Cartographie des îlots de chaleur et sensibilité des populations aux risques thermiques sanitaires dans la région de Dakar

Mapping of heat islands and sensitivity to thermal health risks in the Dakar region

Daniel GOMIS[1*] ; Abdou Khadre Dieylany Yatma KHOLLE[2] ; Ibrahima NDIAYE[1] ; Agnès Daba THIAW-BENGA[1] et Aminata NDIAYE[3]

Résumé

Dans le contexte actuel de changement climatique, les hausses de températures moyennes ainsi que la fréquence des périodes de fortes canicules s'accentuent dans le monde. Cette situation qui mine la santé physique de millions de personnes dans le monde est accentuée dans les villes par l'effet d'îlots de chaleur urbains. Pour connaître les effets d'un tel phénomène et aider à la prise de décision, cette étude s'est fixée pour objectif de cartographier les zones d'îlots de chaleur urbains dans la région de Dakar afin d'y recueillir les niveaux de sensibilité des citadins notamment les plus vulnérables aux risques thermiques. A cet effet, la méthodologie utilisée a reposé sur l'utilisation de la bande thermique de Landsat 9 pour calculer la température de surface du sol dans le courant de la période pré-hivernale de mai 2024. A partir de ces valeurs de température, l'indice de confort thermique a été déduit pour mieux distinguer les zones d'inconfort. Sur ces dernières, des enquêtes ont été menées auprès des travailleurs à extérieurs des habitats, en pleine air, pour recueillir leur sensibilité aux vagues de chaleur. Les résultats révèlent l'existence de plusieurs zones à risque d'îlots de chaleur urbains. Les corrélations effectuées avec les indices de NDVI, NDBI et NDWI révèlent une augmentation de la température de surface suivant l'importance de la densité du Bâti et de leur baisse suivant l'amélioration de la qualité de la végétation et des plans d'eau. Les populations exerçant des travaux à l'extérieur dans les zones d'inconfort thermique ont déclaré plusieurs maladies lors des vagues de chaleur, allant des douleurs ressenties aux maladies vasculaire cérébrale, respiratoire et endocrinienne ainsi que des troubles d'ordre psychologique. Au vu de ces résultats, cette étude pourrait servir de base d'information à l'identification des zones prioritaires d'intervention pour une amélioration de la qualité de vie des citadins et une réduction des effets potentiels du changement climatique.

Mots clés : Dakar, urbanisation, îlots de chaleur, sensibilité thermique et confort thermique

Abstract

In the current context of climate change, average temperature increases and the frequency of intense heat waves are intensifying worldwide. This situation, which undermines the physical health of millions of people globally, is exacerbated in cities by the urban heat island effect. To understand the effects of this phenomenon and to aid in decision-making, this study aimed to map urban heat island zones in the Dakar region in order to gather data on the sensitivity levels of city dwellers, particularly those most vulnerable to heat-related risks. To this end, the methodology used relied on the Landsat 9 thermal band to calculate ground surface temperature during the pre-winter period of May 2024. From these temperature values, the thermal comfort index was derived to better identify areas of discomfort. In these areas, surveys were conducted among outdoor workers to assess their sensitivity to heat waves. The results reveal the existence of several zones at risk of urban heat islands. Correlations with NDVI, NDBI, and NDWI indices show an increase in surface temperature with increasing building density and a decrease with improved vegetation and water quality. People working outdoors in these thermally uncomfortable areas reported various illnesses during heat waves, ranging from pain to cerebrovascular, respiratory, and endocrine disorders, as well as psychological problems. Based on these findings, this study could serve as a basis for identifying priority intervention areas to improve the quality of life for urban dwellers and mitigate the potential effects of climate change.

Keywords: Dakar, urbanization, heat islands, thermal sensitivity and thermal comfort

Introduction

Depuis la révolution industrielle, la terre fait face à un réchauffement sans équivoque de sa température moyenne en raison des émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GIEC, 2021, p. 4). Plusieurs indicateurs climatiques tels que : des températures plus élevées de 1,09 °C [0,95–1,20 °C] sur la période 2011–2020 par rapport à la période 1850–1900 ou encore chacune des quatre dernières décennies a été successivement plus chaude que toute décennie précédente depuis 1850, sont autant de faits qui témoignent de l'existence d'un climat de plus en plus chaud (GIEC,2021, p. 5). Selon les scénarios les plus pessimistes ont peut s'attendre à un réchauffement global de la terre pouvant aller jusqu'à plus de 4,4° C à la fin de ce siècle (BENY et *al*., 2021, p. 6). Ces changements climatiques devraient accroître l'intensité et la fréquence des extrêmes climatiques telles que les vagues de chaleur dont la probabilité d'occurrence est déjà devenue au cours des deux dernières décennies entre 10 et 100 fois plus élevée qu'il y a un siècle dans presque toutes les régions du monde (ECKSTEIN et *al*., 2021 p. 2).

Du fait qu'elles renferment plus de la moitié de la population mondiale, avec des projections portant ce nombre au 2/3 de la population totale d'ici 2050, les villes, demeurent un environnement très sensible à ces réchauffements climatiques (UNITED NATIONS, 2018, p. 2). En plus, ces hausses de température sont amplifiées dans les villes par les modifications locales de leur climat qui se manifestant par l'apparition d'îlots de chaleur (M. COLOMBERT, 2008, p. 32). Les îlots de chaleur urbain sont des secteurs urbanisés caractérisés par des températures au sol plus élevées de 5 à 10°C que l'environnement immédiat (M. YMBA, 2022, p. 3). Ils résultent de la combinaison de plusieurs facteurs dont principalement : du remplacement en milieu urbain des sols nue et de la végétation par des surfaces imperméables qui s'échauffe facilement, de l'établissement des structures urbaines qui entravent les échanges de chaleur entre le sol et l'air et enfin des émissions de chaleur par les activités humaines (K. LAAIDI, 2003, p. 4). Les îlots de chaleur aggravent donc les canicules par une exposition de la population urbaine à des températures plus élevées avec des écarts qui peuvent être considérables d'un quartier à un autre (K. LAAIDI, 2012, p. 2). Plusieurs auteurs ont ainsi démontré que les îlots de chaleur ont des impacts néfastes et parfois mortels sur la santé et le confort des habitants (M. Pia et *al*., 2020). On note ici l'exemple de la canicule de l'été 2003 survenue en Europe qui a causé bon nombre de décès (H. GAALOUL, 2021, p. 7). A cela de s'ajoute le fait que les îlots de chaleur contribuent à une augmentation des consommations en énergie et en eau induit par la hausse des demandes

en climatisation, en rafraichissement et en alimentation des piscines entre autres (M. GUIGUERE, 2009, p. 1).

Dans les pays en développement, ce sujet est encore peu étudié, bien qu'ils ne soient pas épargnés par ce phénomène (IBIASSI, 2018, p.91). En Afrique, le GIEC estime que la hausse des températures accroîtra le nombre et la gravité des vagues de chaleur (GIEC, 2018, p. 32). Au Sénégal, dans une ville comme Dakar, cette situation risque d'être préoccupante. Elle concentre, en effet, sur un territoire 550 km^2, par rapport à l'ensemble du pays : 90% de la population urbaine, 95% des entreprises industrielles et commerciales, 50% des infrastructures et services du pays, 87 % des emplois formels et 75 % des transports maritimes de marchandises en provenance ou à destination de Dakar (ANSD, 2023, p. 26, 39, 93). Aussi, avec sa forte croissance démographique qui s'explique par un exode rural soutenu et un taux d'accroissement naturel de 2,7%, la région connaît une urbanisation dite galopante (ANSD, 2023 p. 18). Cela a engendré un accaparement des espaces jadis non aedificandi comme les réceptacles d'eau pluviale et les espaces verts.

Dans ce contexte, il est devenu primordiale pour la ville de Dakar, de trouver des mécanismes d'anticipation pouvant la permettre de faire face aux éventuels événements de températures extrêmement élevées. Ainsi, pour mieux cerner cette problématique dans la région de Dakar et aider à la prise de décision, cette étude s'est fixée pour objectif de procéder à une cartographie de la répartition spatiale des îlots de chaleur et recueillir les perceptions des populations sur les facteurs de ce stress thermique et de leur niveau de sensibilité aux vagues de chaleur.

