

FONDATION  
croix-rouge française



| Pour la recherche humanitaire et sociale

# Analyse des effets des îlots de chaleur urbains sur la santé des populations de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire)

**Maïmouna YMBA**

Enseignant-chercheur, Institut de Géographie Tropicale (UFHB), Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan (Côte d'Ivoire).



Les Papiers de la Fondation n° 46

Décembre 2022

-----www.fondation-croix-rouge.fr-----

Cette recherche a été réalisée dans le cadre de l'appel à bourses lancé par la Fondation Croix-Rouge française et avec le soutien financier de son partenaire, AGIRC-ARRCO.

La Fondation Croix-Rouge française, créée sur l'initiative de la société nationale de la Croix-Rouge française, a pour vocation d'initier, de soutenir et de récompenser les projets de recherche qui mettent en perspective les principes, pratiques et finalités d'une action humanitaire en transition.

À travers des appels à bourses, l'attribution de prix de recherche et l'organisation d'événements scientifiques, la Fondation Croix-Rouge française vise à définir les enjeux de l'action humanitaire de demain, accompagner les acteurs et les personnes, parties prenantes de la solidarité internationale, diffuser les savoirs issus de regards croisés et stimuler le débat.

Les propos et opinions exprimés dans cet article n'engagent que son/ses auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement ceux de la Fondation Croix-Rouge française.

Le contenu de cet article relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'auteur.

Il est interdit pour un usage autre que privé, scientifique ou pédagogique de reproduire, diffuser, vendre et publier intégralement ou partiellement sous quelque forme que ce soit cet article sans autorisation écrite particulière et préalable, dont la demande doit être adressée à la Fondation Croix-Rouge française.

© Tous droits réservés.

Avec le soutien de



**Pour citer cet article :**

YMBA Maïmouna « Analyse des effets des îlots de chaleur urbains sur la santé des populations de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) », Fondation Croix-Rouge française, *Les Papiers de la Fondation*, n° 46, Décembre 2022, 24 p.

## Résumé

---

Selon la SODEXAM, la ville d'Abidjan a connu ces 10 dernières années, une augmentation de la fréquence et de l'amplitude de vagues de chaleur. Cette hausse constante de la température se traduit par des îlots de chaleur urbains (ICU). Les ICU sont des secteurs urbanisés caractérisés par des températures du sol plus élevées de 5 à 10<sup>0</sup> C que l'environnement immédiat. Cette situation peut avoir des effets considérables sur la santé des communautés vulnérables. L'objectif de ce projet est d'étudier les effets des ICU sur la santé des populations. La méthodologie s'appuie sur la recherche documentaire, le traitement des images de satellites, l'analyse des données d'enquêtes épidémiologiques auprès des personnes âgées, des enfants de moins de cinq ans et des personnes exerçant à l'extérieur. Les résultats de cette étude révèlent plusieurs zones à risques au ICU. Ce sont les zones de forte densité des bâtis du centre d'Abobo, la partie sud d'Adjamé, le Centre et le sud d'Attécoubé, le centre de Yopougon, les parties est et sud de Port-Bouët et enfin la quasi-totalité de Koumassi, Marcory et Treichville. Les populations habitant ces espaces à risques présentent de fortes migraines, une extrême fatigue, des coups de chaleur-corps chauds, des toux sèches, des vertiges, des pertes de connaissances et des douleurs à la poitrine. À ces signes cliniques, les populations enquêtées ont déclaré plusieurs maladies à savoir : le paludisme, les affections de l'appareil digestif, le diabète, l'affection de l'appareil respiratoire, les infections de la peau, les troubles cardiaques et les douleurs chroniques. Les prévisions climatiques prédisent de grandes vagues de chaleur en milieu urbain les années à venir, c'est pourquoi des actions doivent être mises en place par les autorités ivoiriennes pour atténuer les effets des ICU sur la santé des populations vulnérables qui y vivent.

**Mots-clés** : Abidjan, îlots de chaleur urbaine, forte chauffeur, maladies, zones à risque, population vulnérables

## Summary

---

According to SODEXAM, the city of Abidjan has experienced an increase in the frequency and amplitude of heat waves over the past 10 years. This constant rise in temperature is reflected in urban heat islands (UHI). UHIs are urbanized areas characterized by ground temperatures 5 to 100 C higher than the immediate environment. This can have significant health effects on vulnerable communities. The goal of this project is to study the effects of UHIs on the health of populations. The methodology is based on literature search, satellite image processing, analysis of epidemiological survey data of the elderly, children under five years of age, and outdoor workers. The results of this study reveal several risk areas for UHI. These are the high-density areas in the center of Abobo, the southern part of Adjamé, the center and south of Attécoubé, the center of Yopougon, the eastern and southern parts of Port-Bouët, and almost all of Koumassi, Marcory and Treichville. The populations living in these high-risk areas present strong migraines, extreme fatigue, heat stroke, dry coughs, dizziness, loss of consciousness and chest pain. In addition to these clinical signs, the surveyed populations reported several illnesses, namely: malaria, digestive tract diseases, diabetes, respiratory tract diseases, skin infections, heart problems and chronic pain. Climate forecasts predict major heat waves in urban areas in the coming years, which is why actions must be put in place by Ivorian authorities to mitigate the effects of UHI on the health of vulnerable populations living there.

**Keywords**: Abidjan, urban heat islands, high heat, diseases, areas at risk, vulnerable population

# Analyse des effets des îlots de chaleur urbains sur la santé des populations de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire)

## Introduction

Le climat de la planète change rapidement et va continuer à changer à cause des activités humaines. D'après plusieurs modèles climatiques, on peut s'attendre jusqu'à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, suivant les scénarios et l'efficacité des mesures de politique climatique, à un réchauffement global allant jusqu'à 4,8 °C (D. Urbinello et N. Kunzli, 2015). Ce changement climatique est caractérisé par la hausse des températures, et l'intensité des événements météorologiques extrêmes (canicules, tempêtes, inondations, sécheresses, cyclones, etc.) (UN, 2019). Selon les projections du Groupe d'experts intergouvernemental (GIEC), cette situation sera encore plus alarmante, car les prévisions climatiques indiquent par exemple qu'à l'avenir, les épisodes de fortes chaleurs seront plus fréquents et plus intenses (GIEC, 2020). En Afrique, le GIEC sur l'évolution du climat estime que la hausse des températures accroîtra le nombre et la gravité des vagues de chaleur, particulièrement en zone urbaine (GIEC, 2014). Selon la société d'exploitation et de développement aéroportuaire, aéronautique et météorologue (SODEXAM), la ville d'Abidjan a connu ces 10 dernières années une augmentation de la fréquence (nombre accru de journées de chaleur accablante) et de l'amplitude (intensité et longueur) des vagues de chaleur (SODEXAM, 2015). Cette hausse constante de la température observée et projetée accentue l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU). Les ICU sont des secteurs urbanisés caractérisés par des températures du sol plus élevées de 5 à 10°C que l'environnement immédiat (Voogt, 2003 ; Camilloni et Barro, 1997 ; Charabi, 2001 ; Baudoin et Guay, 2005, p.1-8).

Ce phénomène est exacerbé par la chaleur produite par les activités humaines dans les espaces urbains. Son extension spatiale résulte de la combinaison de plusieurs facteurs : les vagues de chaleur extrême, la situation géographique de la ville, la forme de la ville (géométrie urbaine), sa structure (partitionnement entre surface minérale et végétale) et sa taille (superficie, densité et population). (Sakhy et *al.*, 2011 ; Simmonds et Plummer, 2001). Comme le souligne Ringenbach (2004), l'ensemble de ces facteurs génère une modification des transferts de chaleur. En ville, la rugosité des surfaces urbaines joue un rôle sur l'accumulation et l'intensification de la chaleur par le biais d'un piégeage du rayonnement dans « le canyon urbain ». Une importante quantité de chaleur va être stockée dans les constructions urbaines qui sont sujettes à une inertie thermique plus forte et plus lente que les espaces ruraux. Ce phénomène d'inertie est accentué par l'albédo de la surface qui est plus important en ville qu'à la campagne (Aida et Gotoh, 1982).

Il est admis que les effets de cette modification rapide et persistante du climat sur la santé risquent d'être très largement négatifs, notamment pour les populations les plus pauvres, les plus faibles, les plus mal préparées (C. Howard, P. Huston, 2019).

Si le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU) a été mis en évidence il y a plus d'un siècle, en revanche il prend actuellement toute sa signification. En effet, l'accroissement non seulement du nombre, mais également de l'intensité des épisodes annuels de chaleur accablante engendre des conséquences sur les populations en matière de santé et de bien-être (Lachance, Baudoin et Guay, 2006 ; Gouataine et Ymba, 2019).

Les îlots de chaleurs urbains (ICU) comportent d'importants risques de santé publique, puisqu'ils affectent le taux de morbidité et de mortalité de la population exposée (GIEC, 2001) en créant un stress thermique<sup>1</sup> chez les individus. Selon plusieurs études, la chaleur accablante peut provoquer divers inconforts et malaises ou encore exacerber un état chronique jusqu'au point de causer la mort (Giguère, 2009). En 2003, les vagues de chaleurs intenses et longues ont causé la mort de plus de 15 000 personnes en France (Cadot et Spira, 2006). La population la plus touchée par ce drame fut les personnes âgées et plus particulièrement les femmes (Besancenot, 2004). En effet, les personnes âgées sont prédisposées à des troubles liés à la chaleur, notamment en raison des changements physiologiques associés au vieillissement (Thibault *et al.*, 2004). À cela, s'ajoutent les effets considérables sur la santé des communautés vulnérables (notamment les très jeunes enfants, les travailleurs extérieurs, les indigents, les personnes vivant dans le centre d'une ville et dans les quartiers précaires) ; y compris une hausse de la mortalité (OMS, 2007). Comme ce fut le cas des épisodes de canicule de l'été 2003 en Europe et 2010 au Sahel qui se sont avérés hautement mortels (Lamothe *et al.*, 2019).

