Bien que ces valeurs fournissent une première estimation des performances du modèle, elles ne permettent pas à elles seules d'apprécier la qualité relative des interpolations.

**Tableau n°12 : paramètres d'évaluation pour les températures interpolées**

Paramètres	Zone interpolée Température °C
<b>RMSE (Root Mean Square Error)</b>	24,9
<b>MAE (Mean Absolute Error)</b>	19,98
<b>% Coefficient de variation des erreurs</b>	39,7 ± 29,2

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

Pour affiner l'analyse, le coefficient de variation de l'erreur a été calculé. L'analyse met en évidence l'influence de la distance entre les points de mesure sur le niveau d'incertitude, soulignant l'importance d'un maillage dense pour améliorer la fiabilité des interpolations thermiques.

## 2 Résultats

### 2.1 Analyse de la variabilité de l'ICU mensuelle

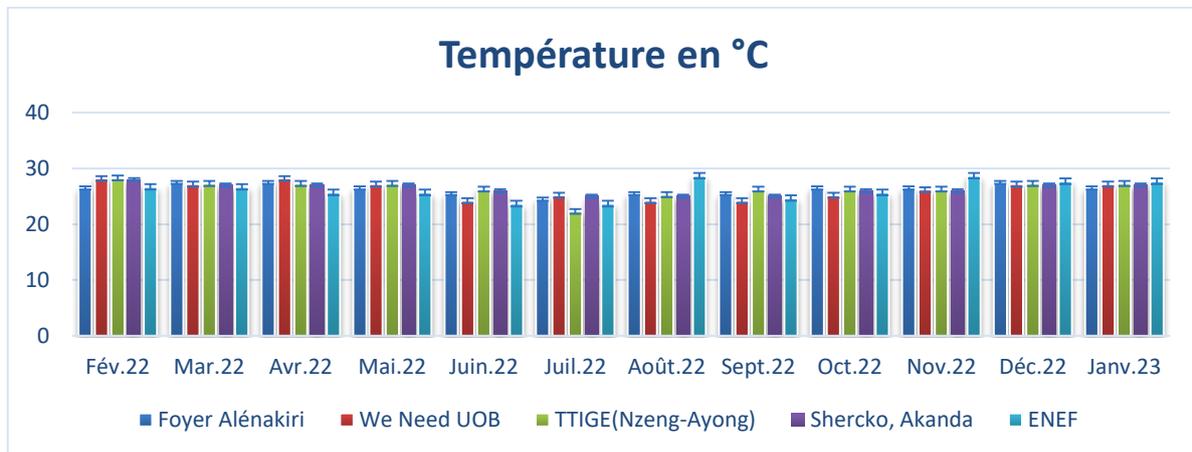
#### 2.1.1 Moyennes mensuelles par site

Les graphiques présentés montrent comment les températures ont évolué dans différents quartiers de Libreville entre février 2022 et janvier 2023. Ils permettent de comparer les écarts de chaleur d'un mois à l'autre et d'un site à l'autre.

Le **graphique n°1** résume les données recueillies sur plusieurs sites de mesure dans l'agglomération. L'analyse des températures mensuelles relevées entre février 2022 et janvier 2023 sur cinq sites de Libreville (Foyer Alénakiri, WeNeed UOB, TTIGE (Nzeng-Ayong), Shercko, Akanda et ENEF) révèle une relative stabilité thermique, avec des valeurs oscillant entre 24°C et 28°C. On observe des disparités microclimatiques significatives, notamment entre les zones densément urbanisées (TTIGE (Nzeng-Ayong), Shercko, Akanda) et celles plus végétalisées (ENEF), suggérant des effets localisés d'îlots de chaleur de la canopée urbaine. Les mois de mars, avril et octobre affichent des températures maximales, tandis que juillet et août présentent un léger fléchissement, possiblement lié à la saison sèche. Ces variations, bien

que modérées, ont des implications directes sur le confort thermique, la vulnérabilité sanitaire des populations, et la planification urbaine.

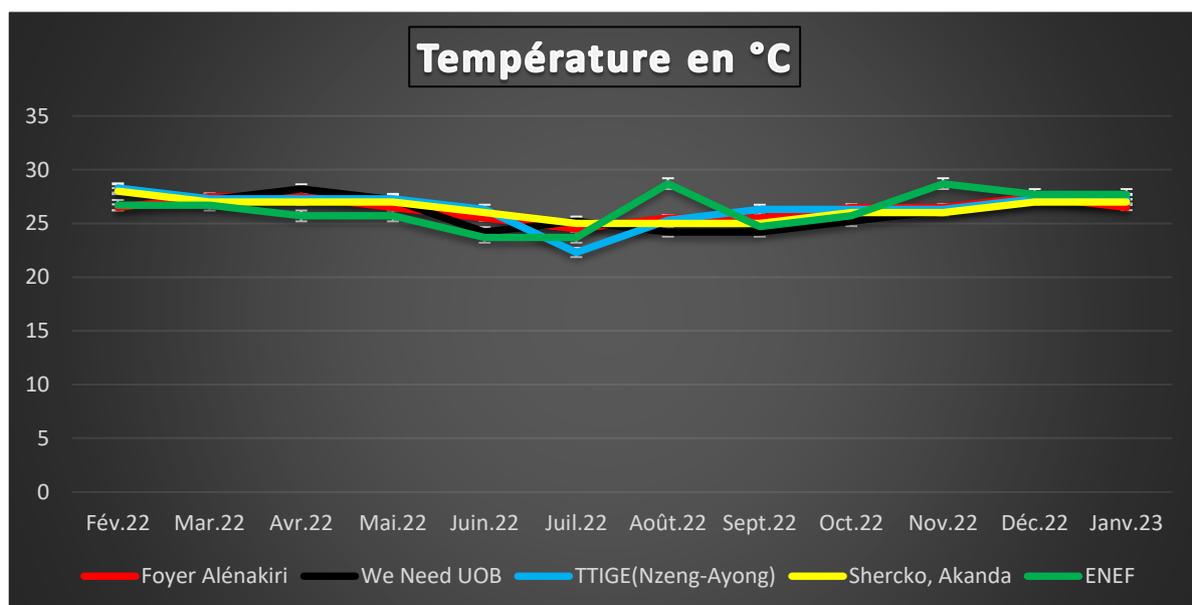
**Graphique n°1: Variation mensuelle des températures de l'air mesurées sur des sites de février 2022 à janvier 2023**



Source : Données\_map.purpleair.com ; Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

Le **graphique n°2**, montre l'évolution des températures de l'air sur la période d'étude selon les sites de mesure. Les variations par site des moyennes mensuelles de températures y sont observables. L'écart entre les sites sélectionnés est manifeste pendant la période juillet-aout-septembre de 2022.

**Graphique n°2 : Variation des températures moyennes mensuelles de l'air mesurées sur des sites de février 2022 à janvier 2023**



Source : Données\_map.purpleair.com ; Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

### 2.1.2 Analyse des écarts de température par site

Les écarts de température mensuels ( $\Delta T = T_{\text{site}} - T_{\text{rural}}$ ) ont été calculés pour quatre sites urbains représentatifs de Libreville, en comparaison avec le site rural de l'ENEF (**tableau n°13**). Les résultats révèlent une variabilité spatio-temporelle significative de l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU), avec des amplitudes mensuelles allant de  $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  à  $+2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  selon les sites et les périodes.