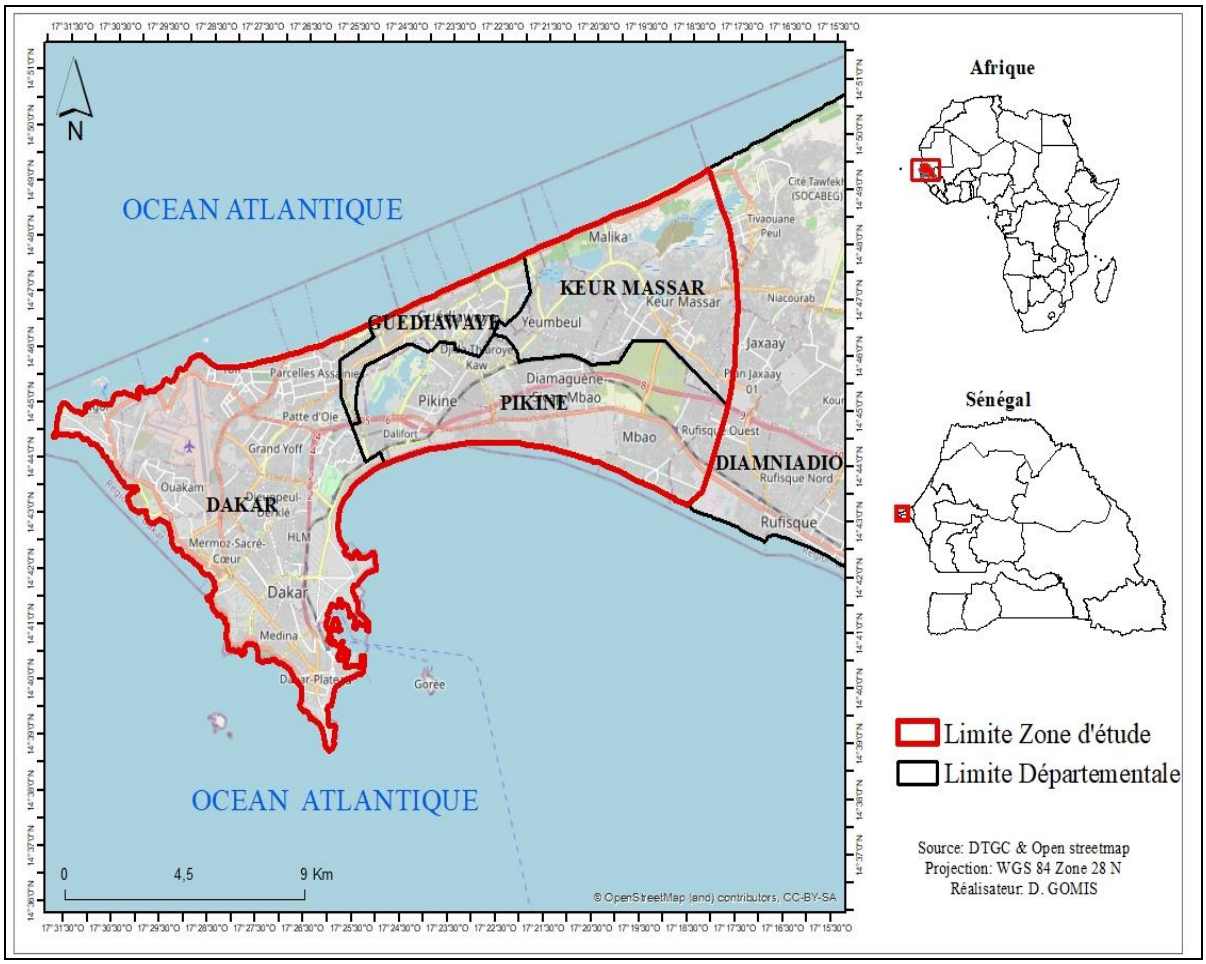
1. Matériels et méthodes

1.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée dans la région de Dakar, plus précisément dans les départements de : Dakar, Pikine, Guédiawaye et Keur Massar, entre les latitudes 14° 38 – 14° 48 N et les longitudes 17° 17 – 17°31 W (Figure 1). La localité de par sa position géographique, de presqu'île du Cap-Vert constitue la région la plus occidentale de l'Afrique continentale.

Comparativement aux autres régions du Sénégal, elle renferme la plus petite superficie (550 km^2) mais, abrite la plus grande densité de population du pays (6 786 hbts/km^2) et regroupe le quart de la population nationale, justifiant ainsi sa forte urbanisation (ANSD, 2019). Le climat est de type sahélien côtier (P. SAGNA et M. LEROUX, 2007, p. 69).

Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude



Selon les données de l'Agence Nationale d'Aviation Civil et Météorologique (ANACIM), la pluviométrie moyenne annuelle est de 400 mm pour la série de 1970-2020. Quant à la température moyenne annuelle, elle varie entre le minima de 22°C et le maxima de 28°C pour la série de 1991-2020.

1.2. Méthode de collecte de données

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont de deux types : celles obtenues par le biais de la télédétection et celles recueillies par des enquêtes de terrain

1.2.1. Les données issues de la télédétection et leur traitement

L'image Landsat des capteurs *Operational Land Imager/ Thermal InfraRed Sensor* (OLI/TIRS) de la scène 206/50, couvrant la zone d'étude a été utilisées pour calculer la température de surface ainsi que les indices spectraux (NDVI, NDBI et NDWI). Elle a été acquise en période sèche, dans le courant de la période pré-hivernale du 23 mai 2024, à partir de la plateforme de l'USGS (United States Geological Survey) de l'agence spatiale américaine (NASA). Le choix de l'imagerie Landsat se justifie par : sa couverture de la zone

d'étude, sa disponibilité et aussi parce qu'elle permet d'estimer la température de surface avec des mesures de radiance par un seul canal, dit la méthode du canal unique.

1.2.1.1. Détermination des températures de surface

La zone d'étude a été préalablement extraite des différentes bandes par le biais de l'outil « *extracte by mask* » de « *Arc toolbox* » du logiciel d'ArcGIS. Du fait que la bande thermique 10 du niveau 2 de Landsat 8-9 fournit un raster déjà exprimé en température de surface, l'extraction des valeurs des pixels a d'abord consisté à les convertir en valeurs de température apparente (Kelvin) dans « *Map algebral* » de Arcgis. Cette conversion a été faite suivant la formule de l'équation 1 indiquée dans la documentation officielle des produits de la collection 2 du niveau 2 de Landsat 8-9 (P. PASSY, 2024, p. 12).

$$TS = pixel \times -0.00341802 + 149 \qquad \text{(Equation 1)}$$

La formule l'équation 2 a été ensuite appliquée pour obtenir un raster des températures de surface exprimé en degrés Celsius.

$$TS = pixel \times -0.00341802 + 149 - 272.15 \qquad \text{(Equation 2)}$$

A partir des résultats obtenus de la température de surface, les variations du confort thermique dans la zone d'étude ont été déterminées par l'utilisation de l'Indice de Variance du Champ Thermique Urbain (IVCTU). Cet indice permet d'évaluer l'impact des îlots de chaleur urbains sur la qualité de vie des citadins (N. ULLAH et *al*., 2022, p. 5). Il a été apprécié pour une catégorisation des résultats obtenus suivant une ordre hiérarchisée en zone : Très fort, modérément fort, fort, normal, faible, modérément faible, très faible. Il a été calculé selon l'équation ci-dessous :

$$\text{IVCTU} = (\text{TSS} - \text{Tm}) / (\text{Tm}) \qquad \text{(Equation 3)}$$

Où, TSS = température de la surface au sol ; Tm = TSS moyenne de la zone.

1.2.2. Les calculs des indices

Dans l'hypothèse de l'existence d'une relation entre la température de surface et les éléments de l'occupation du sol, par l'application de tests de corrélation, plusieurs indices ont été calculé dans le logiciel d'ArcGIS par l'outil « *Map algebral* ». Il s'agit de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), de l'indice du bâti par différence normalisée (NDBI) et de l'indice de l'eau par différence normalisée normal (NDWI).

Le NDVI permet de montrer l'importance et la qualité de la végétation. Il a été déterminé à partir des canaux du rouge (R) et du proche infrarouge (NIR) par l'application de l'équation suivante : NDVI= (NIR - R) / (NIR + R). (Equation 4)

Concernant le NDBI, il met en évidence quant à lui les zones bâties. Il est calculé par l'utilisation des canaux NIR et SWIR suivant la formule ci-dessous :

NDBI = (SWIR – NIR) / (SWIR + NIR) (Equation 5)

SWIR : valeurs de pixel du canal d'onde courte infrarouge ; NIR : valeur de pixel du canal proche infrarouge.

Enfin, pour le NDWI, il est utilisé pour détecter les bassins d'eaux ouvertes sur l'image satellitaire : le corps hydrique se distingue du sol et de la végétation. Il est calculé sur la base de la combinaison des canaux du vert visible (GREEN) et du proche infrarouge (NIR) avec la formule suivante : NDWI = (Green – NIR) / (Green + NIR).

1.2.2.1. Les données collectées par les enquêtes de terrain

Afin de comprendre les effets des périodes de canicules sur la santé des populations dans les zones d'inconfort thermique et de recueillir leur compréhension sur les facteurs de la surchauffe urbaine, des enquêtes ont été menées dans les espaces urbains ayant un confort thermique modérément faible et/ou très faible. Les personnes travaillant à l'extérieur, pour la plupart le long des routes, ont été les principales cibles de l'enquête, car étant les plus exposées aux risques thermiques. Partant du constat, du manque de données statistiques sur ces travailleurs à l'extérieur, les enquêtes ont été menées au hasard sans base de sondage, suivant les acceptations des enquêtés. Il s'agissait ici de se renseigner auprès de ces personnes à propos des incidents des périodes de canicules sur leur santé mais, aussi, de recueillir leur perception sur les facteurs qui contribuent à la surchauffe urbaine dans leurs lieux respectifs. Un total de 250 personnes a été enquêté. Les caractéristiques des répondants ont été consignées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractérisation des répondants

Identification sur les répondants	Valeur
Nombre total de personnes enquêtées	250
Sites enquêtés	Mbeubeuss (9%) ; Yeumbeul (29 %), Thiaroye Gare (3%), Dalifort (8%) ; Yoff (11%) ; Grand yoff (4%) ; Mbao (10%) et poste Thiaroye (10%)
Genres (%)	Hommes (59 %) ; (Femmes (41 %)
Catégories d'âge (%)	19 à 35 (24 %) ; 36 à 55 (48%) ; 56 à 74 (28 %)
Niveaux d'instruction (%)	Analphabète (71 %) ; Non formel (7 %) ; Elémentaire (47 %) ; Moyen secondaire (5 %) ; Secondaire (5 %) ; Supérieur (3 %)
Activités (%)	Vendeurs (fruits/légumes/Déjeuner/Poisson/ habits et produits phytosanitaire) (28 %); Commerçant (26 %); Mécanicien (11 %); Chauffeur (11 %); Retraité (5 %); Berger (3 %); Vigile (3 %); Menuisier (3 %); Restaurateur (3 %); Fleuriste (1,3 %); Livreur (1,3 %); Tailleur (1,3 %); Chômeur (1 %); Coiffeuse (1 %); Electrotechnicien (1 %); Formateur auto-école (1 %); Entrepreneur (1 %); Laveur de voiture (1 %); Militaire (1 %); Plombier (1 %) Electricien (1 %) et Tôlier (1 %)