Par ailleurs, selon plusieurs auteurs, la chaleur accablante engendrée par les îlots de chaleur urbains peut être à l'origine 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 et rénales, au point de causer la mort (Besancenot, 2002 ; Luber et McGeehin, 2008).

Pour assurer la protection de la santé publique et en réduire la vulnérabilité, l'élaboration et le maintien d'initiatives d'adaptation sont nécessaires. Ainsi, afin d'atténuer les effets néfastes du phénomène des îlots de chaleur urbain sur la santé et le bien-être, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a recommandé divers programmes de lutte aux effets de la chaleur accablante et de prévention des îlots de chaleur urbains aux agences de santé, aux intervenants concernés par le phénomène. Pour agir efficacement, encore faut-il connaître et bien comprendre le phénomène. Si le phénomène est très bien connu ailleurs depuis des décennies, il reste très peu reconnu et documenté en Côte d'Ivoire. En dépit des modèles climatiques qui prévoient un réchauffement du climat et une augmentation de la fréquence des événements de chaleur extrême dans les années à venir, en Côte d'Ivoire, l'ampleur de cette menace est très peu connue par les autorités malgré les dangers pour la santé. Les plans d'actions ou intervention pour lutter contre les changements climatiques sont dépourvus de données probantes pour quantifier la manière dont les températures de surface ou ICU affectent la santé humaine ou le bien-être de la population. Ce projet vise à remédier à cela en caractérisant les ICU dans le contexte ivoirien. L'objectif de cette étude est d'identifier les zones à risques aux effets des ICU dans l'agglomération de la ville d'Abidjan ; analyser les conséquences des effets des ICU sur la santé et le bien-être des populations vulnérables.

## **Méthodologie**

### ***Zone d'étude***

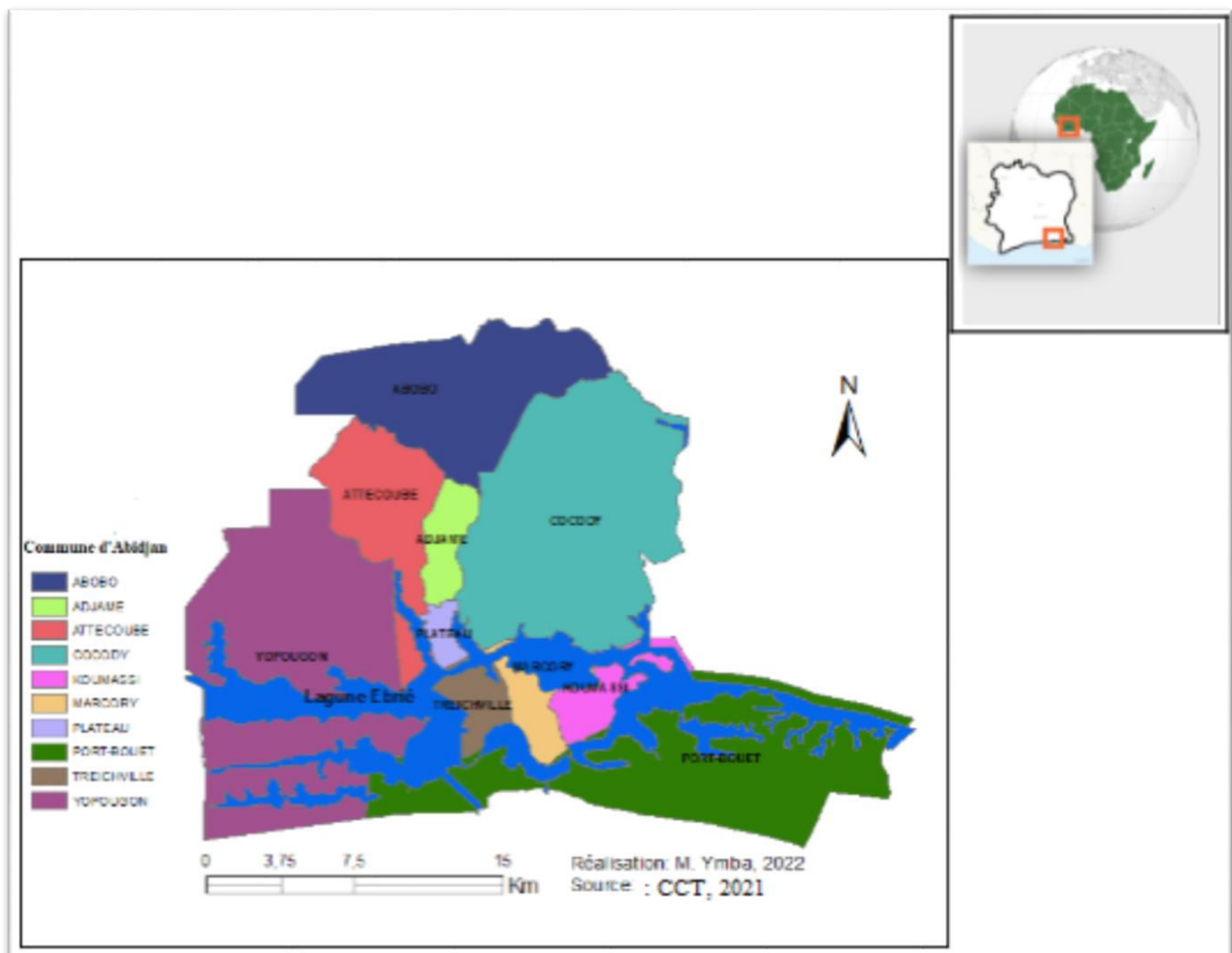
La ville d'Abidjan est située au sud de la Côte d'Ivoire entre la latitude 5°15N et 5°26N et la longitude 4°5W et 3°54, (Figure n°1). Elle est la plus grande ville du pays et la plus peuplée de

---

<sup>1</sup> Le stress thermique est provoqué par l'accumulation de chaleur par le corps humain et peut s'avérer fatal.

l'Afrique de l'ouest francophone (6 351 086 soit 20% de la population totale du pays). Capitale économique, elle s'étend sur une superficie de 422km<sup>2</sup>. La densité de la population est d'environ 15050 hab. /km<sup>2</sup>. Par ailleurs, la ville d'Abidjan compte plus 280 quartiers. La ville d'Abidjan est répartie sur deux espaces qui sont « Abidjan nord » composé des communes du Plateau, d'Adjamé, d'Attécoubé, Cocody, Yopougon, Abobo et « Abidjan sud » avec les communes de Treichville, Marcory, Koumassi et Port-Bouët. Les deux espaces sont séparés par la lagune Ebrié. « Abidjan nord » est la partie continentale d'Abidjan et « Abidjan sud » la partie située entre la lagune Ebrié et la mer. La région d'Abidjan est incluse dans une zone climatique qui couvre la basse Côte d'Ivoire du 8e parallèle à la cote. Elle se trouve sous l'influence d'un climat de type subéquatorial. On y distingue quatre épisodes saisonniers (deux saisons des pluies et deux saisons des pluies). Elle se caractérise par des activités humaines intenses et une absence de végétation.

**Figure 1 : Localisation de la zone d'étude**



## Données

Les données utilisées sont constituées de données de télédétection et de climat, de données sanitaires des structures de santé et les données d'enquêtes sanitaires de population. Il faut noter cependant que l'étude a commencé par une recherche bibliographique. En effet, les documents scientifiques, des rapports, et des documents gouvernementaux ont été consultés dans les

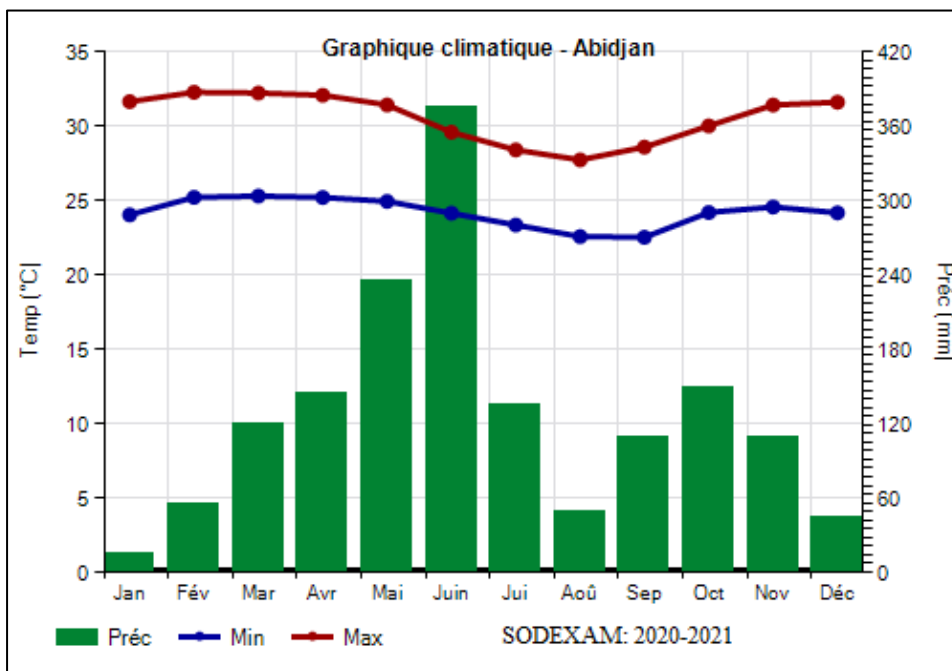
bibliothèques et à partir de moteurs de recherche spécialisés tels que Google scholar, Medline, BMC, springer et Webscience, Doaj, pour la période 1995-2018, en français et en anglais.