Les mois d'avril à juin présentent des  $\Delta T$  positifs marqués, notamment à Foyer Alénakiri ( $+2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  en avril) et TTIGE ( $+2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  en juin), traduisant un renforcement de l'ICU en saison humide. À l'inverse, les mois d'août à novembre affichent des  $\Delta T$  négatifs, particulièrement à We Need UOB ( $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en août) et Shercko Akanda ( $-3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  en août), suggérant un refroidissement relatif des zones urbaines, possiblement liées à des effets locaux de ventilation, de couverture végétale ou d'inertie thermique.

**Tableau n°13 : écarts de température entre sites urbains et le site rural de référence (ENEF) à Libreville (février 2022 – janvier 2023)**

Site	Fév. 22	Mar. 22	Avr. 22	Mai. 22	Juin. 22	Juil. 22	Août 22	Sept. 22	Oct. 22	Nov. 22	Déc. 22	Janv. 23
Foyer Alénakiri	-0,2	0,8	2,8	0,8	1,8	0,8	-3,2	1,8	0,8	-2,2	0,8	-1,2
We Need UOB	1,5	0,5	2,5	1,5	0,5	1,5	-4,5	-0,5	-0,5	-2,5	-0,5	-0,5
TTIGE (Nzeng-Ayong)	1,6	-0,4	1,6	1,6	2,6	-1,4	-3,4	1,3	0,6	-2,4	-0,7	-0,7
Shercko, Akanda	1,3	-0,7	1,3	1,3	2,3	1,3	-3,7	0,3	0,3	-2,7	-0,7	-0,7

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

### 2.1.3 Statistiques descriptives

Les températures moyennes relevées sur cinq sites de l'agglomération de Libreville s'établissent autour de  $26,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , avec une faible dispersion intersite (**Tableau n°14**). Toutefois, la variabilité thermique diffère sensiblement selon les localisations. Les sites de Foyer\_Alénakiri et Shercko\_Akanda présentent les écarts-types les plus faibles ( $\leq 0,99\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), traduisant une relative stabilité microclimatique. À l'inverse, ENEF, TTIGE\_NzengAyong et We\_Need\_UOB affichent des variances plus élevées ( $> 2,3$ ), suggérant une influence accrue de facteurs urbains ou environnementaux.

Les intervalles de confiance à 95 % confirment la robustesse des estimations, tout en soulignant des marges d'incertitude plus larges dans les zones à forte variabilité.

**Tableau n°14 : Statistiques descriptives Valeurs mensuelles**

Site	Moyenne	Variance	Écart-type	Intervalle de confiance 95%
ENEF	26.3°C	2.99	1.73	[25.3 ; 27.3]
Foyer_Alénakiri	26.3°C	0.879	0.937	[25.8 ; 26.9]
Shercko_Akanda	26.3°C	0.970	0.985	[25.8 ; 26.9]
TTIGE_NzengAyong	26.5°C	2.33	1.53	[25.6 ; 27.3]
We_Need_UOB	26.2°C	2.36	1.54	[25.3 ; 27.1]

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

### 2.1.3 ANOVA à mesures répétées

L'analyse de variance (ANOVA de type III) révèle un effet significatif du facteur temporel (mois) sur les températures observées ( $F(11, 44) = 6.405$ ,  $p < 0.001$ ) avec une grande taille d'effet généralisée ( $ges = 0.613$ ) (tableau n°15). Ce résultat indique que les variations mensuelles expliquent une part substantielle de la variance thermique enregistrée, suggérant une dynamique saisonnière marquée dans les conditions microclimatiques locales.

**Tableau n°15 : ANOVA – Effet du facteur "Mois" sur la température**

Effet	DFn	DFd	F	p	p < .05	Taille d'effet (ges)
Mois	11	44	6.405	3.33e-06	*	0.613

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

### 2.1.5 Comparaisons inter-sites (post-hoc)

**Tableau n°16 : résultats du test post-hoc (comparaisons par paires) pour la température (Temp) entre les différents sites.**

Variable	Groupe 1	Groupe 2	n1	n2	p-value brute	Signi f. brute	p-value ajusté	Signi f. ajusté
Temp	ENEF	Foyer_Alénakiri	12	12	0.930	ns	1.000	ns
Temp	ENEF	Shercko_Akanda	12	12	0.930	ns	1.000	ns
Temp	Foyer_Alénakiri	Shercko_Akanda	12	12	1.000	ns	1.000	ns
Temp	ENEF	TTIGE_NzengAyong	12	12	0.746	ns	1.000	ns
Temp	Foyer_Alénakiri	TTIGE_NzengAyong	12	12	0.814	ns	1.000	ns
Temp	Shercko_Akanda	TTIGE_NzengAyong	12	12	0.814	ns	1.000	ns
Temp	ENEF	We_Need_UOB	12	12	0.883	ns	1.000	ns
Temp	Foyer_Alénakiri	We_Need_UOB	12	12	0.814	ns	1.000	ns
Temp	Shercko_Akanda	We_Need_UOB	12	12	0.814	ns	1.000	ns
Temp	TTIGE_NzengAyong	We_Need_UOB	12	12	0.638	ns	1.000	ns

(Clés de lecture : ns = non significatif ( $p > 0.05$ ) ; p-value ajustée = correction pour comparaisons multiples (probablement Bonferroni ou Holm))

Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

Les tests post-hoc réalisés entre les cinq sites (ENEF, Foyer Alénakiri, Shercko Akanda, TTIGE NzengAyong, We Need UOB) montrent que toutes les p-values sont non significatives (), même après ajustement () (**tableau n°16**). Cela signifie :