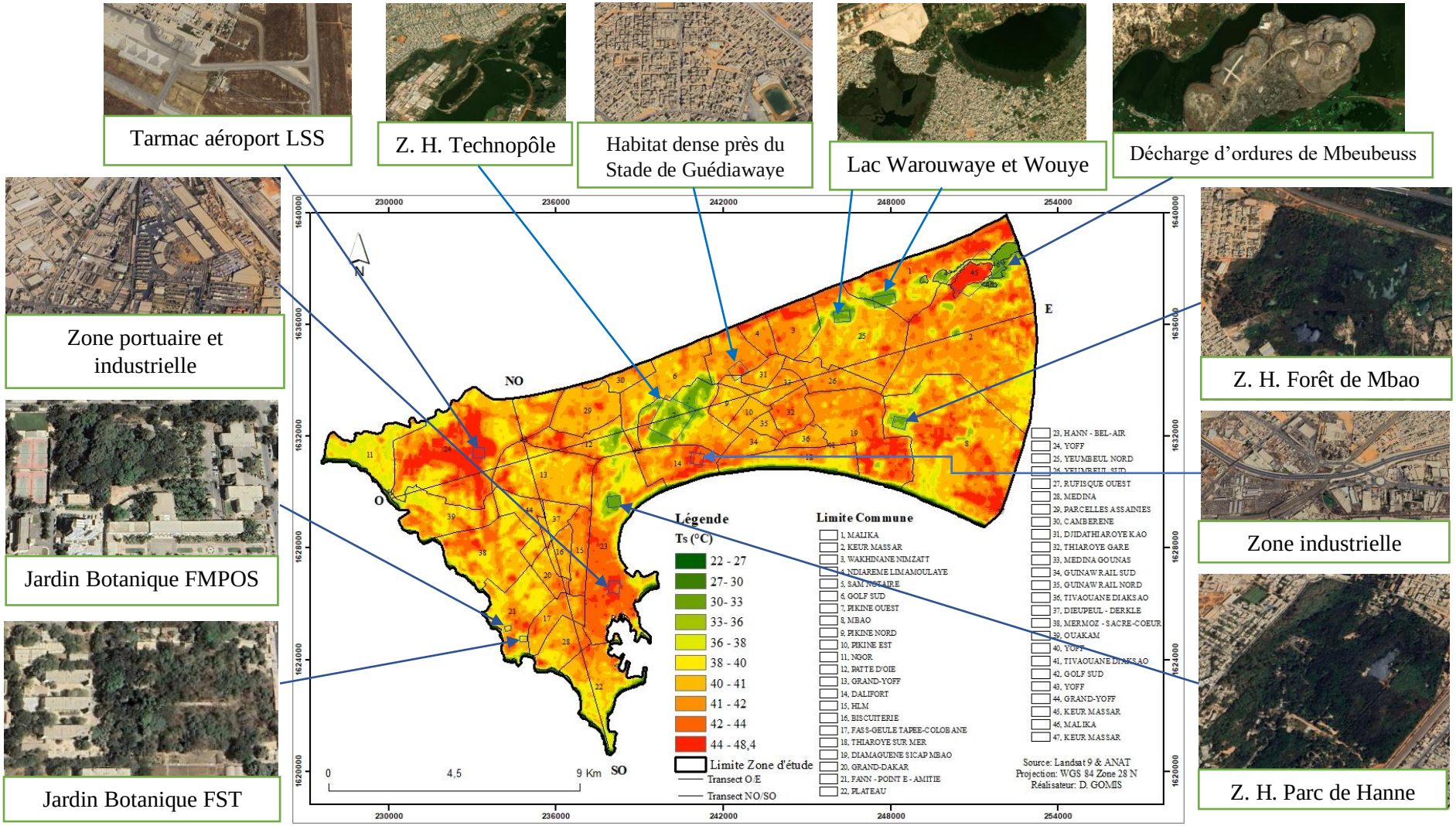
Source : Données d'enquête de terrain, 2024

2. Résultats

2.1. Répartition des îlots de chaleur dans la zone d'étude de Dakar

La répartition des températures de surface de la zone d'étude en mai 2023 (figure 2) indique des températures allant de 22°C à 48,4°C avec une dominance de la fourchette 39-40°C. Les températures de surface les plus élevées dans la zone correspondant aux îlots de chaleur sont situées entre 42°C et 48,4°C. Elles sont localisées dans le tarmac de l'aéroport, dans les zones industrielles et portuaires, le long de certaines routes, sur les stades à gazon synthétique et enfin au niveau de la décharge de Mbeubeuss. Les températures moyennes comprise entre 38°C et 40°C sont enregistrées pratiquement sur une bonne partie de la zone d'étude englobant l'essentiel des bâtis. Tandis que les températures les plus faibles (22 à 36°C) correspondant aux îlots de fraîcheur sont observées sur la corniche nord-ouest de la zone d'étude, sur les zones humides du Technopôle, du parc de Hanne, de la forêt de Mbao et des lacs Wouye, Warouwaye et Mbeubeuss et enfin sur les espaces végétalisés comme les jardins botaniques de la Faculté des Sciences et Techniques et celle de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie.

Figure 2 Répartition des températures de surface

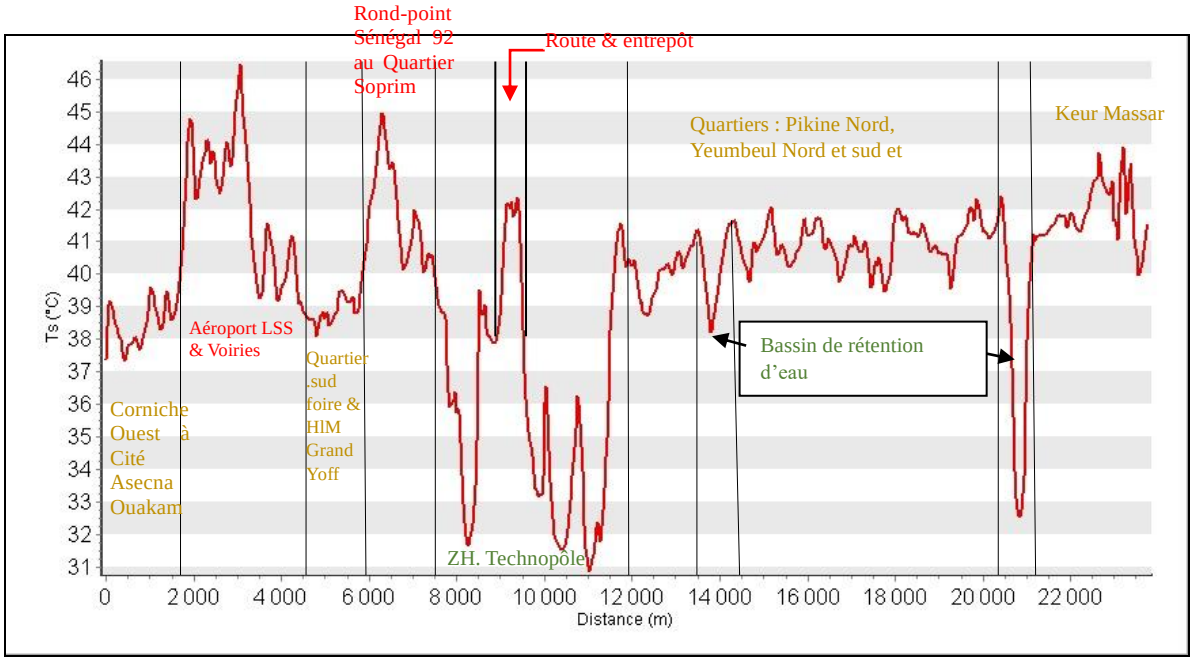


ZH : Zone Humide ; LSS : Léopold Sédar Senghor ; FMPOS : Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie ; FST : Faculté des Sciences et Techniques