### Acquisition des données de télédétection et climat

Les données de télédétection ont été téléchargées sur le site officiel du satellite LANDSAT 8 via ce lien <https://earthexplorer.usgs.gov/> pour le mois de mars 2021 qui correspond au mois le plus chaud, la température atteint généralement plus de 34,5°C (SODEXAM, 2021). Ce téléchargement a permis de calculer les températures de surface afin d'identifier les îlots de chaleur (ICU) c'est-à-dire, les endroits les plus chauds de la ville d'Abidjan qui peuvent avoir des effets néfastes sur la santé. Cette image a été choisie pour sa disponibilité et sa qualité. C'est la bande 10 (TIRS-1) qui a été utilisée pour étudier la dynamique spatiale des températures dans la ville d'Abidjan.

À côté de l'acquisition des données de télédétection, des données de climat (température, précipitation) ont été collectées à la société d'exploitation et de développement aéroportuaire, aéronautique et météorologue (SODEXAM) en novembre 2021 (Tableau 1 et Figure 2). Ces valeurs de données climatiques ont déterminé les mois d'enquêtes. Ainsi les enquêtes ont eu lieu de février à avril au moment le plus chaud de l'année et juin pour la période la plus « froide » de la ville d'Abidjan.

Figure 2. Variation mensuelle des précipitations et des températures



**Tableau 1. Abidjan - Températures moyennes (1991-2020)**

Mois	Min (°C)	Max (°C)	Moyenne (°C)
Janvier	24	31,7	27,8
Février	25,2	32,3	28,8
Mars	25,3	32,2	28,8
Avril	25,2	32,1	28,6
Mai	25	31,4	28,2
Juin	24,2	29,6	26,9
Juillet	23,4	28,4	25,9
Août	22,6	27,7	25,2
Septembre	22,5	28,6	25,6
Octobre	24,2	30	27,1
Novembre	24,6	31,4	28
Décembre	24,2	31,6	27,9
An	24,2	30,6	27,35

Source : SODEXAM, 1991-2020

Enfin, la carte d'occupation du sol réalisée à partir des variables suivantes : les bâtis, les sols nus, la végétation et l'eau a été consultée dans les travaux de recherche réalisés par A. Mobio et al en 2017. La carte d'occupation du sol a permis d'identifier les éléments d'aménagement urbain qui sont à l'origine des effets microclimatiques dans la ville d'Abidjan. Les différents traitements effectués sur l'image satellitaire ont permis à l'équipe de réaliser la carte d'occupation du sol de 2014 de la ville d'Abidjan. Quatre classes d'occupation du sol ont été identifiées. Ces classes correspondent aux variables retenues pour expliquer la spatialisation des températures dans la ville d'Abidjan. Ces classes sont les bâtis, les sols nus, la végétation et l'eau. Chaque classe est constituée d'une ou plusieurs entités (Tableau 2).

**Tableau 2. Classes d'occupation de sols et les catégories considérées**

Classe	Catégories considérées
Bâtis	Les maisons (lieux d'habitation), les grandes surfaces et les édifices
Sols nus	Les parkings, les routes, les espaces libres
Eau	Cours d'eau
Végétation	La forêt, les espaces verts, les zones agricoles, les espaces boisés

Source : A. Mobio et al., 2017

### ***Données sanitaires***

Les données sanitaires utilisées dans le cadre de cette étude proviennent de la base de données sanitaire de la Direction de l'Informatique et de l'Information Sanitaire (DIIS) du ministère de la Santé



pour l'agglomération d'Abidjan acquises entre le mois d'octobre et novembre 2021 et janvier 2022 à avril 2022. Ces données ont été toutes géoréférencées et regroupées par niveau de référence sanitaire suivant la pyramide sanitaire de la Côte d'Ivoire. Il s'agit des données relatives aux structures de santé. Par ailleurs, pour comparer les pathologies diagnostiquées dans les structures de santé et celles déclarées dans les populations étudiées, nous avons consulté les registres de santé des centres de santé durant les mois les plus chauds (février, mars et avril) de la zone d'étude. En s'appuyant sur la littérature, les maladies dues aux fortes températures ou des ressenties ont été collectées en 2021. Les variables relevées sont la date de consultation, l'âge, le sexe, la durée de résidence, le lieu de résidence, les symptômes, la pathologie diagnostiquée, etc.

### *Données d'enquête sociosanitaire auprès des populations*

L'enquête par questionnaire a été réalisée de février à avril (mois chaud) et de mai à juin (mois froid). Il s'agit d'une enquête épidémiologique. Elle a concerné les zones chaudes de la ville d'Abidjan et moins chaudes de la périphérie de la ville d'Abidjan à l'échelle des quartiers. Les personnes âgées, femmes et hommes de plus de 50 ans (limite d'âge fixée en fonction de l'INS, 2014), des enfants (moins de 5 ans) et des personnes travaillant à l'extérieur ont été interrogés. L'enquête s'est terminée à la fin du mois de juin 2022.

Pour sélectionner les quartiers d'enquêtes, nous avons tiré au sort des quartiers situés dans les zones vulnérables aux ICU et des quartiers situés dans les espaces moins exposés. L'objectif est d'apprécier les effets du niveau d'exposition au ICU.

S'agissant du choix des personnes à enquêter, nous avons procédé par un échantillonnage par quotas, en appliquant la formule mathématique suivante :  $N = t^2 \times p(1-p)/m^2$  avec N : Taille de l'échantillon, t : niveau de confiance à 95 % (valeur-type 1,96), p : Proportion de personnes supposées avoir les caractères recherchés. Cette proportion varie entre 0,0 et 1 est une probabilité d'occurrence d'un événement et m : marge d'erreur à (5 % (valeur-type 0,05). Ainsi défini, le nombre de personnes à interroger s'élève à 1332.

**Tableau 3. Échantillon de l'enquête santé à Abidjan**

	Enfants 6 mois à 12 ans		Personnes exerçant une activité à l'extérieur		Adultes et personnes âgées		
	Filles	Garçons	Filles	Garçons	Personnes âgées > 45 ans	Femmes 25-45 ans	Hommes 25-35 ans
Effectifs	135	141	141	157	175	287	296
Sexe (%)	48,91	51,08	47,31	52,68	23,08	37,86	39,05
Total	276		298		758		
Nombre total de personnes à enquêtées	<b>1332</b>						

Source : Enquête de terrain, Abidjan, 2022

À partir d'un questionnaire, des informations qualitatives et quantitatives sur les caractéristiques démographiques et socio-économiques (âge, sexe, niveau d'instruction et d'alphabétisation, emploi,), le mode de déplacement, le lieu de résidence, aux ressenties par rapport aux vagues de chaleur, la morbidité déclarée, le type de consultation médicale, etc. ont été posées. Sur le terrain, certaines personnes ont refusé de répondre à nos questions. Ces personnes s'élevaient à Vingt pourcent (20%) soit 266 refus. L'échantillon final était donc de 1066 personnes interrogées.

## Méthodes

### *Calcul des températures de surface*

Cette méthode s'appuie sur les travaux de A. Mobio et *al.*, 2017. Le traitement des données s'est effectué après intégration des données des imageries satellitaires brutes dans un logiciel SIG. Les méthodes de transformation des valeurs spectrales en températures de surface font appel à plusieurs algorithmes à partir desquels les valeurs d'émissivité de surface dans l'intervalle thermique sont transformées en température et exprimées en degré Celsius (S. Ariane, 1991). Les capteurs des satellites Landsat (TIRS-1) acquièrent les données de température et les mémorisent en valeurs numériques ou Données numériques (DN). Ces comptes numériques sont, ensuite, convertis en température de surface (degré kelvin). Il y a trois étapes de conversion :

- D'abord les DN sont converties en radiance spectrale avec l'équation suivante :
  - $DN = (CVR1 - compensation) / gain$  (1)
  - DN : les données numériques ou comptes numériques
  - CVR1 : la valeur de radiance
  - Compensation : valeur de polarisation à une bande spécifique.
  - $CVR1 = ((LMAX\lambda - LMIN\lambda) / (QCALMAX - QCALMIN)) \times (QCAL - QCALMIN) + LMIN\lambda$  (2)
  - QCAL : c'est le compte numérique
  - LMAX $\lambda$  et LMIN $\lambda$  : paramètres d'étalonnage radiométrique.
  - QCALMAX et QCALMIN : valeurs des pixels.
  
- Ensuite, une fois les comptes numériques des bandes thermiques ont été convertis en radiance, on applique simplement l'inverse de la loi de Planck pour extraire la température en degré kelvin (T °k). L'équation de la transformation est la suivante :
  - $T (\text{°k}) = K2 / \ln (K1 \times \varepsilon / CVR1 + 1)$  (3)
  - T (°K) : température en degré kelvin
  - Cette température est convertie en degré Celsius suivant l'équation :
    - $T (\text{°C}) = T (\text{°K}) - 273$  (4)

Après avoir extrait la température de surface, cinq seuils de températures ont été définis pour établir la carte de spatialisation de température. L'objectif est de distinguer les zones les plus fraîches des zones les plus chaudes. La méthode utilisée pour déterminer les seuils de températures est celle de Jenks d'ArcGIS. La méthode de Jenks est un algorithme qui permet de réduire la variance d'intraclasse et de maximiser la variance interclasse. Cette méthode repère, suivant le nombre de classes spécifié au départ, les classes contenant les individus les plus homogènes (valeurs proches) et les plus distinctes les unes des autres. Si la distribution comporte des discontinuités (zones de faible densité des valeurs), celles-ci seront nécessairement détectées par

la méthode de Jenks, qui constitue une variante rigoureuse de la méthode bien connue des « seuils naturels » (Gosselin., 2013). L'outil de mesure de cette homogénéité est l'indice de Jenks qui est le rapport entre la somme des écarts de chaque classe et le nombre de classes (Indice de Jenks = (somme des écarts de chaque classe) / nombre de classes).