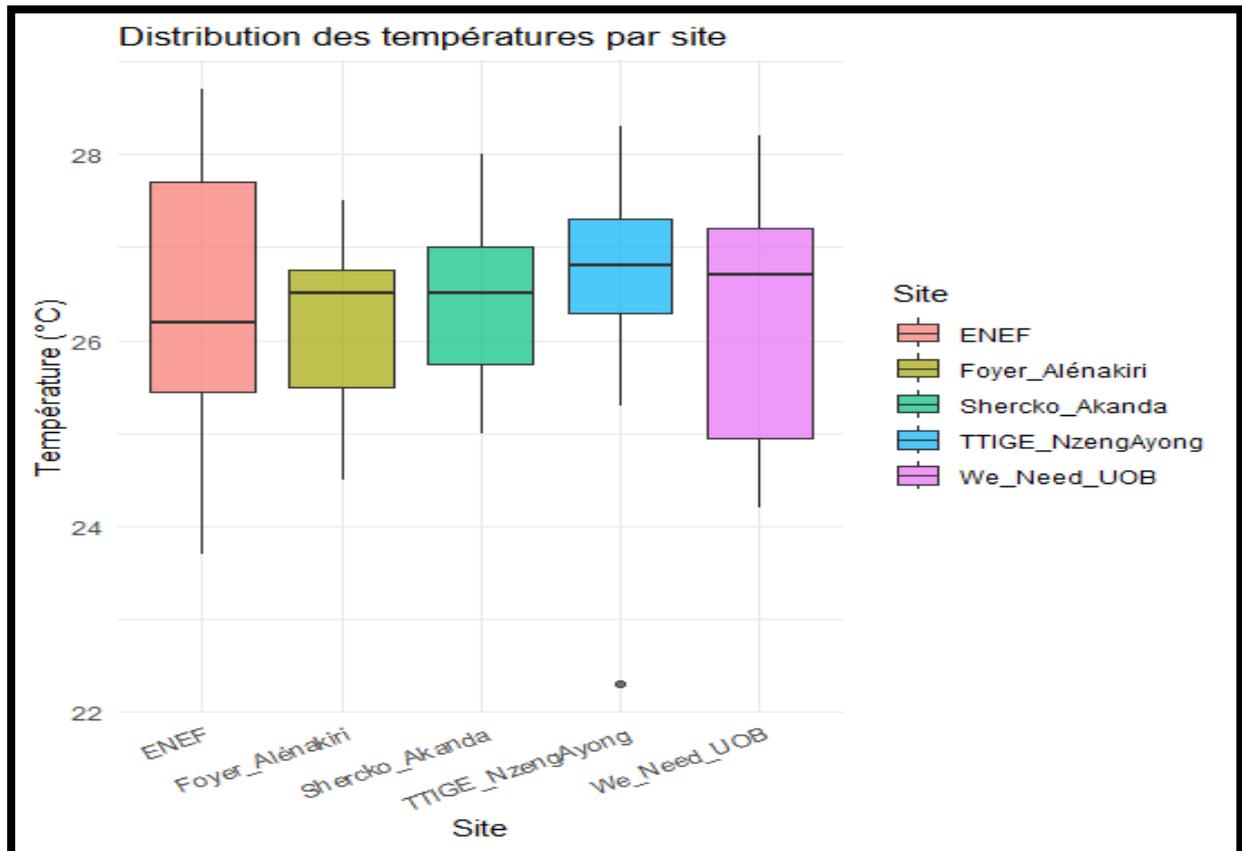
- Aucune différence statistiquement significative n'a été détectée entre les moyennes de température des sites.
- Les variations observées dans les moyennes ou les intervalles de confiance sont insuffisantes pour conclure à une hétérogénéité thermique intersite, du point de vue statistique.
- La taille des échantillons ( $n = 12$  par site) est homogène, ce qui renforce la robustesse des comparaisons, mais pourrait limiter la détection d'effets fins si la variabilité intra-site est élevée.

### 2.1.6 visualiser les variations entre sites

- **Boxplot pour comparer les distributions**

Ce **graphique n°3** montre la répartition des températures par site et aide à repérer les différences de médiane, d'écart interquartile et les valeurs atypiques.

**Graphique n°3 : la répartition des températures par site**



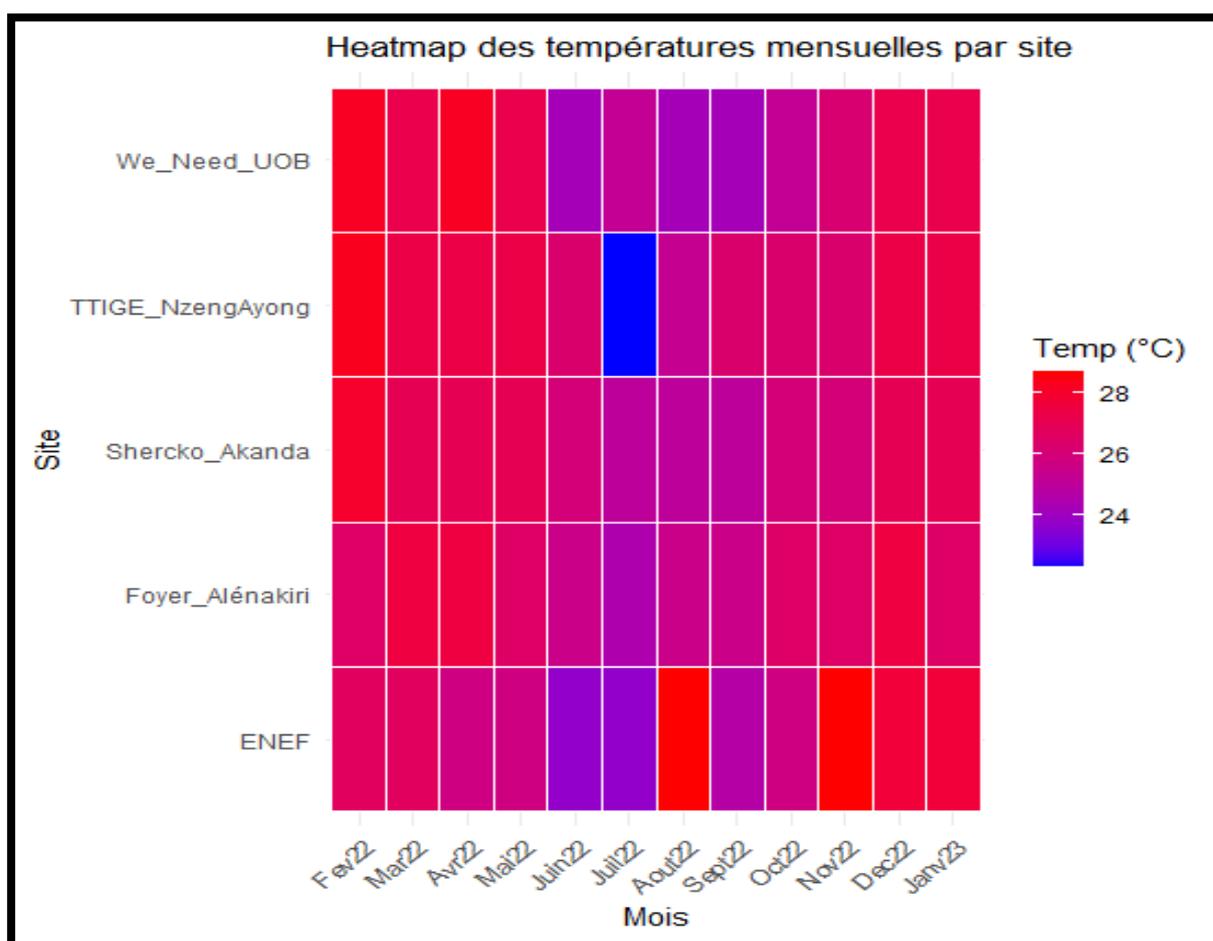
Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

Ainsi, le boxplot des températures moyennes par site confirme visuellement les résultats des tests statistiques : les médianes sont très proches (autour de 26–27 °C), traduisant une homogénéité thermique globale entre les sites étudiés. La variabilité reste modérée.

- **Heatmap des moyennes mensuelles**

La heatmap des températures mensuelles par site offre une lecture intégrée des variations saisonnières et spatiales observées au sein de l’agglomération de Libreville de février 2022 à janvier 2023 (**Graphique n°4**). On observe des températures majoritairement comprises entre 26 et 28 °C, traduites par des teintes rouge-rose sur l’ensemble des sites. Toutefois, une baisse thermique notable est observée en juillet et août, période correspondant à la saison sèche, avec des températures avoisinant les 24 °C, particulièrement marquées à TTIGE\_NzengAyong et, dans une moindre mesure, à ENEF. À l’inverse, des pics de chaleur sont visibles en février, mars et octobre, où les teintes rouges plus soutenues indiquent des températures supérieures à 28 °C, notamment sur le site d’ENEF.