ISSN 2707-5028

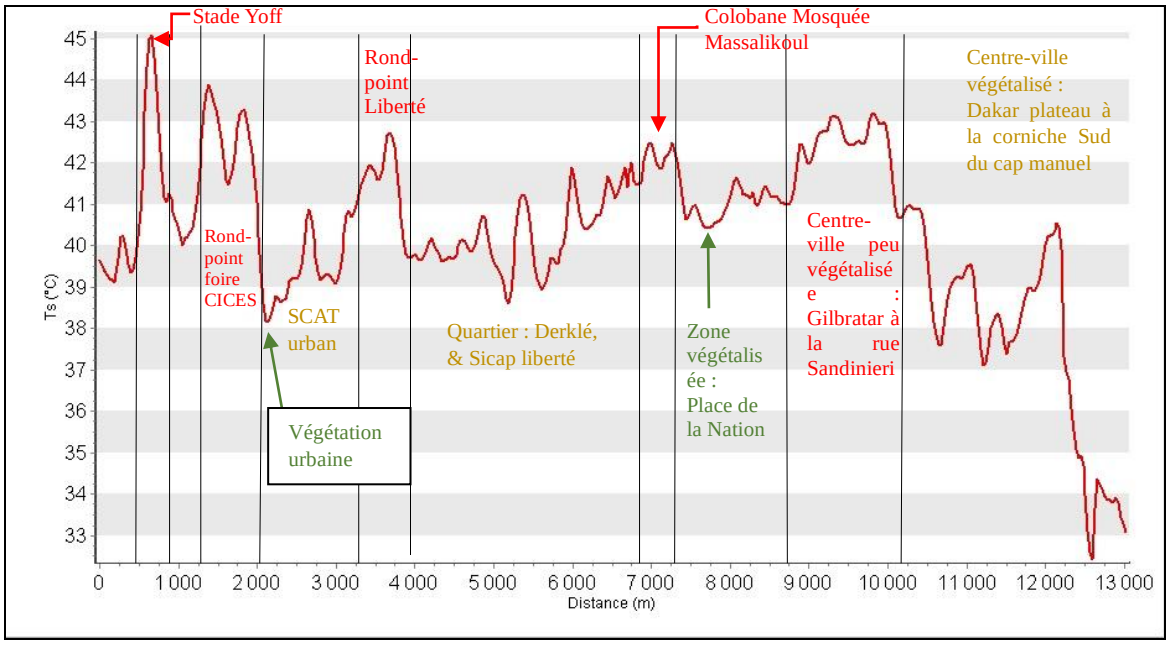
Les deux transects de température illustrés dans les figures 3 et 4 mettent en évidence les ICUs au niveau de la zone de l'aéroport Léopold Sédar Senghor, sur certaines routes, rond-poinst et entrepôt, au niveau de certains stades et enfin en zone de centre urbain peu végétalisé et dans les zones d'habitat dense de la banlieue. Cependant, les températures deviennent modérées dans les zones d'habitats moins denses et chutent dans les zones humides, les zones végétalisées, et au long des espaces aérés de la corniche au sud-ouest.

Figure 3 : Profil thermique du transect l'Ouest à l'Est (O à E)



Source : données de la Figure 2

Figure 4 : Profil thermique du transect Nord-ouest au Sud-ouest (NO au SO)



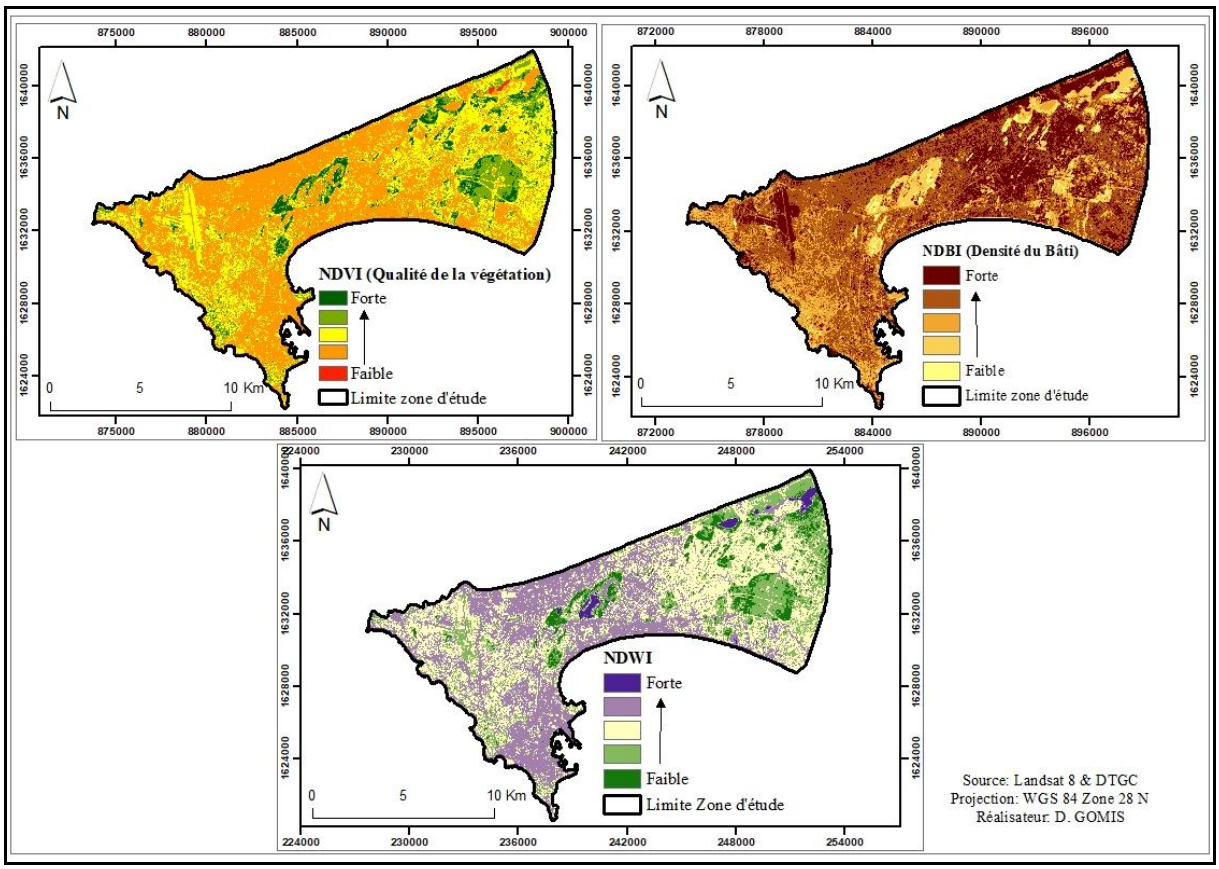
Source : données de la Figure 2

2.2. L'influence de la végétation, de l'eau et de l'urbanisme sur les températures de surface

2.2.1. Cartographie du NDVI, du NDWI et du NDBI

L'analyse des déterminants de la répartition des températures de surface (Ts) nous a amené a effectué les cartographies des zones de végétation et d'eau ainsi que de la répartition des différentes densités du bâti à travers les indices de NDVI, NDBI et de NDWI (Figure 3).

Figure 3 : Cartographie de la qualité de la végétation et de la densité du Bâti



L'observation des cartes ci-dessus traduit la présence de végétation, indiquée sur le NDVI par les couleurs en vert foncée et vert claire. Partant de ce constat, les zones de végétation se situent, principalement dans la zone d'étude, au niveau des zones humides dans le centre (Technopôle et parc de Hanne) et Nord Est (lac Wouye, lac Warouwaye, dans les petits bassins de rétention d'eau éparpillés à l'Est) et aussi dans la forêt classée de Mbao, au sud-est. A cela s'ajoute la présence de végétation, de manière éparpillée et faiblement représentée à l'ouest. La présence d'eau illustrée par la couleur bleu foncé apparait plus clairement dans les zones humides du Technopôle et dans les lacs Wouye, Warouwaye et Mbeubeuss.

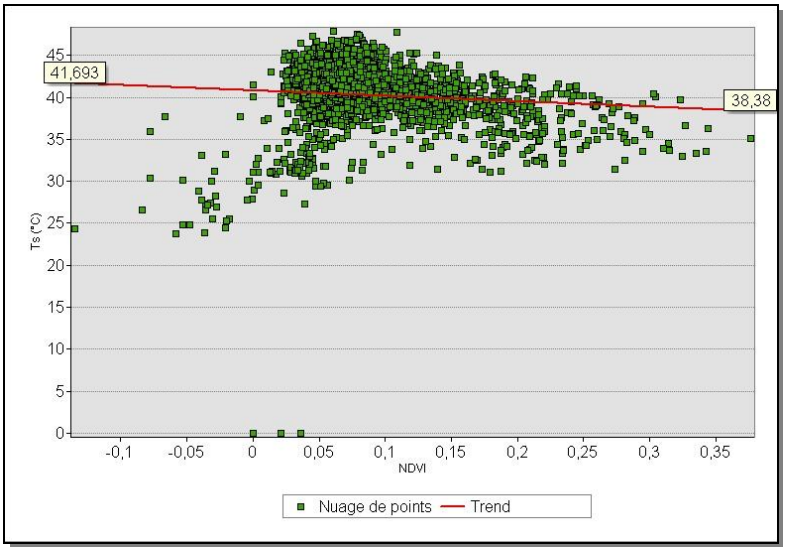
Concernant le bâti, mis à part le tarmac de l'aéroport et les zones humides, sa densité augmente progressivement d'ouest en est. Au niveau de la partie Est de la zone d'étude, la

densité reste très importante sur le bâti situé entr les zones humides du Technopôle et des lacs Wouye et Warouwaye et la classée de Mboa, comme l'indique la couleur marron foncé.

2.2.2. Corrélation entre la température de surface et les paramètres de NDVI, de NDWI et de la densité du Bâti (NDBI)

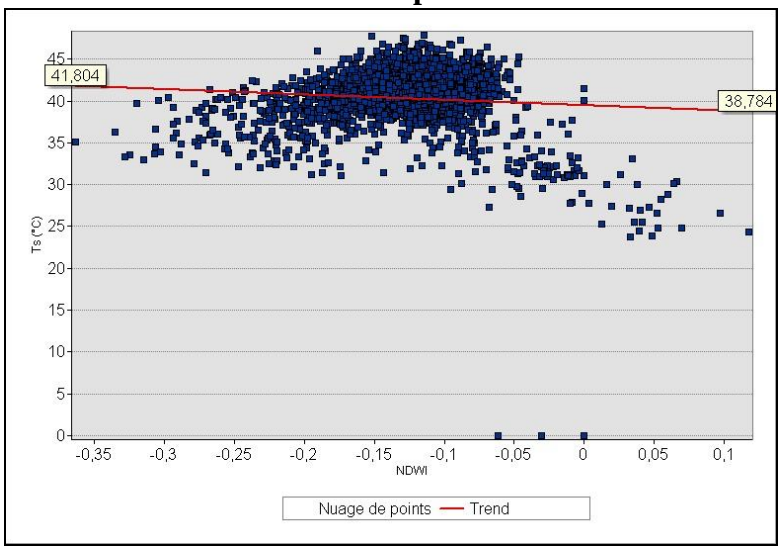
Les corrélations effectuées entre la répartition de la température et les indices de végétation, d'eau et de densité du bâti révèlent une influence de ces derniers sur la première c'est-à-dire la température de surface. Cela se traduit par une tendance à la baisse des températures de surface à près de 3°C par rapport aux indices de NDVI et de NDWI.