### ***Traitement des données de terrain***

Les questionnaires renseignés relatifs à l'enquête transversale auprès des ménages enquêtés ont été soumis à un contrôle de qualité. Les données ont ensuite été saisies dans un masque de saisie élaboré dans Epi Data puis transférées vers le logiciel SPSS et Excel pour le traitement statistique.

La stratégie d'analyse s'appuie sur deux étapes successives, liées entre elles et dégagant des connaissances complémentaires. Dans un premier temps, nous avons procédé à une analyse décrivant de manière générale les maladies les plus fréquentes et les pratiques thérapeutiques au sein des quartiers. Afin de comprendre l'implication majeure des ICU et/ou des autres facteurs sur la santé des populations, nous faisons les analyses corrélationnelles. Nous avons évalué la significativité des relations statistiques en soumettant les conséquences que l'on suppose induites par elles au test de khi2 de Pearson. Le degré de significativité des associations a été indiqué par la valeur du p de Pearson. À côté de ces calculs, des cartes thématiques de morbidité dans un logiciel SIG ont été réalisées.

## **Résultats**

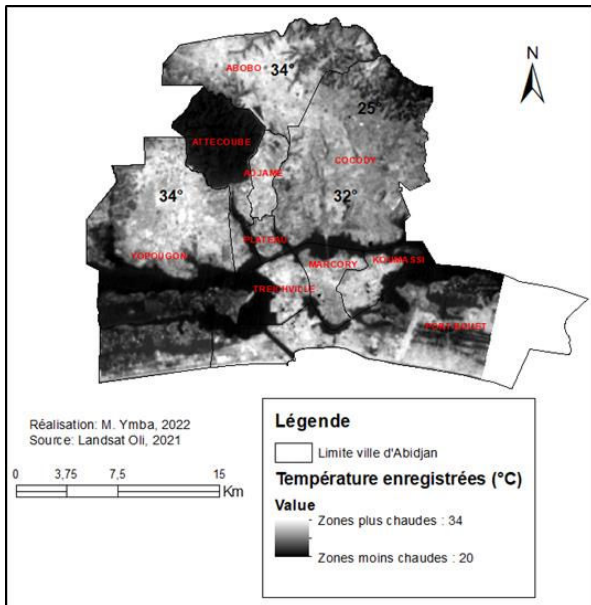
### ***Répartition spatiale des températures de surface à Abidjan***

Le résultat de la distribution spatiale des températures de surface est issu du calcul de la température de surface à partir des bandes thermiques de landsat OLI des bandes 10 et 11 sous ArcGis. Les formations des ICU se concentrent dans les espaces centraux de la ville d'Abidjan (Figure 3 et 4). Ces zones représentent le noyau de la ville d'Abidjan. Les températures les plus élevées identifiées correspondent aux centres urbains denses. Ce sont les espaces urbanisés du centre, le centre d'Abobo, la partie sud d'Adjamé, le Centre et le sud d'Attécoubé, le centre de Yopougon, les parties est et sud de Port-Bouët avec une forte empreinte humaine caractérisée par une forte activité humaine et une absence de végétation (Figure 5).

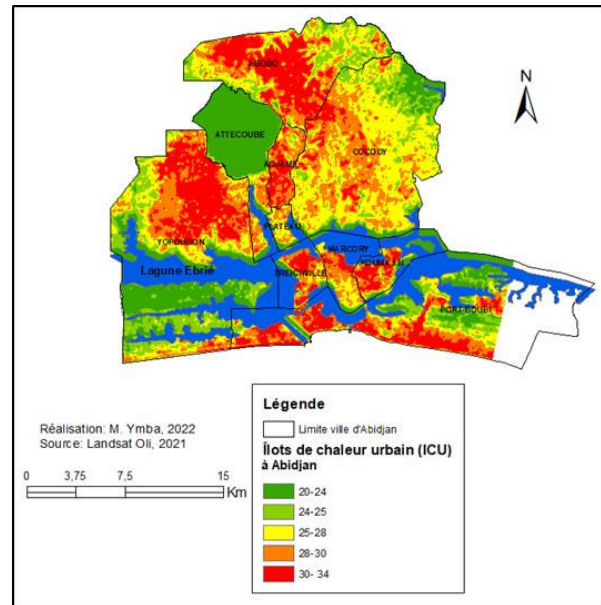
En effet, la Figure 5 permet de distinguer quatre (4) classes de densités de bâtis que sont les zones à fortes densités de bâtis, les zones à moyennes et faibles densités de bâtis et les zones à densités de bâtis nulles. Les zones de forte densité des bâtis sont le centre d'Abobo, la partie sud d'Adjamé, le Centre et le sud d'Attécoubé, le centre de Yopougon, les parties est et sud de Port-Bouët et enfin la quasi-totalité de Koumassi, Marcory et Treichville. Ces zones correspondent exactement aux espaces à risques pour les ICU (Cf Figure 3 et 4). Les zones à moyenne et faible densité de bâtis sont l'ouest de Cocody, les extrêmes Sud et Centre-Nord d'Abobo (autour de la zone à forte densité de bâtis), le Centre-Ouest et le sud de Yopougon (autour de la zone à forte densité de bâtis), le sud-est d'Attécoubé, le Plateau, les extrêmes Nord et Sud de Koumassi, Marcory et Treichville et la partie est de Port-Bouët. Les zones à densité de bâtis nulle correspondent

à la végétation qui se situe pour la plupart aux extrémités de la ville d'Abidjan à savoir le nord de Port-Bouët, la partie Est de Cocody, le nord d'Abobo, la partie nord d'Attécoubé (forêt du Banco) et les nord-ouest et sud de Yopougon. Les risques d'expositions aux ICU sont faibles dans ces espaces. L'absence de végétation dans ces quartiers à cause de la forte densification et urbanisation rend davantage vulnérables ces espaces.

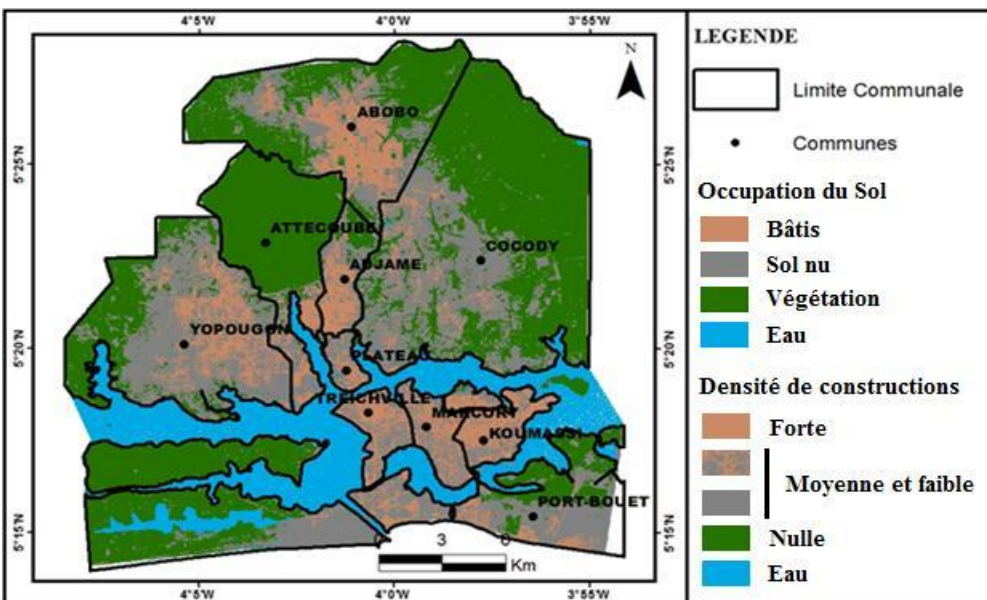
**Figure 3. Températures enregistrées mars 2021 à Abidjan**



**Figure 4. Identification des ICU dans la ville d'Abidjan**



**Figure 5 : Carte d'occupation du sol de la ville d'Abidjan**



Source : A. Mobio et al., 2017

## Vulnérabilité des populations face aux fortes températures de surface dans la ville d'Abidjan

La carte de l'identification des températures de surface (4) met en évidence trois zones micro climatiques dans la ville d'Abidjan. Ce sont les zones dont les températures sont comprises entre 0 et 25 °C ; 25 et 30°C ; et plus de 34°C. Les zones dont les températures sont à plus de 34 °C sont localisées dans la quasi-totalité des communes de Koumassi, Marcory et Treichville. Dans la commune d'Abobo, cette plage de température se situe au Centre, au Sud- Est et par endroit à l'Ouest. La commune de Yopougon enregistre des très fortes températures au Centre et Sud-Est. À Attécoubé et Adjamé, les températures élevées sont localisées dans la moitié sud et le Nord-Ouest (Adjamé). Dans la commune de Cocody, de façon disparate, de petits foyers de ces températures sont localisés au Centre. Pour la commune de Port-Bouet, presque toute l'étendue Sud de la commune est couverte par les températures élevées. La plage de températures comprises entre 22,5 et 25 °C, occupe toute la grande partie Sud de Cocody. Elle se situe à l'ouest d'Abobo, au Centre-Ouest et au sud de Yopougon, au sud-est d'Attécoubé, au Plateau, aux extrêmes Nord et Sud de Koumassi, Marcory et Treichville et au nord-est de Port-Bouët. C'est dans ces espaces où les fortes températures ont été identifiées que les populations étudiées se sont le plus plaintes de différentes douleurs occasionnées par les fortes températures (Figure 6). Ces plaintes étaient essentiellement dues à de fortes migraines, des extrêmes fatigues, des coups de chaleur, des corps chauds, des toux sèches, des vertiges, des pertes de connaissances et des douleurs à la poitrine. Ces signes cliniques sont caractéristiques de l'état physiologique des patients en consultation durant les périodes de hausse de température (OMS, 2018). En superposant les cartes des ICU et des douleurs ressenties, on observe que pour plus de 27 % des enquêtés, ces périodes sont vécues difficilement, car elles occasionnent trop de gênes et de souffrance à gérer en plus des autres besoins au quotidien. Ce qui justifie les craintes invoquées par les populations durant les périodes de grandes vagues de chaleur (Figure 7).