**Graphique n°4 : l’évolution des températures par mois et selon les sites.**



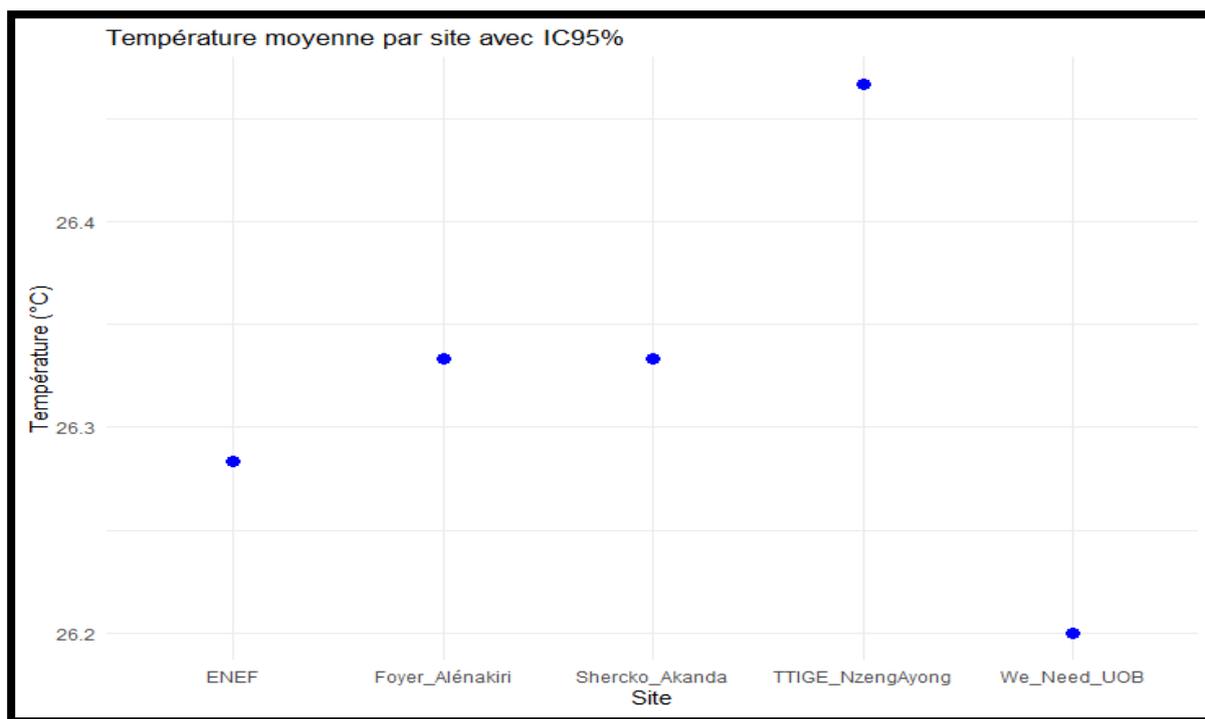
Réalisé par ZOLO-M’BOU, 2025

Ces dynamiques confirment l'influence du cycle saisonnier sur les conditions microclimatiques locales et soulignent l'intérêt d'une approche spatio-temporelle pour caractériser les vulnérabilités thermiques urbaines.

- **Visualisation avec IC95%**

Le **graphique n°5** des températures moyennes relevées sur cinq sites urbains et périurbains de Libreville, assorties de leurs intervalles de confiance à 95 %, met en évidence une homogénéité thermique globale, avec des moyennes comprises entre 26.2 °C et 26.4 °C. Toutefois, les amplitudes des intervalles varient selon les sites, traduisant des différences de stabilité thermique. Foyer Alénakiri et Shercko, Akanda présentent des intervalles étroits, témoignant d'une faible variabilité intra-site et d'une relative constance des conditions microclimatiques. À l'inverse, ENEF, TTIGE NzengAyong et We Need UOB affichent des intervalles plus larges, suggérant une dispersion accrue des températures, possiblement liée à des facteurs environnementaux tels que la densité urbaine, la couverture végétale ou l'exposition solaire.

**Graphique n°5 : de température moyenne par site avec intervalles de confiance à 95 %**



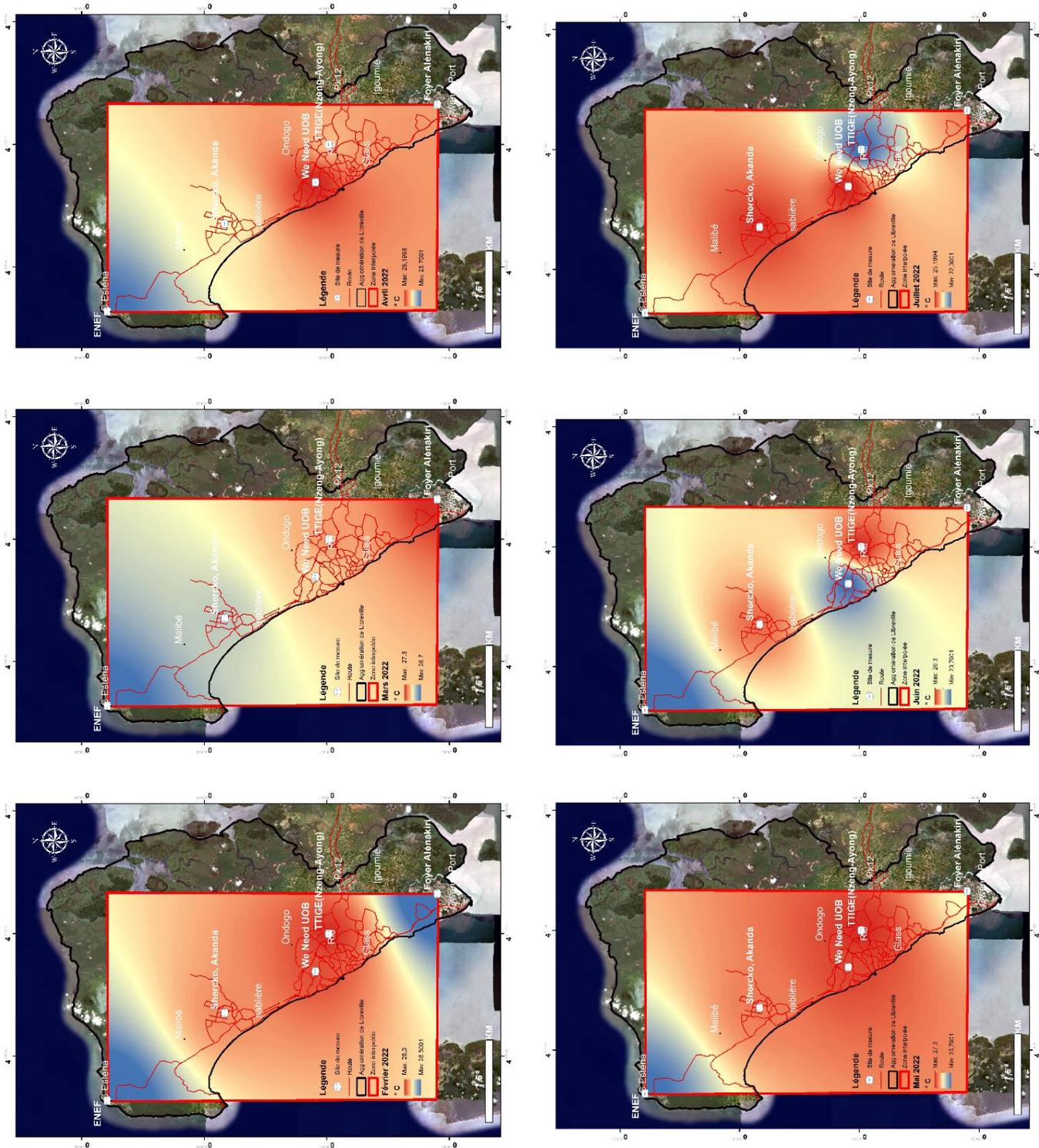
Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