Figure 4 : Corrélation entre la température de surface et le NDVI



Source : Nos traitements, 2024

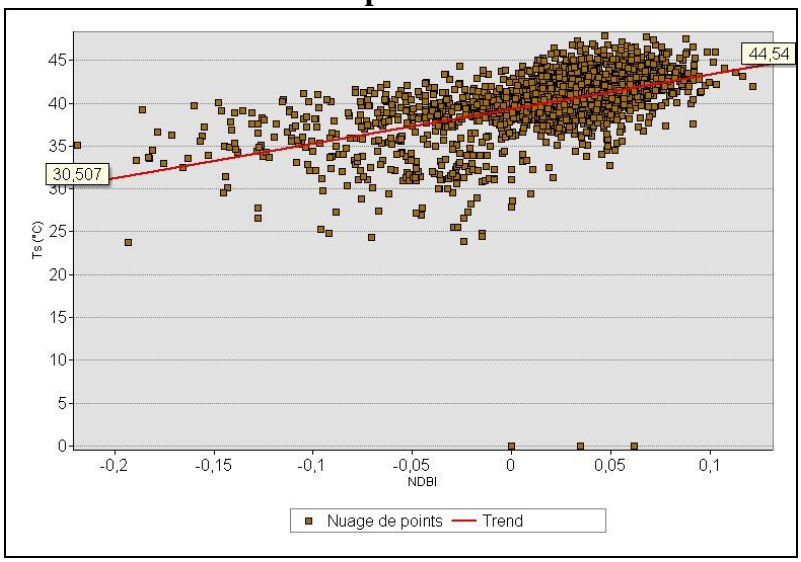
Figure 5 : Corrélation entre la température de surface et le NDWI



Source : Nos traitements, 2024

Pour le bâti, un effet inverse de celui de la végétation et des plans est observé. Il est en effet marqué par une hausse de plus de 10°C de la température de surface suivant la densification du bâti.

Figure 6 : Corrélation entre la température de surface et la densité du Bâti



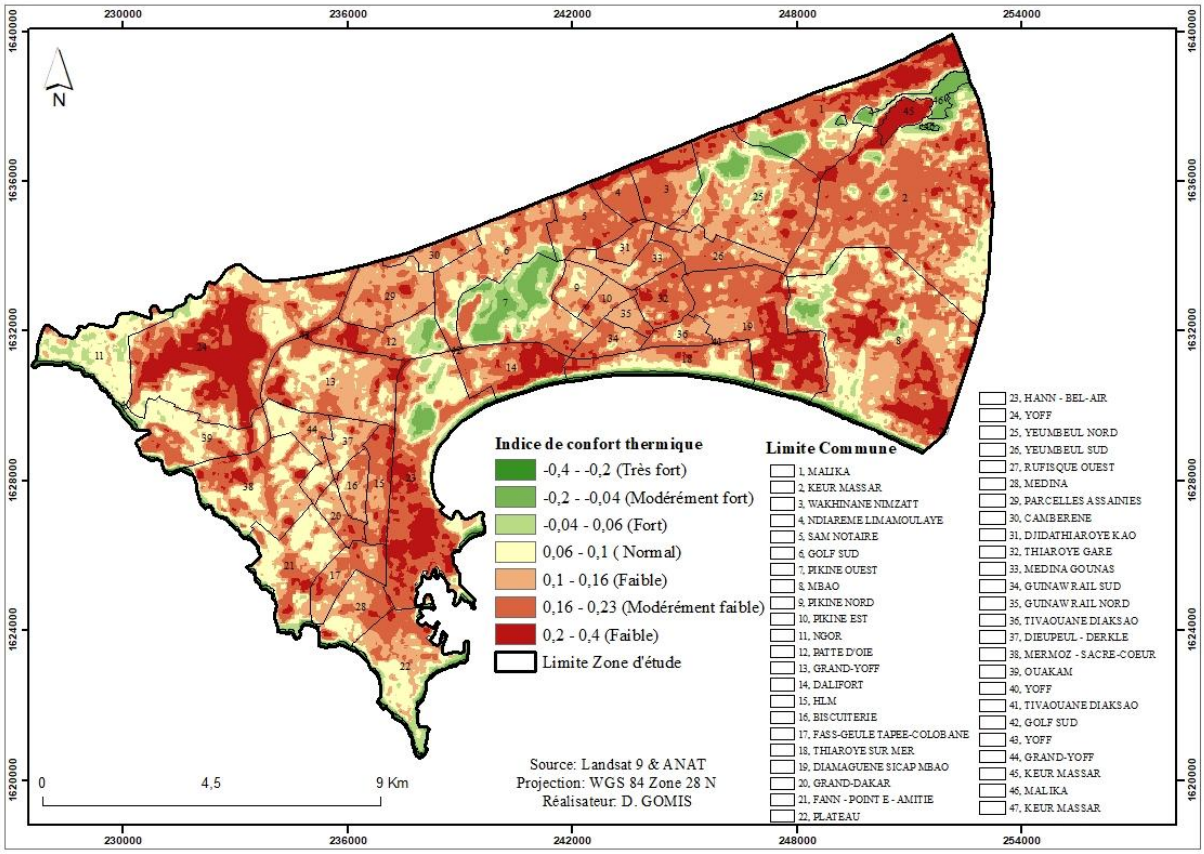
Source : Nos traitements, 2024

2.3. Indice conformité thermique

Les températures de surface de par leur importance engendrent des impacts sur le confort thermique et la qualité de vie des populations. Ces impacts ont été appréciés par le calcul de l'indice de confort thermique. L'analyse de la distribution spatiale de cet indice a été effectuée par une catégorisation des valeurs obtenues en sept catégories : (i) très fort ; (ii) modérément fort ; (iii) fort ; (iv) normal ; (v) faible ; (vi) modérément faible et (vii) très faible. Ainsi, les zones qui présentent les indices de confort thermique les plus dégradés (très faible et modérément faible) correspondent à celles qui sont les plus chaudes. On y distingue les zones à confort thermique très faible. Il s'agit des zones d'activité aéroportuaire (tarmac de l'aéroport entre Yoff et Ouakam), portuaire (Hanne Bel air) et industrielles (Dalifort, Thiaroye sur mer, Guinaw rail, Tivaoune Diaksao et une partie de Mbao) ainsi qu'au niveau de la décharge d'ordures de Mbeubeuss (nord de Keur Massar) et le long de certaines routes (patte d'oie – yoff ; yoff- parcelles ; etc.). Ces zones coïncident avec celles des îlots de chaleur thermique. Elles sont suivies des zones de confort thermique modérément faible correspondant pour la plupart aux localités présentant les plus fortes densités du bâti (Djida Thiaroye Kao, Yeumbeul Sud, Thiaroye Gare, Sam notaire, Ndiarème Limamoulaye et wakhnane Nimjatt). Enfin, il y'a les zones à confort thermique faible qui renferme la plus grande partie des bâtis de la zone d'étude. Par contre, la vie des citadins reste vraisemblablement plus confortable dans les zones humides et de végétation, et de celles du

littoral ouest surtout au nord (Ngor, Yoff et Ouakam) et sur les espaces verts du centre et sud-ouest.