**Figure 6 : Répartition spatiale des températures de surface et des douleurs ressenties par les populations**

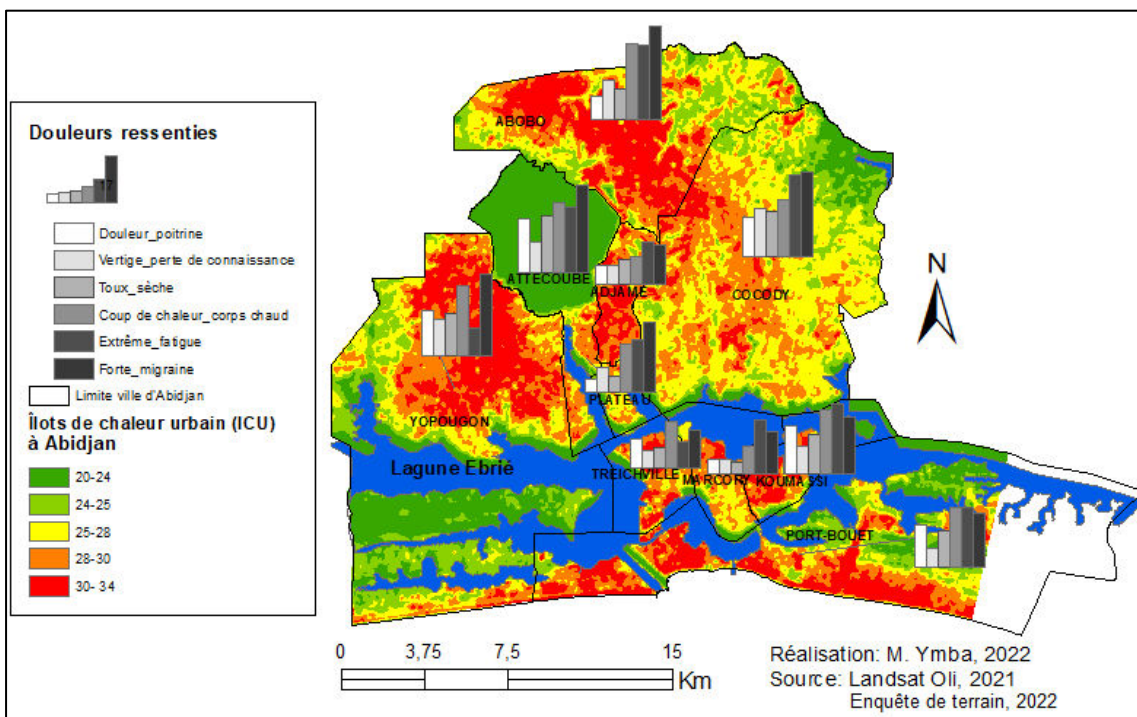
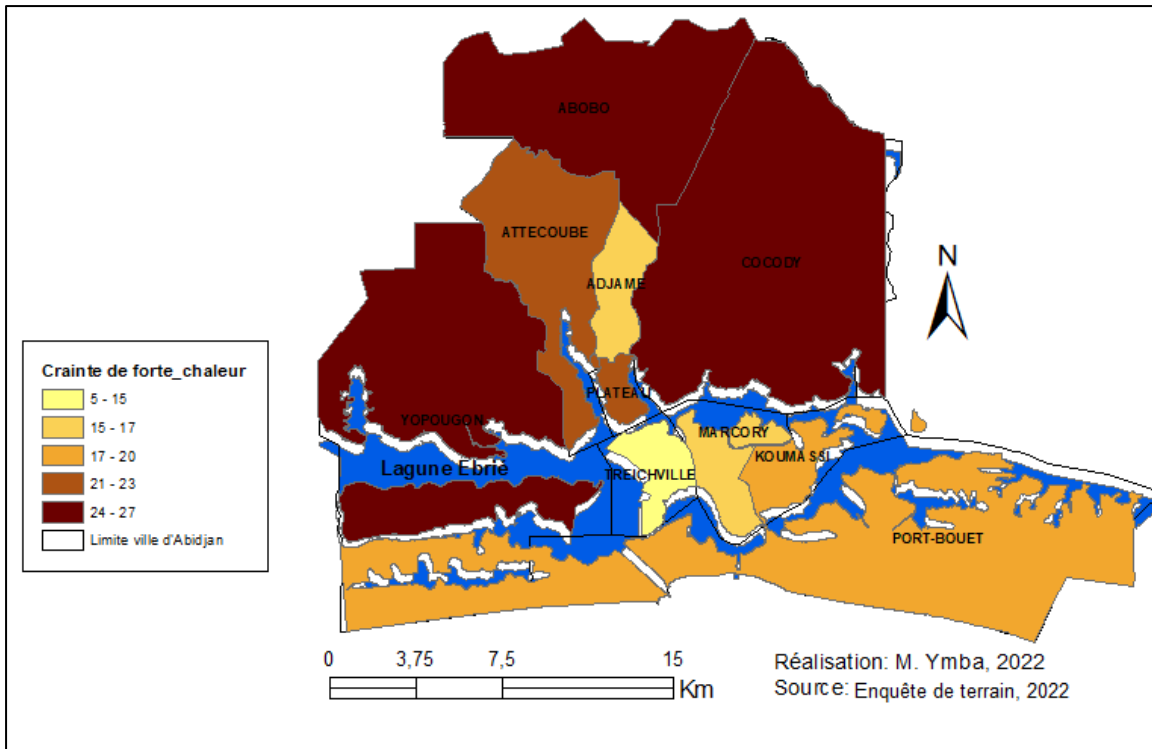


Figure 7. Craintes des fortes chaleurs par zone d'étude



## Impacts des températures de surface sur la santé des populations vulnérables étudiées

### *Épisodes morbides chez les enfants*

À la question « avez-vous eu un problème de santé dans les mois de février et mars<sup>2</sup>? », 42% des enfants de 6 mois à 12 ans (ou leurs accompagnants) répondent par une affirmation. Sur 276 individus ayant été malades, les maladies les plus déclarées sont le paludisme (25%), les affections de l'appareil digestif (22%), la fièvre/migraine forte (20%), les douleurs (11%), la toux (11%), les infections de la peau (5%), les affections de l'appareil respiratoire (4%) et l'insuffisance cardiaque (2%).

Le paludisme est la maladie la plus importante de l'enquête (Figure 8). Il faut y voir un effet de la saison. Les conditions bioécologiques sont propices au développement des moustiques (anophèles) vecteurs du paludisme, c'est également la période où le soleil apparaît de façon ardente.

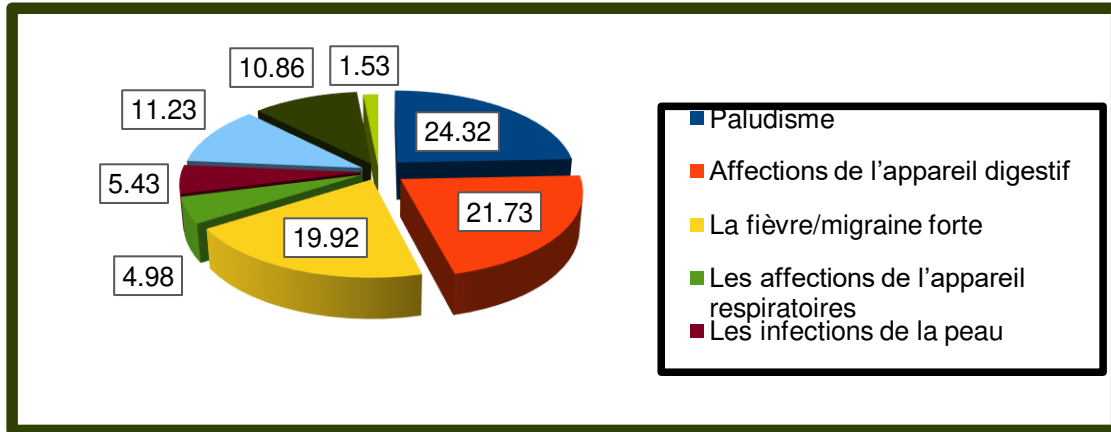
En outre, les enfants de 6 mois à 2 ans sont plus particulièrement touchés par les problèmes de santé ( $p < 0,0001$ ), ainsi que les garçons par rapport aux filles sans que la différence soit cependant significative. En général, la déclaration de problèmes de santé diminue quand l'âge de l'enfant augmente.

En revanche et de toute évidence, les questions liées au ressenti de l'état de santé ou du bien-être sont associées au fait de déclarer un problème de santé. Ainsi, les enfants qui sont déclarés en

2 Les mois de février et mars représentent les mois les plus chauds à Abidjan.

mauvaise santé ont fait plus souvent l'expérience d'épisodes morbides ( $p < 0,0001$ ). Enfin de façon paradoxale, un enfant suivi régulièrement par le corps médical pour un problème de santé chronique, un enfant qui aurait donc une santé plus fragile, a moins souvent déclaré un épisode de maladie au moment de l'enquête (21% contre 31,1%).