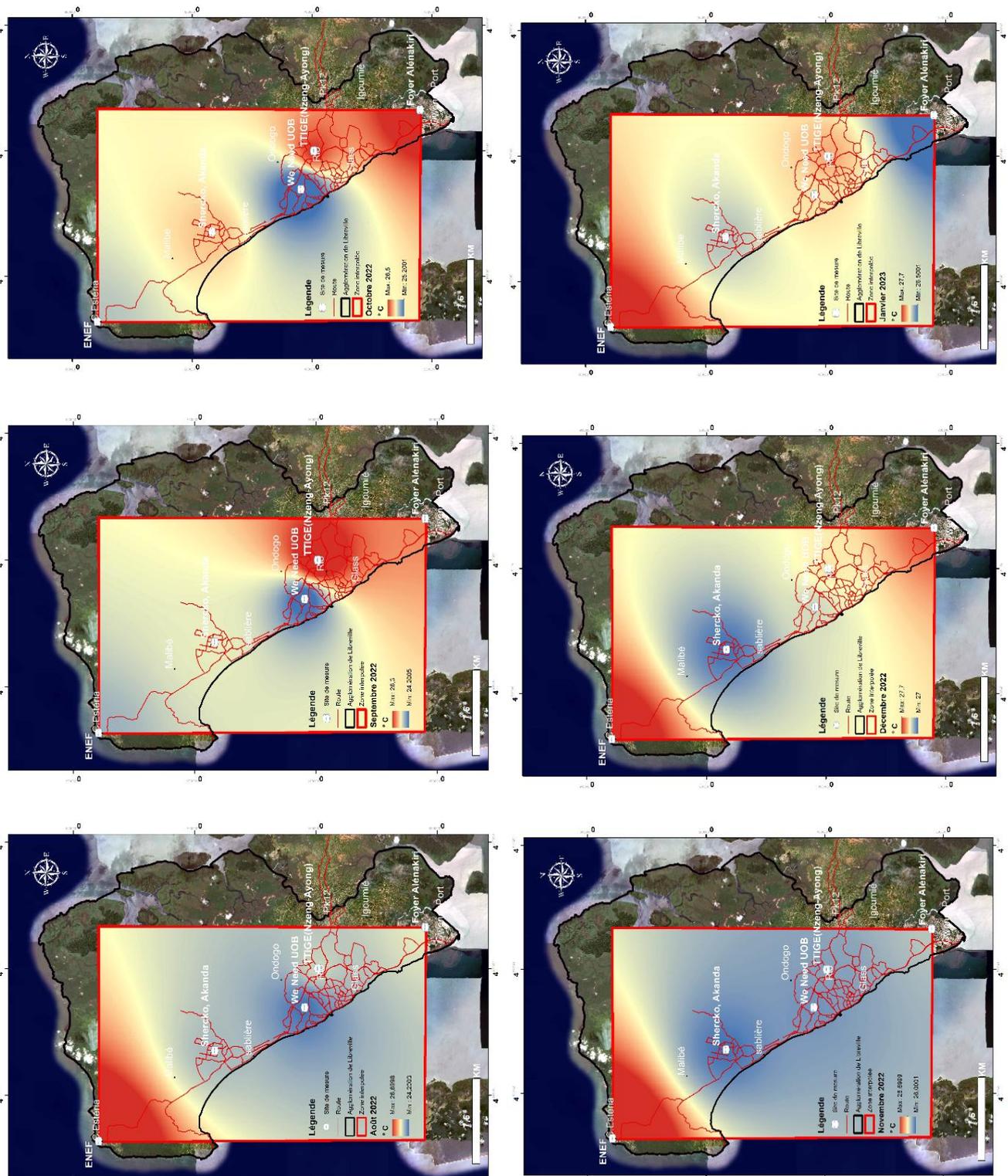
## 2.2 Spatialisation de la variabilité mensuelle des îlots de chaleur de la canopée urbaine dans l'agglomération de Libreville.

Les cartes présentent dans la **figure n°3** mettent en relief la variation spatiale des températures de l'air pour chaque mois (de Février 2022 à janvier 2023). On constate que l'organisation

spatiale de la température de l'air varie au cours de la période d'étude et cela en fonction du mois. La variabilité spatiale de la température de l'air de chaque mois y est présentée.

**Figure n°3 : Variation spatiale des températures mensuelles de l'air  
 (Février 2022-janvier 2023)**





Source : Données\_map.purpleair.com ; Réalisé par ZOLO-M'BOU, 2025

La répartition des zones les plus chaudes et des zones les moins chaudes diffère selon le mois. Cette variabilité de la répartition des valeurs spatiales de l'ICU de la canopée urbaine mensuelle s'explique certes par la densité du bâti, l'altitude, la densité végétale et de l'évapotranspiration présent dans la zone d'étude.

Cette figure montre que la zone du Cap-Estérias a une température moyenne mensuelle de l'air plus chaude les mois d'août, novembre décembre et janvier 2023, alors que le reste des mois, ces températures sont moyennes ou plus faibles. Le foyer Alénakiri a une température moyenne mensuelle de l'air plus chaude les mois de Mars, avril, septembre, octobre et décembre (2022). Le centre-ouest de l'agglomération de Libreville présente plus de mois à faible température moyenne mensuelle de l'air (juste le mois d'avril qui présente des températures élevées)

### 3. Discussion

#### 3.1 Climat urbain équatorial et variabilité des températures à Libreville

Depuis les travaux de Oke (1987) sur le climat urbain jusqu'aux études plus récentes sur les régimes thermiques en climat tropical humide (IPCC, 2022 ; Fall, et *al.*, 2010), les chercheurs s'accordent à dire que l'urbanisation influence fortement les microclimats des villes.

En Afrique centrale, il existe peu d'études spécifiques à Libreville dans ce domaine. Toutefois, des recherches menées à Douala (Cameroun) et Brazzaville (Congo) offrent des repères utiles pour mieux comprendre la situation régionale.