Figure 6 : Répartition de l'indice de confort thermique

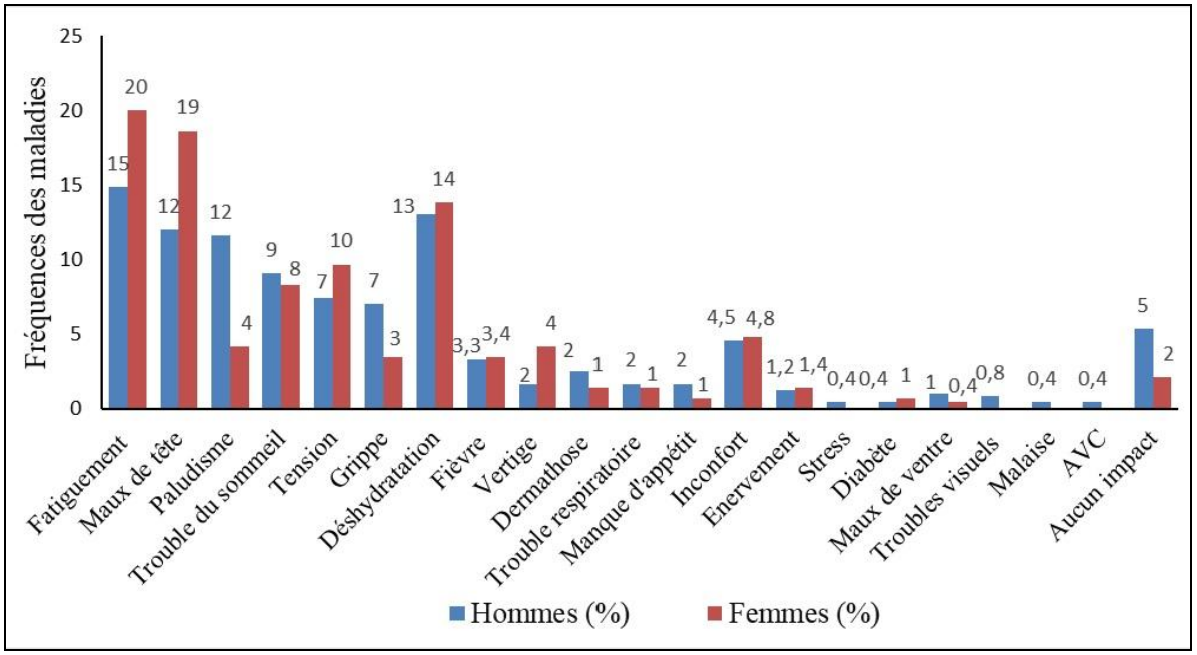


2.4. La sensibilité des populations aux vagues de chaleur

Dans les zones les plus exposées à l'inconfort thermique les personnes exerçant une activité à l'extérieur ont déclaré dans les périodes de forte chaleur plusieurs problèmes de santé. La figure 7 consigne les problèmes de santé énumérés lors de notre enquête. Les douleurs de fatigue (20% pour les femmes et 15% pour les hommes) et de maux de tête (19% pour les femmes et 12% pour les hommes), la déshydratation (14% pour les femmes et 12% pour les hommes) en raison de la forte transpiration et le paludisme (12% pour les hommes et 4% pour les femmes) constituent les symptômes les plus signalés. Elles sont suivies de celles des déclarations symptomatiques de troubles du sommeil (9% pour les hommes et 8% pour les femmes) et de la tension cardiaque (10% pour les femmes et 7% pour les hommes), de grippe (7% pour les hommes et 3% pour les femmes), de température corporelle très élevé (fièvre avec un taux 3% pour chacun : homme et femme), de vertige, de boutons sur la peau, de troubles respiratoire, visuel et digestif, de malaise et d'AVC (avec des taux pour l'essentielle inférieur à 3%). Il existe, cependant, quelques-uns représentant respectivement 5 % et 2% des hommes et des femmes enquêtés qui déclarent n'avoir ressentis aucun symptôme lors des

périodes de canicules. Au vu du nombre de personnes affectées par genre, les femmes restent les plus vulnérables pour certaines maladies (fatigue, maux de tête, tension, déshydratation, fièvre, vertige, inconfort, énervement, diabète). Par contre pour le reste des maladies, les hommes ont le plus de manifestation. Il existe aussi des symptômes comme le stress, les troubles visuels, le malaise et l'AVC qui ont été signalés que par les hommes sur l'ensemble des personnes interrogées

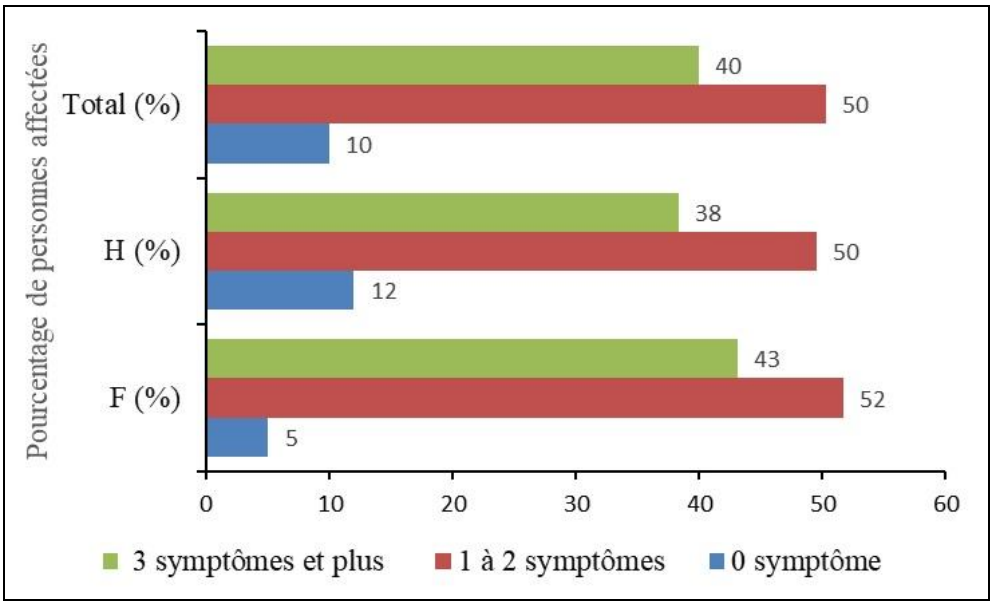
Figure 7 : les maladies les plus fréquentes lors des périodes de fortes chaleurs chez les personnes enquêtées



Source : données terrain, novembre 2024

La prévalence des maladies par personnes interrogées révèle de manière globale que 10% ne présente aucun symptôme lors des périodes de forte canicule, 50 % représente un à deux symptômes et 40 % trois symptômes et plus (Figure 8). Ces valeurs sont respectivement de 12 %, 50% et 38% pour les hommes et de 5%, 52% et 43% pour les femmes (Figure 8).

Figure 8 : Pourcentage du nombre de symptômes déclarés par personne



Source : Données de terrain, novembre 2024

2.5. Perception des populations sur les facteurs contribuant à la surchauffe urbaine dans Dakar

Les perceptions des populations sur les causes de la surchauffe urbaine sont consignées dans la figure 9. La taille de chaque mot reflète son nombre d'occurrence. Les principaux facteurs évoqués sont les émissions de véhicules (22%), le manque d'arbres et d'espace vert (14,4%), le changement climatique (13,1%), Dieu (11%) et l'intensité urbaine (10%). Ils sont suivis en occurrence de l'accroissement démographique (6,4%), des mauvais lotissement (6%), du manque d'espace (5%), des constructions en hauteur (4,2%), des émissions industrielles (2,1%) et du déboisement (2,1%). Enfin, en dernière position, comme facteur indiqué il y'a les conversions de points d'eau en bâti (1,3%), l'indiscipline (1,3%), l'incinération des déchets (1,3%), l'imperméabilité des sols (0,4%) et l'exode rurale (0,4%).

Figure 9 : Perception des populations sur les facteurs responsables du réchauffement de la température dans la zone d'étude

Source : Données d'enquêtes de terrain, novembre 2024

3. Discussion

La répartition des températures de surface du 23 mai 2024 montre une distribution hétérogène des Ilots de Chaleur Urbains (ICU). Ces derniers sont importants dans les secteurs d'activité (aéroport, port, zone industrielle et certaines routes principales et voies ferrées ainsi qu'au niveau de la décharge d'ordure de Mbeubeuss et des pelouses synthétiques de certains stades), les sols nus près des plages au Nord-est et dans certains quartiers denses notamment ceux du Centre-est. Une telle distribution est similaire à celle observée dans la région métropolitaine de Montréal où la formation d'îlot de chaleur est constatée de manière éparpillée dans le centre-ville, les zones industrielles et commerciales, les grands stationnement et voies majeures de circulation (P. ANQUEZ et A. HERLEM, 2011, p. 3).

Les corrélations observées entre la densité du bâti, la végétation, l'hydrologie et les températures de surface montrent bien l'existence de liens entre les éléments d'occupation du sol et le confort thermique. Cela se traduit sur les températures de surface par leur diminution suivant l'importance de la végétation et des plans d'eau et de leur hausse avec l'augmentation de la densité du bâti. En effet, tel qu'indiqué par certains auteurs (M. GIGUERE, 2009, p. 24 ; W.D. SOLECKI, 2005, p. 43), les espaces verts offrent non seulement de l'ombrage mais, ils captent une bonne partie de la chaleur latente. En plus de cela, il constitue avec les plans d'eau des facteurs de rafraîchissement puisqu'elles emmagasinent peu d'énergie et par évaporation ou évapotranspiration rafraîchissent l'air de la journée. Cependant, à la différence

des plans d'eau et des espaces végétalisés, les secteurs d'activités sont pour la plupart marqués par : une quasi absence de la végétation, une grande minéralisation du sol et des émissions anthropiques de chaleur. Par conséquent, elles favorisent, de par leur constitution, l'apparition d'îlots de chaleur. Ce phénomène est dû au fait qu'une bonne partie de leur surface, le plus souvent imperméable, de par les matériaux qui les constituent (gravier, ciment et béton) possèdent un albédo faible inférieur à celui d'un sol végétalisé et une forte émissivité (M. GIGUERE, 2009, p. 7 ; M. COLOMBERT 2008 : 112). L'albédo est une unité de mesure allant de 0 à 1 qui permet de mesurer le taux de rayons solaires réfléchis par un matériau, tandis que, l'émissivité marquée également sur une échelle de 0 à 1, mesure la chaleur qui est réémise par le matériau après avoir été emmagasinée (M. GIGUERE, 2009, p. 22 ; N. HASSANI, 2023, p. 27). Et plus ces matériaux absorbent les rayons du soleil, plus ils accumulent, emprisonnent et émettent la chaleur, la nuit sous forme infrarouge, contribuant par ce fait même à la formation d'îlots de chaleur urbains. Cette propension à l'accumulation de l'énergie solaire s'exacerbe avec la présence de l'asphalte ou de goudron que revêtent les voiries, ce qui fait que les températures de surface le long des routes sont pour la plupart élevées (N. HASSANI, 2023, p. 27). A cela s'ajoute le fait que, les chaleurs anthropiques dégagées dans les secteurs d'activité, découlant de plusieurs sources (chauffage, climatisation, circulation automobile, incinération des déchets, etc.) sont autant de facteurs qui font augmenter la température de l'air et concourent à la formation d'îlots de chaleur (N. HASSANI, 2023, p. 34).