**Figure 8. Les maladies les plus fréquentes chez les enfants durant les périodes de forte chaleur**

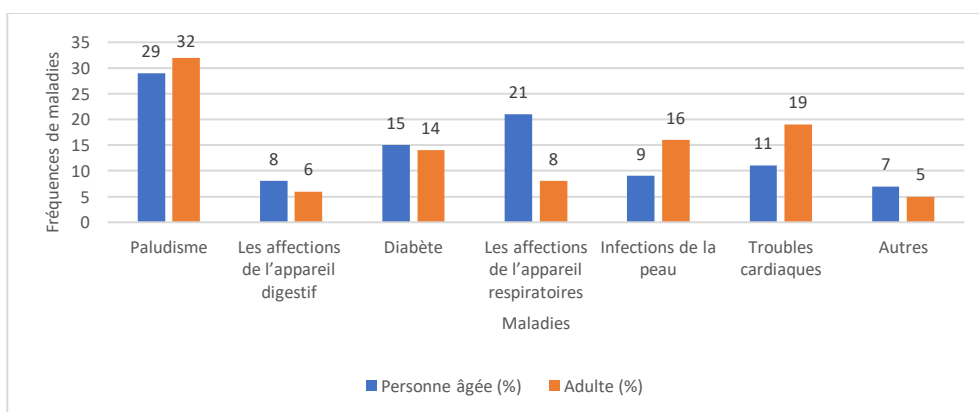


Source : Enquête de terrain, Abidjan, 2022

### *Épisodes morbides des adultes et des personnes âgées*

Durant les mois de février et mars, 32,3% des personnes âgées et 42% d'adultes ont fait l'expérience d'un problème de santé. La figure ci-dessous résume les principaux problèmes de santé déclarés par les personnes âgées et les adultes lors de notre passage. Le paludisme est le problème de santé le plus fréquent chez les adultes (32%) chez les personnes âgées (29%). Les problèmes de l'appareil digestif et respiratoire sont moins importants chez les adultes respectivement 6% et 8%, mais un peu élevé chez les personnes âgées 8% et 21% ; tandis que les déclarations de diabète, infection de la peau, et troubles cardiaques sont plus fréquentes chez les adultes (15% et 19% contre 9% et 11%). Les problèmes de santé recensés sont plus importants et diversifiés chez les adultes. Les problèmes de peaux, des yeux, la toux, le choléra, les affections de l'appareil génital et les insuffisances cardiaques ou rénales ont été plus recensés dans la catégorie « autres » des adultes. Les adultes ont manifesté plus des problèmes de santé dus à la saison de période d'intense chaleur que durant les saisons pluvieuses.

**Figure 9. Les maladies les plus fréquentes chez les personnes âgées et les adultes**



Source : Enquête de terrain, Abidjan, 2022

### *Épisodes morbides des personnes exerçant une activité à l'extérieur*

Durant les mois de février et mars, les personnes exerçant une activité à l'extérieur ont déclaré dans les périodes de forte chaleur plusieurs problèmes de santé. Le paludisme demeure la maladie la plus déclarée (31%) comme chez les autres groupes de populations étudiées. Cependant, les personnes exerçant à l'extérieur ont beaucoup souffert du diabète (14%), de forte douleur (9%) et des insuffisances cardiaques ou rénales (10%) qui sont caractéristiques des maladies causées par d'intenses périodes de chaleur. Ici, on note que les personnes travaillant à l'extérieur sont beaucoup plus vulnérables aux effets des ICU parce qu'elles ont déclaré plus de problèmes de santé en saison sèche qu'en saison des pluies.

**Tableau 4. Les maladies les plus fréquentes chez les personnes exerçant une activité à l'extérieur**

Maladies	Fréquence relative personne âgée (%)
Paludisme	31
Les affections de l'appareil digestif	8
Diabète	14
Les affections de l'appareil respiratoire	13
Infections de la peau	9
Troubles cardiaques	10
Douleurs chroniques	9
Autres ( maladies des yeux, le choléra, les affections de l'appareil génital)	6

Source : Enquête de terrain, Abidjan, 2022

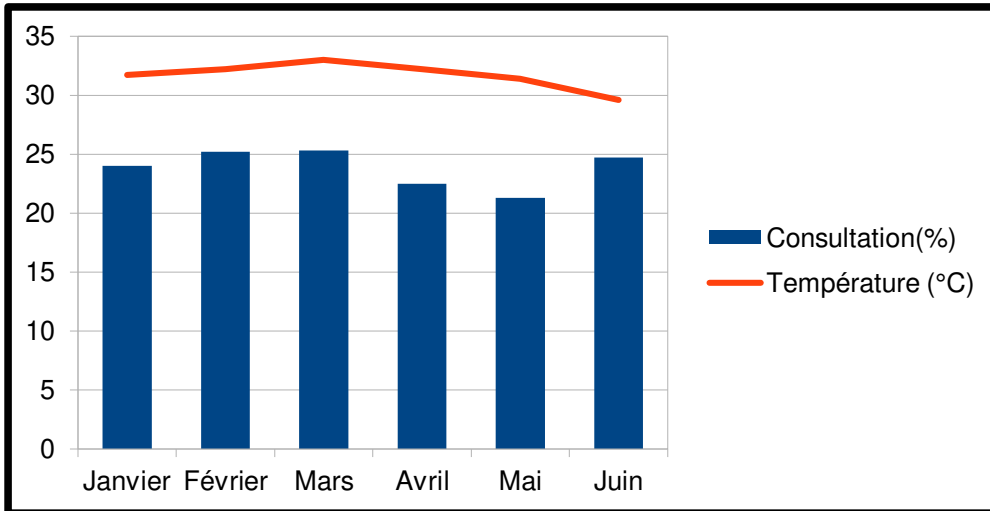
Le facteur risque aux températures de surface est porteur de sens dans l'analyse des états morbides de la population enquêtée. Les adultes des quartiers nord, ouest et centre, les espaces les plus à risques aux ICU ont déclaré plus souvent des problèmes de santé à l'opposé de ceux du sud les quartiers les moins exposés ( $p < 0,001$ ).

Ainsi, la déclaration de problèmes de santé augmente avec le niveau d'exposition aux températures de surface, mais diminue avec le faible niveau d'exposition ce qui a une influence sur la consultation pour des soins de santé.

En effet, la figure ci-dessous montre que 26% des personnes qui ont déclaré une maladie ont utilisé les services de santé. Cependant, les entretiens que nous avons effectués avec les personnes âgées, les adultes et les personnes travaillant à l'extérieur montrent la volonté qu'ils ont à vouloir prendre en charge leur maladie avant de consulter un professionnel de santé. En effet, quand bien même ils fréquenteraient les centres de santé, ils le font tardivement quand la maladie devient très grave. Cette situation peut être justifiée par la faible disponibilité des structures de santé (Figure 11).



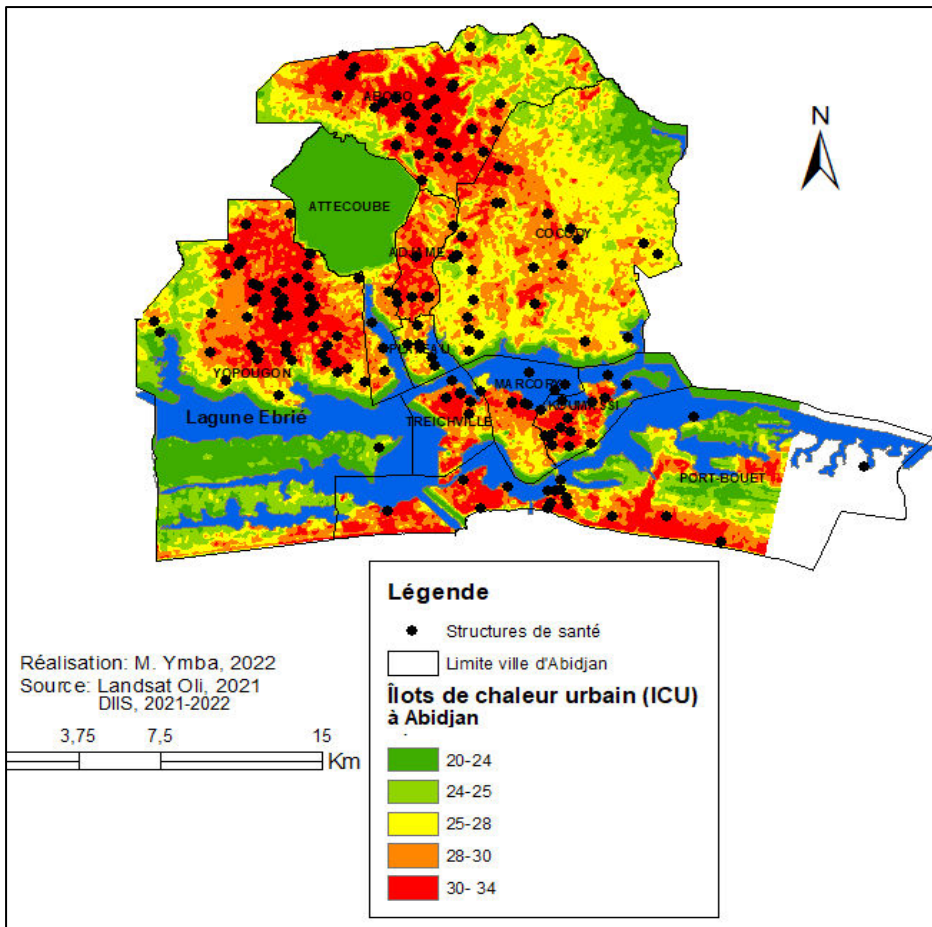
**Figure 10. Une consommation de soins fortement**



Source : Enquête de terrain, 2022

La figure 11 révèle une répartition très inégale des structures de soins de santé. De très fortes disparités spatiales et une opposition très marquée entre l'est et l'ouest et le nord et le sud. Dans les espaces à forte température de surface, on observe une faible disponibilité des structures de santé et donc un faible niveau d'accessibilité aux soins. Les pathologies déclarées étant importantes, cette situation rend très vulnérables les populations.