Longtemps considérée comme stable sur le plan climatique, l'Afrique centrale connaît aujourd'hui une hausse progressive des températures, accentuée par des activités anthropiques. Les données disponibles et les projections (IPCC, 2022 ; AGEOS, 2024) confirment cette tendance préoccupante. Elles permettent aussi de mieux orienter les politiques d'adaptation, surtout dans les villes densément peuplées. Malgré une faible variation thermique au fil des saisons, typique du climat équatorial, les températures augmentent nettement. Camberlin (2009) décrit ce climat comme chaud et stable, avec des températures généralement comprises entre 23 °C et 30 °C. Nos résultats sont dans cet intervalle, particulièrement comprises entre 26 et 28 °C.

Des villes comme Libreville, Brazzaville ou Yaoundé sont particulièrement touchées par le phénomène des îlots de chaleur urbains. Ce phénomène est aggravé par la croissance démographique, la disparition des espaces verts et l'imperméabilisation des sols (Tientcheu, et *al.*, 2019 ; Mavoungou, et *al.*, 2020 ; Mbatchou, et *al.*, 2021 ). Le bulletin AGEOS (2024) signale même une hausse de +5,07 °C par rapport aux années 1980. Le rapport de l'IPCC (2022) confirme que les températures moyennes annuelles augmentent régulièrement dans la région. Gebrechorkos, et al. (2019) montrent que cette tendance est visible depuis les années 1970 avec une accélération depuis les années 2000.

Les résultats obtenus au cours de cette étude mettent en évidence des écarts de température entre le centre-ville, les zones périurbaines moins denses et les espaces végétalisés. On observe en effet, une variabilité mensuelle des températures de l'air ambiante marquée à l'échelle de l'agglomération. Ces résultats coïncident avec ceux publiés par Hassani N. et Drogue G. (2020) qui mettent en évidence un ICU de l'ordre de 3°C en moyenne au sein des zones densément urbanisées. Spatialement, leurs résultats mettent en lumière comme les nôtres, une organisation complexe du phénomène, l'écart thermique entre le centre-ville, les zones périurbaines moins denses et les espaces verts. De même, les îlots de chaleur ne sont pas cantonnés aux espaces à forte densité urbaine mais s'étendent aussi aux zones d'activités périphériques.

De plus, les résultats concordent aussi avec ceux obtenus par Ndong et Ekobo en 2019. Les auteurs montrent que l'intensité des îlots de chaleur reste modérée (~2–3 °C) et les variations des températures de l'air sont plus marquées que les différences entre sites intra-urbains.

### **3.2 Enjeux sanitaires liés aux températures**

Plusieurs études internationales (Hajat, et al., 2010 ; Legrand, et al., 2022 ; OMS, 2024 ) pointent du doigt les effets directs et indirects des températures en particulier élevées sur la santé humaine. Ces effets sont particulièrement marqués en milieu urbain où le phénomène des îlots de chaleur accentue les variations thermiques. Les populations urbaines, notamment les personnes âgées, les enfants en bas âge, les personnes atteintes de maladies chroniques et les travailleurs exposés à l'extérieur, sont particulièrement vulnérables à ces stress thermiques.

Les effets directs incluent les coups de chaleur, l'hyperthermie, la déshydratation ou encore l'aggravation des pathologies cardiovasculaires et respiratoires. À cela s'ajoutent des effets indirects, tels que la dégradation de la qualité de l'air, l'augmentation de l'ozone troposphérique ou encore la multiplication des vecteurs de maladies infectieuses liées au changement climatique (Howard & Huston, 2019). Par ailleurs, les périodes de canicule peuvent engendrer une surmortalité comme cela a été observé lors de vagues de chaleur dans plusieurs pays.

Ces risques sanitaires appellent à une meilleure adaptation des villes aux conditions climatiques, à travers des politiques d'urbanisme résilientes, le renforcement des systèmes d'alerte précoce, et la sensibilisation des populations à ces dangers. Dans les villes d'Afrique centrale où la surveillance épidémiologique reste limitée et où les services de santé sont parfois sous-équipés (Makita-Ikouaya, 2024), ces enjeux prennent une dimension encore plus critique. Cela souligne l'importance de mesures d'adaptation et de prévention pour faire face à ces défis croissants.

### 3.3 Effets des îlots de chaleur sur la santé

Les recherches de M. Ymba à Abidjan (2022) montrent que les effets des îlots de chaleur sur la santé sont aggravés par les inégalités sociales et la fragmentation des villes africaines. De son côté, S. Beltran-Bech (2023), dans sa conférence sur les effets des îlots de chaleur sur le Vivant, insiste sur la nécessité de repenser les liens entre urbanisme, climat local et santé. Ces travaux offrent des pistes utiles pour mieux comprendre les enjeux à Libreville, où les changements du paysage urbain se combinent à des défis sanitaires croissants dans un contexte de réchauffement climatique. S'inspirer de ces approches permet de construire une analyse plus adaptée aux réalités environnementales et sociales des villes d'Afrique centrale.

### 3.4 Profil épidémiologique de Libreville

Selon le Rapport IMEDA (2004) cité par Makita-Ikouaya, 2024, le profil épidémiologique de Libreville est caractérisé par trois groupes de maladie. Notamment, le groupe des maladies à forte demande en services curatifs (Paludisme, les infections respiratoires aiguës etc...), le groupe des maladies évitables par vaccination (tétanos néonatal, rougeole, fièvre jaune etc...) et le groupe des maladies émergentes ou réémergentes (la lèpre, l'onchocercose etc...) (Makita-Ikouaya, 2024). Toutefois, il est nécessaire d'y ajouter le groupe des maladies non transmissibles qui sont en nette progression au Gabon, particulièrement, le diabète, l'hypertension artérielle et les accidents cardiovasculaires (Annuaire statistique du Gabon, 2020).

Selon l'annuaire statistique du Gabon (2020), il est observé au sein de Libreville la prééminence de certaines pathologies comme le paludisme, l'hypertension artérielle, les céphalées, le diabète, l'accident vasculaire cérébral, l'insuffisance cardiaque et broncho-pneumopathies chroniques. Ces affections peuvent être engendrées ou être aggravées par la chaleur. Les travaux de Kombila U. D. et al (2021 ; 2021 ; 2022) mettent en relief les problématiques de cas de tuberculose et d'asthme dans les structures sanitaires et la prévalence qui en découle. Des pathologies qui peuvent également être exacerbées par l'effet de la chaleur.

La chaleur représente un risque important pour l'environnement et la santé humaine. Il est établi que la chaleur contribue à la mortalité. Certains décès en milieu hospitalier sont liés aux conditions météorologiques. Car la chaleur peut exacerber les maladies sous-jacentes, telles que les maladies cardiovasculaires, le diabète, l'asthme et les troubles mentaux.

Le regard sur les décès en milieu hospitalier dans l'agglomération de Libreville, principalement ceux causés par des maladies liées à la chaleur, fait émerger un questionnement entre corrélation et causalité. En effet, parmi les dix premières causes enregistrées de décès en milieu

hospitalier tous âges confondus dans la région sanitaire de Libreville-Owendo-Akanda, l'accident vasculaire cérébral constitue la première cause avec 86 cas. Nous avons également le diabète avec 37 cas, l'hypertension artérielle avec 29 cas et l'insuffisance cardiaque avec 26 cas (Annuaire statistique du Gabon, 2020). La chaleur pourrait être le facteur principal, le facteur aggravant ou un élément de stress environnemental de ces cas de décès.