Mis à part ces secteurs d'activité, les différences thermographiques sont observées sur l'habitat en partant de l'Ouest vers l'Est. En effet, pour ce dernier, les températures de surface relativement moins intenses couvrent certains quartiers résidentiels et bien aménagés à l'ouest tels que : Ngor, Fann Point E, Mermoz Sacré-cœur, etc). Elles augmentent en allant vers l'est dans les quartiers plus denses avec des hausses de 2°C (Grand Yoff, Parcelles Assainies, Golf Sud, Cambérène, etc) et de 4°C (Yeumbeul Sud, Yeumbeul Nord, Djida thiaroye Kao, Thiaroye Gare, Diamaguene Sicap Mbao, Keur Massar, etc) auxquels s'ajoute aussi certains quartiers qui se trouve au sud-ouest de la zone d'étude comme Médina et Fass Guele Tapée Colobane. Une telle différenciation des températures de surface suivant l'habitat a été aussi observée par S. DAHECH et S. CHARFI (2018, p. 9) à Bizerte. Cet écart s'expliquerait vraisemblablement ici par leurs tissus très serrés et très peu végétalisées (Photos 1). Tout ceci explique pourquoi les secteurs d'activité et les habitats denses de la zone d'étude sont les plus en proie aux îlots de chaleur urbains et par conséquent aux vagues de chaleur.

Photos 1 et 2 : Aperçu sur le tissu urbain entre la corniche Nord-ouest (A) et Cambérène (B)

Source : https://www.bing.com

Les personnes exerçant une activité à l'extérieur dans les zones d'inconfort thermique ont fait état de plusieurs problèmes de santé lors des périodes des vagues de chaleur. Cela confirme les critères de classification des travailleurs extérieurs parmi les personnes les plus vulnérables aux vagues de chaleur (N. HASSANI, 2023, p. 294). Ces problèmes de santé sont ici marqués par des symptômes ressenties (Fatigue, maux de tête, vertige, fièvre et malaise), de la déshydratation, de la manifestation de maladies infectieuses (paludisme et grippe) et d'une provocation ou aggravation des conditions médicinales préexistantes telles que les maladies cardiovasculaire, vasculaire cérébrale, respiratoire et endocrinienne (hyper ou hypotension artérielle, AVC, asthmes et diabète). Les effets des vagues de chaleur sur les répondants restent aussi marqués par des troubles du sommeil en raison de la chaleur nocturne qui fait que certaines personnes n'arrivent pas dormir la nuit, une baisse de la qualité de la vue pour certaines, des troubles digestifs et des problèmes de dermatose qui se manifeste ici selon les répondants par des apparitions de bouton dans la peau. Enfin, comme autres effets des canicules, il y a aussi les problèmes d'ordre psychologique (sentiment d'inconfort, facilité d'énervement et stress). Des résultats similaires ont été obtenus par plusieurs études en Afrique, en Europe et au Canada (M. YMBA 2022, p. 14 ; K. LAAIDI et *al.*, 2012, p. 258 ; P. BRETIN et *al*, 2005, p. 42 ; M. GIGUERE, 2009, p. 9).

En effet, lorsque la température est en hausse, l'organisme humain régule sa température grâce à la transpiration et à l'augmentation du débit sanguin. Une sollicitation excessive ou une défaillance de ces mécanismes de refroidissement est susceptible d'entrainer des problèmes de circulation et une déshydratation et par conséquent un coup de chaleur ou encore d'aggraver les maladies déjà présentes (M. S. RAGETTLI et M. RÖÖSLI, 2020, p. 11). En outre, les transmissions des virus et des bactéries sont plus rapides lorsque les températures sont élevées, ce qui contribue à la propagation des maladies infectieuses et diarrhéiques. Selon M. FRANCHINI et P. M. MANNUCCI (2015, p. 3) une augmentation de

la température de 1 °C pendant la saison des pluies augmente de 3% à 11% le risque de maladies diarrhéiques. Par ailleurs, tel qu'indiqué par P. ANQUEZ & A. HERLEM (2017, p. 8), l'augmentation des températures aggrave la pollution atmosphérique et accroît les effets néfastes du Smog sur la santé. Le Smog est « un mélange toxique de gaz et de particules fines que l'on peut souvent observer dans l'air sous forme de brume sèche ». Il se compose principalement de deux polluants : l'ozone troposphérique (O_3) et les particules fines (P. ANQUEZ & A. HERLEM, 2017 ; p. 8). L'ozone pour se former nécessite de la présence de la chaleur et les températures au-delà de 30°C sont particulièrement favorables à la formation de l'ozone au sol. Cette pollution atmosphérique pourrait expliquer les cas d'asthmes déclarés dans ces zones comme Mbeubeuss, Yeumbeul et Hanne Bel Air. Concernant les boutons sur la peau, ils apparaissent pour certains lorsqu'il fait très chaud et sont accompagnés de picotement en raison de l'irritation de la peau. Selon É. BEGIN-GALARNEAU (2021, p. 52), qui a eu à recueillir auprès des enfants à Ouagadougou un tel symptôme parmi les cas déclarés, cela est provoqué par le coincement de la sueur dans la peau, ce qui bloque les glandes sudoripares et occasionne l'apparition des boutons.

La moitié des personnes enquêtées dans les zones d'inconfort thermique présente 1 à 2 de ces symptômes et/ou maladies déclarées lors des vagues de chaleur. Selon les symptômes et maladies déclarées, il existe, certaines maladies pour lesquels les femmes devancent les hommes et d'autres pour lesquels c'est l'inverse ou que c'est seulement observé chez les hommes. Il est également constaté que certains répondants (10 % environ) ne sentent aucun effet des chaleurs accablantes. Cela pourrait être dû à la période de l'enquête qui a coïncidé à un moment de fraîcheur. Par conséquent, ils peuvent avoir tendance à oublier les effets indésirables des périodes de canicules. L'autre raison pourrait aussi être leur acclimatation à la chaleur après avoir vécu si longtemps dans cet environnement, les amenant ainsi à adapter leur mode de vie pour ne plus ressentir l'impact des périodes de canicule (M. PIA et *al.*, 2020, p. 206). Toutefois, cette proportion reste faible par rapport à l'ensemble des répondants, ce qui est révélateur de la sensibilité de la population au vague de chaleur. Pour M. Pia et *al.*, (2020, p. 209), les vagues de chaleur affectent tout le monde, les malades chroniques, les personnes dites plus faibles (personnes âgées, nourrissons et enfants en bas âge), tout comme les personnes a priori en bonne santé.

La perception des populations confirme dans une large mesure la contribution des émissions des véhicules, du changement climatique et du manque d'arbre à la surchauffe urbain. Ces émissions de véhicule sont à la fois une source de pollution et d'émission de GES (Photo 2C). A Dakar, elles constituent d'après les travaux de A. NDONG (2019, p. 19) le principal facteur

de pollution avec une contribution à hauteur de 25 à 75 % de la pollution générale et représente derrière les ménages 30 % de l'énergie totale consommée dans le pays (B. SOW, 2021, p. 19). Cette pollution est liée d'après C. DEMAY (2011, in M. SECK, 2021, p. 7) à l'état de dégradation de la chaussée et aux embouteillages (Photo 2D) mais aussi et surtout à la vieillesse du parc automobile qui représente 73 % du parc automobile national et dont la majeure partie des véhicules, soit 59% de l'effectif total, ont plus de 10 ans.

Photos 3 et 4 : Pollution à Médina (C) et embouteillage sur l'autoroute (D)

Source : https://www.bing.com

Dans ce même sillage que la pollution des véhicules, certaines personnes ont indexé les industries et la pratique d'incinération des déchets à Mbeubeuss parmi les facteurs de surchauffe urbaine en raison de leur pollution. Il faut souligner que ces industries de par leur recours à la combustion dans leur activités (Production d'acides sulfurique, raffinage du pétrole, etc.) et de par les combustibles qu'ils utilisent (carburant contenant du soufre) produisent de la chaleur urbaine et des polluants dangereux pour la santé dont entre autres les particules polluants PM, le monoxyde de carbone (CO), l'ozone (O_3), le dioxyde d'azote (NO_2), dioxyde de soufre (SO_2) et le plomb (MEDD, 2019 in M. SECK, 2021, p. 29). Quant à la décharge de Mbeubeuss, qui est un site d'accumulation des ordures de Dakar sur une superficie de 114 ha, les incinérations entrainent l'émanation d'une quantité importante de polluants dont principalement du monoxyde de carbone (CO) et de la chaleur (Photos 3). Ces polluants favorisent les processus photochimiques dans l'atmosphère urbaine. Ces interactions physico-chimiques, en modifiant le bilan radiatif local, renforcent également l'effet de dôme thermique.

Photo 5 et 6 : Décharge d'ordure de Mbeubeuss avec un aperçu sur les dépôts (E) et de leurs incinération (F)

Source : https://www.bing.com

Concernant le manque d'arbre, il a comme résultats de diminuer le nombre de « processus naturels rafraîchissants, comme l'évaporation de l'eau contenue dans les sols et l'évapotranspiration de la végétation » ou encore l'ombrage au sol, tous des moyens efficaces pour atténuer le réchauffement urbain (GIGUERE, 2009, p. 7). En effet, la forte concentration, du quart de la population du pays dans la région de Dakar, une superficie de 550 km^2, a fait que : mise à part certains anciens quartiers et ruelles qui bénéficiaient d'un plan d'aménagement où l'arbre était pris en compte (Point E, Fanne hoc, Sacré-Cœur, Bourguiba, etc.) pratiquement, pour tout le reste, les arbres et les espaces verts sont généralement relégués au second plan.

Par ailleurs, le fait que l'atmosphère soit un don divin, amène certaines personnes non moins représentatives à percevoir la surchauffe urbaine dans une attitude relativement fataliste. « Tout vient de Dieu, c'est lui qui chauffe et qui refroidit » disent-ils pour être bref.