**Figure 11. Répartition spatiale des structures de santé**



## Discussions

Le résultat de la répartition spatiale des températures de surface montre que les températures sont élevées dans la ville d'Abidjan dans les zones de forte densité des bâtis du centre, du centre d'Abobo, la partie sud d'Adjamé, le Centre et le sud d'Attécoubé, le centre de Yopougon, les parties est et sud de Port-Bouët. Ces zones sont exposées à de forte chaleur en journée comme en soirée et sont caractérisées par une importante empreinte humaine. En revanche, il est constaté une baisse de température au niveau des espaces occupés par la végétation dans l'agglomération. Plus la végétation est importante, plus la température a tendance à baisser. Ainsi les zones de végétation importante correspondent aux endroits les plus frais (A. Mobio *et al.*, 2017). L'absence de végétation dans ces quartiers à cause de la forte densification et urbanisation rend davantage vulnérables ces espaces. Les températures fortes dans les espaces centraux des villes ne sont pas un fait nouveau. Howard en 1833 réalisa une des premières études sur le climat urbain. Il constate également, à partir de relevés quotidiens, que les températures au cœur de la ville de Londres sont plus élevées que dans les zones environnantes avec plus de végétation qui l'entourent. Cette différence de température entre les zones fortement urbanisées et avec plus de végétales caractéristiques souvent des zones rurales est appelé îlots de chaleur urbaine (ICU) ou l'îlot thermique de chaleur. L'ICU est défini lorsque la température au sol est plus élevée de 5 à 10°C en ville que dans la zone environnante (Camilloni et Barro, 1997 ; Charabi, 2001 ; Baudoin et Guay, 2005, p.1-8).

Les éléments constitutifs des centre-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. Celui-ci se caractérise comme l'écart de températures ( $\Delta T$ ) entre le centre de la ville et la campagne environnante (Oke, 1987). Son extension spatiale résulte de la combinaison de plusieurs facteurs, notamment la situation géographique de la ville, la forme de la ville (géométrie urbaine), sa structure (partitionnement entre surface minérale et végétale) et sa taille (superficie, densité et population) (Ringebach (2004).

En effet, en ville, la rugosité des surfaces urbaines joue un rôle sur l'accumulation et l'intensification de la chaleur par le biais d'un piégeage du rayonnement dans « le canyon urbain » favorisant la stagnation d'un air chaud. Une importante quantité de chaleur va être stockée dans les constructions urbaines qui sont sujettes à une inertie thermique plus forte et plus lente que les espaces où la végétation est plus importante. Comme c'est le cas dans les espaces centraux de la ville d'Abidjan fortement urbanisés et densifiés. À la tombée de la nuit, les surfaces urbaines centrales plus chaudes, qui ont accumulé de la chaleur par le jeu du piégeage du rayonnement, vont mettre davantage de temps à se refroidir (moins de flux de chaleur latente) (Najjar *et al.*, 2005).

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain qui accentue la fréquence, la durée et l'intensité des vagues de chaleur accablante à des conséquences sur la santé et le bien-être des populations interrogées (Trottier, 2008). En effet, dans la plupart des communes où nous avons réalisé les enquêtes, les périodes de forte chaleur sont très mal vécues par les enquêtés exposés aux ICU. Ce sont des moments de grandes craintes qui se justifient par une diversité de douleurs ressenties (fortes migraines, extrêmes fatigues, coup de chaleur, corps chaud, toux sèche, vertige, perte de connaissances et douleur à la poitrine). Ces signes cliniques et symptômes sont caractéristiques de l'état physiologique des patients en consultation durant les périodes de hausse de température (WHO, 2017). Plusieurs études réalisées en Europe confirment nos résultats. Ces travaux montrent que la chaleur accablante peut provoquer divers inconforts et malaises (Giguère, 2009). Les îlots de chaleur urbains peuvent être à l'origine 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 et rénales, au point de causer la mort (Besancenot, 2002 ; Luber et McGeehin, 2008). Les résultats de notre recherche ont également notifié certaines maladies dites climato-sensibles révélés par ces études et qui touchent plus les personnes vulnérables (paludisme, affections de l'appareil digestif, diabète, affection de l'appareil respiratoire, les infections de la peau, troubles cardiaques et les douleurs chroniques). Ces dernières ont été définies grâce à l'identification précise et claire des signes cliniques et symptômes cités ci-dessus. La forte prévalence de ces pathologies a conduit à une forte consultation des services de santé malgré une faible disponibilité des structures de santé et un niveau d'accessibilité aux services de santé médiocres.

Les prévisions climatiques prédisent de grandes vagues de chaleur en milieu urbain les années à venir. L'ensoleillement qui accompagne généralement les températures particulièrement élevées contribuera aussi de façon notoire à la formation de l'ozone troposphérique, un gaz nuisible à la santé humaine, dans les milieux urbains. L'ozone troposphérique peut provoquer l'irritation des yeux et des voies respiratoires, une réduction des fonctions respiratoires, une aggravation des maladies des voies respiratoires ou cardiaques, et même une mort prématurée (OMS, 2007 ; Lamothe et *al.*, 2019). En 2007, la pollution atmosphérique a été à l'origine de 1 540 décès prématurés à Montréal, au Canada (Guiguère, 2009).

Pour assurer la protection de la santé publique et en réduire la vulnérabilité, l'élaboration et le maintien d'initiative d'adaptation sont nécessaires. Ainsi, afin d'atténuer les effets néfastes du phénomène des îlots de chaleur urbain sur la santé et le bien-être, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a recommandé divers programmes de lutte aux effets de la chaleur accablante et de prévention des îlots de chaleur urbains aux agences de santé, aux intervenants concernés par le phénomène. En Côte d'Ivoire comme dans plusieurs pays d'Afrique, le phénomène des ICU reste très peu connu et étudié malgré les effets néfastes sur la santé (E. J Legrand Soumy et *al.*, 2022). Des actions doivent être réalisées pour réduire les effets néfastes des ICU sur la santé et le bien-être des populations ; en s'inspirant sur ce qui a déjà été fait ailleurs tout en l'adaptant aux réalités ivoiriennes. La surveillance de l'ICU à partir d'images satellites par le biais de l'analyse des températures de surface (Doussset *et al.*, 2010) est possible. Cela permettra d'avertir des chaleurs accablantes à travers les médias locales en mettant un accent sur les populations les plus vulnérables (les personnes âgées, les enfants et les personnes exerçant une activité à l'extérieur). L'acquisition de données probantes sur les ICU peut faciliter la mise en place de plans de mesures d'urgence spécifiques aux périodes de chaleur accablante.

Par ailleurs, il faut éduquer et former les populations sur le phénomène des ICU en les sensibilisant sur les risques sanitaires et des précautions à observer pendant les périodes de forte chaleur. Les autorités doivent pour lutter contre les ICU instaurer de nouveaux standards de construction axés sur la conservation de l'énergie. Il faudra sensibiliser les promoteurs de laisser des espaces verts (park, jardin, végétation), et de favoriser l'espacement des habitations, d'utiliser des matériaux de pavement et de toitures avec un albédo élevé, d'encourager de toitures végétales et de proposer les subventions pour l'optimisation écoénergétique des bâtiments. Cette pratique a été largement expérimentée dans plusieurs centres urbains des pays du nord et a eu des résultats très intéressants en ce qui concerne la lutte contre les ICU (Guiguère, 2009).

Pour être efficaces dans la lutte contre les ICU en Côte d'Ivoire, les autorités ne doivent pas ignorer les autres problèmes environnementaux, notamment la gestion des ordures ménagères et le renforcement de l'assainissement des eaux usées dont sont victimes les différents quartiers étudiés (M. Ymba, 2016). Notre étude ne l'a pas mis en avant, car ce n'était pas l'objectif ; mais sur le terrain, plusieurs faits décrivent un environnement malsain comme l'ont souligné plusieurs études. Nous avons émis cette hypothèse, car la plupart des pathologies énumérées par les populations ;

certaines telles que le paludisme, la diarrhée peuvent être la combinaison de plusieurs facteurs d'un environnement malsain.

Dans les études réalisées sur les ICU, les facteurs liés à la gestion de l'environnement n'a pas été pris en compte. Les défis de la gestion de l'environnement relative à l'hygiène ont été pour la plupart résolu dans les pays du nord ou la majorité des études ont été réalisées. Nous concernant, c'est un facteur qui ne peut pas être négligé et qui doit intégrer les plans de lutte contre les ICU à Abidjan. Des analyses statistiques plus poussées telle la régression logistique pour comprendre la part de chaque facteur et par la suite le facteur le plus déterminant sur la santé des populations sont nécessaires. Ces résultats rendraient plus efficaces les mesures de lutte contre les ICU. Cependant, nous pensons que nos résultats sont pertinents et permettent la prise de conscience du phénomène des ICU et ses conséquences sur la santé. Cette étude a également produit des données probantes qui peuvent constituer les premières actions pour aider les populations victimes des ICU.