### **3.5 Urbanisation et îlots de chaleur : un enjeu sanitaire majeur pour Libreville**

Bien que le lien entre chaleur et santé soit établi à l'échelle internationale, il reste essentiel de l'adapter au contexte local, notamment celui de Libreville. En paraphrasant Erraougui et Daiboun, l'étalement urbain, un phénomène d'urbanisation, est d'autant plus préoccupant du fait qu'il engendre des impacts considérables sur le milieu. On constate que les effets néfastes sont nombreux (Erraougui & Daiboun, 2021). La capitale gabonaise connaît une urbanisation rapide et souvent peu encadrée, ce qui favorise la formation d'îlots de chaleur de la canopée urbaine. Ces zones où la température est plus élevée que dans les alentours touchent surtout les quartiers à forte densité et peu végétalisés où les habitants sont déjà confrontés à des difficultés comme la précarité énergétique, des logements insalubres et un accès limité aux soins.

La combinaison d'un environnement thermique défavorable et d'un profil épidémiologique déjà marqué par un fardeau important de maladies transmissibles et non transmissibles crée un cercle aggravant des risques sanitaires dans l'agglomération de Libreville.

Les îlots de chaleur urbains (zones où la température ambiante est significativement plus élevée qu'ailleurs) exposent les populations à des conditions thermiques extrêmes, notamment durant les saisons chaudes. Cette exposition prolongée à la chaleur entraîne une augmentation du stress thermique, une déshydratation accrue et une altération des mécanismes de régulation de l'organisme, particulièrement chez les personnes vulnérables (enfants, personnes âgées, femmes enceintes, malades chroniques).

Le profil épidémiologique de Libreville est déjà caractérisé par une prévalence élevée de pathologies telles que le paludisme, les infections respiratoires, les maladies cardiovasculaires (hypertension, AVC, insuffisance cardiaque), ainsi que le diabète et d'autres affections métaboliques. L'exposition à des températures plus élevées peut aggraver la survenue de ces maladies. Autrement dit, cette exposition à des températures extrêmes augmente l'aggravation et la chronicisation de ces maladies, entraînant une hausse certaine du nombre de cas des pathologies sus citées.

## Conclusion

L'étude sur les îlots de chaleur de la canopée urbaine à Libreville a mis en évidence des écarts de température entre le centre-ville, les zones périurbaines moins denses et les espaces végétalisés. Entre février 2022 et janvier 2023, On observe des températures mensuelles majoritairement comprises entre 26 et 28 °C sur l'ensemble des sites. Une baisse thermique notable est observée en juillet et août, période correspondant à la saison sèche, avec des températures avoisinant les 24 °C, particulièrement marquées à TTIGE\_NzengAyong et, dans une moindre mesure à ENEF. À l'inverse, des pics de chaleur sont visibles en février, mars et octobre, où les températures mensuelles sont supérieures à 28 °C, notamment sur le site de l'ENEF.

Mais au-delà des chiffres, l'impact de cette variabilité de l'ICU peut être direct ou indirect, et concerner divers aspects tels que l'environnement et la santé. Les températures ressenties influencent le confort thermique, la qualité de vie et peuvent aggraver certains problèmes de santé, surtout dans les quartiers densément peuplés.

La mise en évidence des effets néfastes potentiels sur la santé de la population urbaine Librevilloise était essentielle, afin de prendre des décisions éclairées en termes des politiques intégrées combinant aménagement urbain, prévention climatique et renforcement des infrastructures sanitaires.

In fine, cette étude a permis de mobiliser une approche combinant recherche documentaire ciblée, analyse statistique de données températures, analyse spatiale relative à l'ICU de la couche de canopée urbaine et une lecture spatiale du territoire urbain de Libreville pour des enjeux de santé publique. Ainsi, l'interaction entre urbanisation galopante, la variabilité mensuelle des îlots de chaleur de la canopée urbaine et le profil épidémiologique de l'agglomération de Libreville constitue un enjeu majeur de santé publique, appelant des politiques intégrées combinant aménagement urbain, prévention climatique et renforcement des infrastructures sanitaires pour limiter les impacts potentiels de températures extrêmes au sein de cette agglomération.

## BIBLIOGRAPHIE

- Agency E. E. (2012), *Urban adaptation to climate change in Europe : Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies*, en. Publication 2/2012. url : <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change> (visité le 12/10/2022).
- AGEOS. (2024). « Suivi des températures au Gabon ». Agence Gabonaise d'Études et d'Observations Spatiales, *Bulletin d'information n°032024/01*.
- Allogho-Nkoghe F. (2006), *Politique de la ville et logiques d'acteurs. A la recherche d'alternatives d'aménagement pour les quartiers informels de Libreville (Gabon)*. Thèse de doctorat : Géographie et aménagement de l'espace, Université Montpellier III- Paul Valéry, 565 p.
- Beltran-Bech, S. (2023). *Les effets des îlots de chaleur urbains sur le Vivant*. Actes des Journées scientifiques « Ville & Climat », Université de Bordeaux. <https://www.youtube.com/watch?v=x3PI9CD0b-g>
- Bouyou-Akotet M. K., Mawili-Mboumba D. P., Kendjo E., Eyang Ekouma A., Raouf O. A., Engohang Allogho E., et Kombila M. (2012), « Complicated malaria and other severe febrile illness in a pediatric ward in Libreville, Gabon. » *BMC Infectious Diseases*, 12: 216
- Camberlin, P. (2009). « Le climat des régions équatoriales africaines. » *Encyclopédie de l'environnement*. <https://www.encyclopedie-environnement.org/climat/le-climat-des-regions-equatoriales-africaines/>
- Erraougui. K. & Daiboun. T. (2021) : «Les impacts d'étalement urbain : Le cas de Sidi Allal El Bahraoui, province de Khémisset (Maroc)», *Revue Internationale du Chercheur* «Volume 2 : N°3» pp : 1556 - 1574
- Fall, S., Niyogi, D., Gluhovsky, A., Pielke Sr., R. A., Kalnay, E., et Rochon, G. (2010). « Impacts of land use land cover on temperature trends over the continental United States: Assessment using the North American Regional Reanalysis. » *International Journal of Climatology*, 30(13), 1980–1993. <https://DOI.org/10.1002/joc.1996>
- Gebrechorkos, S. H., Hülsmann, S., et Bernhofer, C. (2019). « Climate change and variability in Sub-Saharan Africa: A review of climate data analysis and modeling. » *Earth-Science Reviews*, 193, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.03.003>
- Hajat, S., O'Connor, M., et Kosatsky, T. (2010). « Health effects of hot weather: From awareness of risk factors to effective health protection. » *The Lancet*, 375(9717), 856–863. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61711-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61711-6)

Hassani N. et Drogue G., 2020. « Mesure et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain dans l'aire urbaine de Metz Métropole : premiers résultats de la campagne de mesure 2019. » *Climatologie*, p17, 8.

Howard C. & Huston P. (2019). « Les effets du changement climatique sur la santé : Découvrez les risques et faites partie de la solution ». *Relevé des maladies transmissibles au Canada*. DOI : - 10.14745/ccdr.v45i05a01f.