Enfin, d'autres facteurs sont signalés comme les constructions en hauteur (Photo 4). Celles-ci favorisent doublement la création d'îlot de chaleur. D'une part, la multiplication de ces édifices obstrue et modifie la circulation et la vitesse du vent pouvant ainsi influer sur la température de l'air (COLOMBERT, 2008, p. 64). D'autre part, les espaces densément occupés par ces édifices à l'images des centres urbains, sont souvent insuffisamment aéré créant des « canyons » où s'accumule et reste captive la chaleur occasionnée par le rayonnement solaire et les activités humaines (GIGUERE, 2009, p. 7).

Photo 7 : Aperçu sur les constructions en hauteur dans le centre-ville de Dakar près du théâtre Daniel Sorano

Source : https://www.bing.com

Tout ceci montre que la population, mis à part certaines croyance qui relève du fatalisme, a une bonne perception des facteurs qui engendre la surchauffe urbaine dans leur quartier respectif.

Conclusion et perspectives

Cette étude effectuée dans quatre départements de la région de Dakar visait à cartographier la répartition des ICU pour ensuite, y voir le niveau de sensibilité sanitaire des populations plus précisément, les travailleurs extérieurs, aux épisodes de fortes chaleurs. Au terme de ce travail, la cartographie des températures de surface a révélé l'existence des zones de forte concentration de chaleur. Les zones d'activité et d'habitat dense peu végétalisé constituent les principaux puits de chaleur. Ce phénomène n'est pas sans conséquence pour les personnes qui exercent des activités le long des routes car, elles se sont plaintes de plusieurs maux lors des épisodes de canicule. Le facteur prépondérant de cette occurrence à la chaleur dans ces zones demeure la forte artificialisation de leur milieu comme en témoigne les corrélations obtenues entre les températures de surfaces et les éléments d'occupation du sol. Elles révèlent une baisse des températures de surface suivant l'importance de la végétation et des plans d'eau et d'une hausse suivant l'importance du bâti. Mais, en plus de ces aspects relatifs à l'occupation du sol la population évoque également d'autres facteurs (pollution, construction en hauteur, accroissement démographique, exode rural, mauvais aménagement, etc.) qui contribuent tous à la surchauffe urbaine dont il faudrait impérative solutionner pour pallier au phénomène.

Références bibliographiques

Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD), 2023. Situation Economique et Sociale de la région de Dakar. 131 pages.

ANQUEZ Philippe et HARLEM Alivia. (2011). Les Ilots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : Cause (19 p.)

BEGIN-GALARNEAU Émilie, 2021. Vagues de chaleur et santé des enfants à Ouagadougou. Mémoire de master, Département de démographie, Faculté des arts et des sciences, Université de Montréal. 89 pages.

BENY François, CANAS Stéphanie, CHAVANNE Manoel, DEUTSCH Denis, PERSOZ Léa et TUEL Alexandre, 2021. Synthèse du rapport AR6 du GIEC publié le 09/08/2021 : Synthèse vulgarisée du résumé aux décideurs du groupe de travail I de l'AR6. The Shifters, 10 pages ;

BRETIN Philippe, VANDENTORREN Stéphanie, ZEGHNOUN Abdelkrim, Ledrans Martine, 2005. Étude des facteurs de décès des personnes âgées résidant à domicile durant la vague de chaleur d'août 2003. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire. 104 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.invs.sante.fr

COLOMBERT Morgane, 2008. Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville, Université Paris-Est, Thèse de Doctorat, 538 p.

DEMAY Claire, 2011. La pollution de l'air à Dakar. Mémoire de Master, Université de Bourgogne, 71 p.

ECKSTEIN David, KÜNZEL Vera, SCHÄFER Laura, 2021. Global Climate Risk Index 2021, Rapport d'étude, 52 p.

FRANCHINI Massimo et MANNUCCI Pier Mannucio. 2015. « Impact on human health of climate changes », European Journal of Internal Medicine, vol. 26, N°1 : 1–5.

GAALOUL Hajer, 2021. La lutte contre l'îlot de chaleur urbain dans le contexte du changement climatique. Cas de la Région de Bruxelles Capitale. Mémoire de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Libre de Bruxelles, Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire, Faculté des Sciences. 75 pages.

GIEC, 2018 : Résumé à l'intention des décideurs, Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au

changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté [Publié sous la direction de V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor et T. Waterfield]. Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, 32 p.

GIEC, 2021 : Résumé à l'intention des décideurs. In : Changement climatique 2021 : les bases scientifiques physiques. Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [publié sous la direction de Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, et B. Zhou]. Cambridge University Press.

GIGUERE Mélissa., 2009. Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains. Institut national de santé publique du Québec. Direction des risques biologiques environnementaux et occupationnels. 77 p.

HASSANI Nassima, LEBAUT Sébastien, DROGUE Gilles, SGHIR Saïd. Evolution spatio-temporelle de températures de surface diurnes dans l'aire métropolitaine de Metz à partir de données Landsat. 33ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Jul 2020, Rennes, France.

HASSANI Nassima. Caractérisation des îlots de chaleur de saison chaude dans les territoires de l'Eurométropole de Metz (France) et du Grand Casablanca (Maroc): observation, perception, vulnérabilité. Géographie. Université de Lorraine, 2023. Français.

IBIASSI MAHOUNGOU Géoffroy, MANIAK Fred. William et GOMA BOUMBA Hugues Bruno, 2018. Spatialisation des températures de surface et caractérisation de l'ilot de chaleur urbain à Brazzaville. Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement, n°2, 2018. 90 – 100 pages.

LAAIDI Karine, 2012. Rôle des îlots de chaleur urbains dans la surmortalité observée pendant les vagues de chaleur- Synthèse des études réalisées par l'Institut de veille sanitaire sur la vague de chaleur d'août 2003. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2012. 4 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.invs.sante.fr

LAAIDI Karine, Zeghnoun Abdelkrim, Dousset Bénédicte, Philippe Bretin, Stéphanie Vandentorren, Emmanuel Giraudet, Pascal Beaudeau, 2012. The Impact of Heat Islands on Mortality in Paris during the August 2003 Heatwave. Environ Health Perspect 2012 ;120 :254-9. Disponible sur : http://ehp03.niehs.nih.gov/article/info:doi/10.1289/ehp.1103532

MUSTAFA, EK, Liu, GX, Hassan, A., Damos, MA et Tarawally, M. (2020). Prédiction de la distribution de la température de la surface terrestre dans la ville de Freetown, Sierra Leone, à l'aide d'un modèle d'ajustement de courbe polynomiale. Journal de Système d'information, 12, 531544. Géographique https://doi.org/10.4236/jgis.2020.125031

NDONG Awa, 2019. Pollution de l'air extérieur et intérieur à Dakar (Sénégal) : caractérisation de la pollution, impact toxicologique et évaluation épidémiologique des effets sanitaires. Thèse cotutelle, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar et Université du Littoral Côte d'Opale, Ecole Doctorale Sciences de la Vie, de la Sante et de l'Environnement (ED-SEV). 168 pages.

PASSY Paul, 2024. Briques de Géomatique. Version 0.1, 457pages.

PIA Monnier, Karine DUPRE, Silvia TAVARES, 2020. Îlots de Chaleur Urbains et Ville : La Perception des Habitants. 200 - 213 p.

RAGETTLI S. Martina & RÖÖSLI Martin, 2020. Effets de la chaleur sur la santé en Suisse et importance des mesures de prévention : Décès dus à la chaleur pendant l'été caniculaire 2019 et comparaison avec les étés 2003, 2015 et 2018. Rapport final juillet 2020. 37 pages.

SAGNA Pascal et LEROUX Marcel. 2000. Le climat du Sénégal. In Les Atlas de l'Afrique, Jeune Afrique (ed). Sénégal, Paris ; 66-69 p.

SAMI Charfi et SALEM Dahech, « Cartographie des températures à Tunis par modélisation statistique et télédétection », Mappemonde [En ligne], 123 | 2018, mis en ligne le 14 février 2018, consulté le 20 juin 2019. URL : http://journals.openedition.org/mappemonde/442 ; DOI : 10.4000/mappemonde.442

SECK Moussa, 2021. Analyse des effets liés à la pollution atmosphérique au Sénégal, le cas de Dakar. Mémoire de maitrise en Environnement, Université de Sherbrooke, 67 pages.

SOLECKI D.William, ROSENZWEIG Cynthia, PARSHALL Lily, POPE Greg, CLARK Maria, COX Jennifer & WIENCKE Mary, 2005. Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey, Global Environmental Change Part B : Environmental Hazards, Vol. 6, No. 1, pp. 39-49

SOW Baïdy, Tchanche Bertrand, FALL Ibrahima, SOUARE Saliou, MBOW-DIOKHANE Aminata (2021). Suivi des concentrations de polluants atmosphériques dans la ville de Dakar, Sénégal. Journal ouvert sur la pollution atmosphérique, 2021, 10, 18-30 pp. https://doi.org/10.4236/ojap.2021.101002

ULLAH Nadeem, SIDDIQUE Muhammad Amir, DING Mengyue, GRIGORYAN Sara, ZHANG Tianlin & HU Yike, 2022. «Spatiotemporal Impact of Urbanization on Urban

Heat Island and Urban Thermal Field Variance Index of Tianjin City, China». Buildings, 12, 399. Disponible en ligne : https://doi.org/10.3390/buildings12040399

UNITED NATIONS, 2018, World Urbanization Prospects : The 2018 Revision, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York, United Nations, (ST/ESA/SER.A/420), 123 p.

YMBA Maïmouna, 2022. 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, 24 p.

Auteurs

[1] *Laboratoire de Biogéographie / Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines ; Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal ;*

[2] *Laboratoire de Climatologie et Environnement, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal ;*

[3] *Laboratoire de Climatologie / Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal ;*
** Auteur correspondant : Email (gdany@live.fr; danyephata@gmail.com) ;*