## Conclusion

L'analyse des températures de surface a révélé des zones de forte concentration de chaleur dans la ville d'Abidjan caractéristiques des îlots de chaleur urbains. Les espaces centraux, noyau de la ville reste les zones les plus affectées par le phénomène des ICU ainsi que le centre d'Abobo, la partie sud d'Adjamé, le Centre et le sud d'Attécoubé, le centre de Yopougon, les parties est et sud de Port-Bouët. La forte urbanisation de ces zones les rend plus vulnérables à la formation des ICU que les espaces périphériques où la végétation est beaucoup plus présente. Ce phénomène n'est pas sans conséquence sur la santé des populations. La superposition des images satellites et les données d'enquêtes épidémiologiques auprès des personnes âgées, des enfants de moins de cinq ans et des personnes travaillant en extérieur, a montré une influence néfaste des ICU sur la santé des populations. Les personnes interrogées se sont plaintes de plusieurs symptômes ou signes cliniques tels que les fortes migraines, les extrêmes fatigues, les coups de chaleur, les corps chauds, les toux sèches, les vertiges, les pertes de connaissances et les douleurs à la poitrine qui sont caractéristiques de l'état physiologique des patients en consultation durant les périodes de hausse température. Les populations vulnérables interrogées ont déclaré plusieurs maladies découlant de ces symptômes à savoir : paludisme, affections de l'appareil digestif, diabète, affection de l'appareil respiratoire, les infections de la peau, les troubles cardiaques et les douleurs chroniques. Les effets néfastes des ICU sont réels sur la santé des populations particulièrement les plus vulnérables. Ainsi, la forte prévalence de ces pathologies a conduit à une forte consultation des services de santé malgré une faible disponibilité des structures de santé.

Même si le phénomène est très peu connu, les prévisions climatiques prédisent de grandes vagues de chaleur en milieu urbain les années à venir ; c'est pourquoi des actions doivent être mises en place par les autorités ivoiriennes pour sensibiliser les populations sur les risques sanitaires causés par les ICU et les mesures à mettre en place pour les aider à se protéger dans les périodes de forte chaleur urbaine, afin d'atténuer ses effets sur leur santé.

## Remerciements

Cette recherche a été conduite avec le soutien de la Fondation Croix-Rouge française, une fondation reconnue d'utilité publique dédiée au soutien à la recherche sur l'action humanitaire et sociale, en attribuant des bourses et prix de recherche. La Fondation porte la volonté de la Croix-

Rouge française de promouvoir la connaissance scientifique et l'innovation sociale pour faire avancer l'action au service des plus vulnérables, en France et dans le monde.

## Bibliographies

---

Aida M., Gotoh K., 1982, Urban albedo as a function of the urban structure – a two-dimensional numerical simulation (Part II), *Boundary-Layer Meteorology*, 23, 415-424.

Ariane S., Malika M. et Gérard B., 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, Besançon, 23-25 février 2011 <http://thema.univ-fcomte.fr/> p.9, 2011.

Ariane S., Malika M. et Gérard B., 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 Besançon, 2011, 1-9.

Beaudouin, Y et F Guay. 2005. « Portrait des îlots de chaleur à Montréal ». *Franc Vert*, Volume. 4, p.1-8.

Besancenot, J.-P. 2004. Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines. *Environnement, Risques et Santé*, vol 1, no 4, p.229-240.

Cadot E., Spira A., 2006, canicule et surmortalité à Paris en août 2003, le poids des facteurs socio-économiques, *Espace, Populations et Sociétés*, 2-3, 239-249.

Camilloni, I et V Barro. 1997. « On the urban heat island effect dependence on temperature trends ». *Climatic Change*, n°37, p. 665-681.

Charabi, Y. 2001. « L'îlot de chaleur urbain de la métropole lilloise : mesures et spatialisation ». Mémoire de doctorat. Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 236 p.

Damiano U., Nino K. (2015). Le changement climatique concerne aussi la santé. *Bull Med Suisses*.

96(3132). DOI: <https://doi.org/10.4414/bms.2015.03852>

Dousset B., Gourmelon F., Iaïdi K., Zeghnoun A., Giraudet E., Bretin P., Mauri E., Vandentorrens., 2010, satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area, *International Journal of Climatology*, 31, 313-323.

Giguère, M. 2009. « Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains » Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique du Québec. Juillet 2009. 95 p.

Gosselin P., 2013, Description de la méthode suivie pour identifier et localiser les îlots de fraîcheur et de chaleur, Rapport technique, Institut national de santé publique du Québec, 1-49

Gouataine S.R et Ymba M., 2019. Contraintes hydro-pluviométriques et problème d'approvisionnement en eau à Bongor, Tchad. *Afrique SCIENCE*. 15:5, pp.209 – 218

Gouataine S.R et Ymba M., 2019, Variabilité climatique et émergence du paludisme à Bongor (Tchad). In *Revue Espace Territoire Population et Santé*. GRETSSA. Vol 1, N° 2, pp. 143- 156, URL: <https://www.retssa-ci.com/index.php?page=detail&k=40>.

Grimmond C.S.B., Potter S.K., Zutter H.N., Souch C., 2001, Rapid methods to estimate sky-View Factors applied to urban areas, *International Journal of Climatology*, 21, 903-913.

Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat. 2020. Changement Climatique: Rapport de synthèse – Résumé à l'intention des décideurs. Accessible à [www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/11/SRCCL-Full-Report-Compiled-191128.pdf](http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/11/SRCCL-Full-Report-Compiled-191128.pdf).

Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat. 2014. Changement Climatique : Rapport de synthèse – Résumé à l'intention des décideurs. Accessible à [www.ipcc.ch/pub/un/syrfrench/spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pub/un/syrfrench/spm.pdf).

Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat., 2004, Changement Climatique 2001 : Rapport de synthèse – Résumé à l'intention des décideurs. Accessible le 12 Août 2019 à [www.ipcc.ch/pub/un/syrfrench/spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pub/un/syrfrench/spm.pdf).

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. DO - 10.14745/ccdr.v45i05a01f.

Howard L. 1833. *Climate of London*. 3ème éditions. « Goldsmiths'-Kress library of economic literature ». Harvey et Darton, London (Angleterre), p. 284.

Lachance G, Y Baudouin et F Guay. 2006. « Études des îlots de chaleur Montréalais dans une perspective de sante publique ». Institut national de sante publique du Québec, Montréal, Canada. In *BISE Bulletin d'Information en Sante Environnementale*, vol.17, n°3. mai-juin 2006. p. 1-5.

Lamothe, F., Roy, M., Racine-Hamel, S. É., Edger, M. A., Lefebvre, L., Njosing, B., ... & Drouin, M. 2019. Enquête épidémiologique: vague de chaleur à l'été 2018 à Montréal. *Montreal, QC: Gouvernement de Québec*.

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), *Espace Géographique et Société Marocaine*, 1(58). doi:<https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/EGSM/31137>

Luber, G., McGeehin, M. 2008, Climate change and extreme heat events, *American Journal of Preventive Medicine*, Vol. 35, pp. 429-435.

Mobio A. Brice H., Dré K. F., Kouamé A. K. D., Djagoua M. E. V., Affian K., 2017, Contribution De La Télédétection A L'étude De La Distribution Spatiale De La Température En Fonction Du Relief Et Du Mode D'occupation Du Sol : Cas De La Ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire), *Journal of Engineering Science Invention*, Volume 6 Issue 12, pp. 48-55.

Najjar G., Kastendeuch P., Ringenbach N., Colin J., Stoll M.P., Nerry F., Bernard J., De Hatten A., Luhahe R., Viville D., 2005, Bilans radiatifs et d'énergie dans un canyon urbain, *Annales de l'Association Internationale de Climatologie*, 2, 41-54.

Oke T.R., 1987, *Boundary layer climates*, Methuen, New York, 435 p.

OMS. 2017. Normes de notification relatives au Programme pour la santé sexuelle, reproductive, de la mère, du nouveau-né, de l'enfant et de l'adolescent, Organisation Mondiale de la Santé (OMS/MCA/17.11). Genève. Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

OMS. 2007. Climat et Santé. Accessible le 20 août 2019 à [www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/fr/](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/fr/) Santé Canada. (2004a). Qualité de l'air et ses effets sur la santé. Accessible le 24 août 2019 à [www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/qualite air/effets sante.htm](http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/qualite_air/effets_sante.htm).

Ringenbach N., 2004, Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg, thèse de doctorat, Université strasbourg 1, strasbourg

Société d'exploitation et de développement aéroportuaire, aéronautique et météorologue (SODEXAM), 2021, Rapport De Synthèse Sur Le Climat en Côte d'Ivoire, 1991-2020, Une Décennie de forte chaleur, République de Côte d'Ivoire, p.5-7

Société d'exploitation et de développement aéroportuaire, aéronautique et météorologue (SODEXAM), 2015: Déclaration du Directeur de la SODEXAM sur l'état du climat en Afrique et la Côte d'Ivoire, 32 pages.  
Thibaud J.-P. and Thomas, R. 2004, « L'ambiance comme expression de la vie urbaine », *Cosmopolitiques*, n°7, p. 102-113.

Trottier A., 2008, *Toitures végétales : implantation de toits verts en milieu institutionnel. Étude de cas : UQAM*, 80 p.

United Nations. 2019. <https://www.un.org/fr/global-issues/climate-change>.

Voogt, J. A., & Oke, T. R. 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), 370-384.

WHO (World Health Organization), 2017, *Heat-Waves: Risks and Responses*, Health and Global Environmental Change Series, No. 2, 124 p.

Ymba M., 2016, « Analyse de l'adéquation entre offre de soins primaires et besoins de soins à Abidjan », RGO, N°5, Vol.1, pp.1-27.