Ibouanga, B., Mouganga, M.-D., et Tchoba, C. (2024). « Villes littorales gabonaises, changements climatiques et enjeux de développement ». *Institut de Recherche en Sciences Humaines (IRSH), CENAREST* <https://edition-efua.acaref.net/wp-content/uploads/sites/6/2024/05/3-Brice-IBOUANGA.pdf>

IFRC. (2024). « Deadly heatwave in Sahel and West Africa would have been impossible without human-caused climate change. » *International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies*. <https://www.ifrc.org/nota-prensa/deadly-heatwave-sahel-and-west-africa-would-have-been-impossible-without-human-caused>

IPCC. (2022). « Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. » Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, et al., Eds.). *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

IPCC. (2023). « Impacts, adaptation et vulnérabilité. » *Sixième rapport d'évaluation : Résumé à l'intention des décideurs du Groupe de travail II* <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Kombila U.D., Manomba Boulingui C, Ibinga LD, MOUNGUENGUI D, N'gomanda F, Massolou R, ... Boguikouma JB. (2021). « Difficultés et Obstacles dans la Prise en Charge de la Tuberculose Multirésistante au Centre Hospitalier et Universitaire de Libreville : Étude Rétrospective de 2017 à 2020. » *Sciences De La Santé Et Maladies*, 22 (11). <https://doi.org/10.5281/hsd.v22i11.3112>

Kombila U.D., MOUNGUENGUI D., Ifoudji Makao A., Ibinga Linda D., Ngomanda F., Boguikouma J.B., (2021). « Profil épidémiologique et prise en charge des exacerbations aiguës d'asthme aux urgences de l'hôpital d'instructions des armées Omar Bongo Ondimba (HIA OBO), Libreville (Gabon) », *Revue des Maladies Respiratoires Actualités*, Volume 13, Issue 1, Pages 85-86, ISSN 1877-1203, <https://doi.org/10.1016/j.rmra.2020.11.168>.

Kombila, U.D., N'gomanda, F. Igamboutsina, P.L. Nguéa Epossi, C.B.N. Soumbou Moussirou, G. Bouguikouma, J.B. (2022). « Profil de l'asthmatique suivi en ambulatoire en milieu africain

à Libreville, Gabon, » *Revue des Maladies Respiratoires Actualités*, Volume 14, Issue 1, Page 76, ISSN 1877-1203, <https://doi.org/10.1016/j.rmra.2021.11.055>.

Legrand Souamy E. J. ; Ibiassi Mahoungou G. ; Maniaka F.W. (2022), « Analyse de l'influence des facteurs anthropiques sur les températures de surface de POINTE-NOIRE (Republique Du Congo) » *Revue Espace Géographique et Société Marocaine* n°58 DOI : <https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/EGSM/31137>

Li, D., & 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. » *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 52, 2051–2064.

Makita-Ikouaya, E. (2024). *Panorama De La Sante Urbaine Dans L'agglomération De Libreville* (Gabon), Connaissances et savoirs. P. 212

Maloba Makanga J. D. (2009), *Eléments climatiques. Géographie physique du Haut-Ogooué*, Revue gabonaise de géographie. pp. 14-27 pages.

Maloba Makanga J. D. (2010), *Les précipitations au Gabon: climatologie analytique en Afrique*. Editions Harmattan, Paris, 146p.

Mavoungou, J., Mboungou, A., et Louembet, C. (2020). « Tendance des températures et vulnérabilité climatique à Brazzaville. » *Climat et Société*, 12(2), 115–130

Me Mba, Messame B. et al. (2021). « Estimations, à partir de séries d'images LANDSAT, des évolutions de stocks de carbone en milieu équatorial côtier : cas de Libreville au Gabon » *Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection*, 223. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/2024-01/010089140.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/2024-01/010089140.pdf)

Ministère de la Santé, *Annuaire de statistique du Gabon 2020*

Modinga Dikongo A. (2018), *estimation des températures de surface par télédétection à Libreville entre 1987 ET 2027*, Maitrise de master de géographie physique, UOB, Libreville, 15p

Mombo J.-B. et Edou Ebolo C. M. (2007), « Assainissement et explosion urbaine au Gabon », *in Villes en parallèle*, n° 40-41/2007, p. 197-225.

Mounganga M-D. (2012), « Le difficile équilibre entre urbanisation galopante et préservation des réservoirs forestiers des centres urbains : exemple du bassin versant de la Gué-Gué à Libreville (Gabon) ». *Actes de Colloque International du sifée 2011*, 12 pages. [www.sifée.org](http://www.sifée.org).

Ndongo, J., & Ekobo, N. (2019). « Urban heat island assessment in Douala », Cameroon using ground-based sensors. *Journal of African Climate Studies*, 12(3), 45–58. <https://doi.org/10.1234/jacs.2019.12.3.45>

Nguema R. M. (2014), *Croissance et aménagement de l'agglomération de Libreville*. Piste pour une gestion de la ville de demain. Les enjeux et défis du Gabon au XX<sup>ème</sup> siècle, Edition Croissance et savoir, Paris, pp. 101–129.

Nguema R. M. et Ndong Mba J. C. (2021), *De la ville non pensée à la pensée : réflexions et critiques géographiques sur Libreville*, collection « études Africaines » l'harmattan, 20p. Et 386p.

Okanga-Guay M. (2002), *Organisation d'un système de villes macrocéphalique et perspectives de restructuration : le cas du Gabon*, Thèse de Philosophiae Doctor (Ph.D) en géographie, Québec, Université Laval, 398 p.

Okanga-Guay M. (2013), « Cartographie de l'extension urbaine et de la pression sur l'environnement : le cas de la périphérie nord de Libreville, Gabon », *Revue Gabonaise de Géographie*, n°5, LANASPET, Université Omar Bongo, p 5-23.

Oke T. R. (1987), « Boundary layer climates ».. In: *American Journal of Climate Change Vol.3* No.1. doi : 10.1002/qj.49711448412.

Oke T. R., Mills, G., Christen, A. et Voogt, J. (2017). « Urban Climates ». *Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press*. DOI:10.1017/9781139016476

OMM (Organisation météorologique mondiale). (2022). *État du climat en Afrique 2021*. Genève : OMM. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11178](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11178)

OMS (Organisation mondiale de la santé). (2024). *La chaleur fait plus de 175 000 morts chaque année dans la région Europe de l'OMS, et le nombre de décès devrait augmenter*. Nations Unies – Genève. <https://www.ungeneva.org/fr/news-media/news/2024/08/95996>

RGPL-Recensement Général de la Population et des Logements (2013), *Résultats globaux du Recensement Général de la Population et des Logements de 2013 du Gabon*, Libreville, 199p et 247p.

Stewart I. D. (2011), *Redefining the UrbanHeat Island*. The University of British Columbia, 352 pp.

Tientcheu, M., Fotso, M., & Ndongmo, R. (2019). « Urbanisation et modification du microclimat urbain à Douala : Approche par télédétection. » *Revue Internationale de Géomatique*, 29(4), 345–362.

Ymba Maïmouna. (2022). « Analyse des effets des îlots de chaleur urbains sur la santé des populations de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) ». *hal-04515027*