



Journal of Materials and Engineering Structures

Research Paper

Investigation expérimentale sur l'évaluation du confort thermique dans les espaces publics ouverts : Cas de Jijel, Algérie

Experimental investigation on thermal comfort assessment in public open spaces: Case of Jijel, Algeria

T. BOUTELLIS^{a,*}, A. BOUCHAIR^a

^a Université de Jijel, Département d'Architecture, laboratoire de recherche CBE, Algérie

ARTICLE INFO

Historique de l'article :

Recu : 8 juillet 2021

Révisé : 27 mai 2022

Accepté : 5 septembre 2022

Mots clés:

Espace public ouvert

Confort extérieur

Indices thermiques

Microclimat

Keywords :

Public open space

Outdoor comfort

Thermal indices

Microclimate

RESUME

Cette étude vise à évaluer l'impact de certains matériaux de pavage sur le profil thermique des espaces extérieurs qui sont de prime importance pour leur viabilité et fréquentation. Celle-ci est réalisée à travers une étude de cas dans le contexte méditerranéen de la ville de Jijel, en Algérie. Une analyse comparative d'indices thermiques a été réalisée à l'aide du modèle RayMan, validée par des enquêtes et des mesures sur terrain. Les résultats ont mis en évidence une température neutre de 21,2°C et une zone de confort entre 18,4°C et 23,9°C obtenue grâce à l'indice de température physiologique équivalente. Les résultats révèlent l'importance de l'albédo des revêtements sur le profil thermique des espaces publics extérieurs et la nécessité d'une meilleure connaissance des propriétés thermoradiative des matériaux avant leur usage.

ABSTRACT

This study aims to assess the impact of some paving materials on the outdoor space thermal profile which are of prime importance for their viability and attendance. This was carried out through a case study in the Mediterranean context of Jijel city. A comparative analysis of thermal indices was done using RayMan model outcome, validated through field measurements and survey. The results highlighted a neutral temperature of 21.2°C and a comfort zone between 18.4°C and 23.9°C obtained via the physiological equivalent temperature index. The results revealed the importance of paving materials albedo on public open spaces thermal profile, and the need for a better knowledge of the thermoradiative properties of materials before their uses.

* Corresponding author. Tel.: +213 793954059.

E-mail address: toufik.boutellis@univ-jijel.dz

Tableau des abréviations

Symbole	Désignation	Unité
C	Chaleur sensible	Watt
E	Chaleur latente divisée en flux provenant de ou vers la peau E_{sk} , à travers la transpiration E_{sw} et par le biais du système respiratoire E_{res} .	Watt
Ec	Eclairement	Lux
H _R	Humidité relative de l'air	%
h_s	Coefficient de transfert thermique standard	W/m ² K
$h_{s,e}$	Coefficient de transfert de chaleur par évaporation standard	m ² kPa
H_{SK}	Perte de chaleur de la peau (la charge thermique de la peau)	Watt
I _{CL}	Isolation thermique des vêtements	Clo
L	Luminance = $\rho \cdot E_c / \pi$ où ρ = albédo (-), E_c = éclairement [1]	cd/m ²
M	Chaleur métabolique ou taux métabolique	Watt
MOCI	Indice de confort extérieur méditerranéen	-
PET	Température Physiologique Equivalent	°C
PMV	Vote Moyen Prévisible	-
$P_{s,sk}$	Pression de vapeur d'eau sur la peau normalement supposée être celle de la vapeur d'eau saturée à Tsk	kPa
P_{SET^*}	Pression de vapeur d'eau saturée à SET*	kPa
R	Flux de rayonnement	Watt
S	Flux de chaleur de stockage pour chauffer ou refroidir la masse corporelle	Watt
SET*	Température effective Standard	°C
T _a	Température de l'air	°C
T _s	Température de surface	°C
T _{sk}	Température cutanée	°C
T _{MRT}	Température radiante moyenne	°C
UTCI	Indice de confort de température universelle	°C
W	Fraction de surface de peau mouillée	-
W _O	Travail mécanique	Watt
W _s	Vitesse de l'air	m/s

1 Introduction

Dans les villes méditerranéennes, les espaces publics extérieurs sont des atouts importants pour les citoyens, particulièrement pendant les journées ensoleillées du printemps et de l'été. Ils sont directement exposés aux variations du rayonnement solaire, l'intermittence des zones ensoleillées et ombrées, ou encore, les changements de vitesse du vent en raisons notamment de la forme urbaine, l'envergure du bâti, la végétation et les propriétés thermiques et optiques des revêtements. De nos jours, la qualité des espaces extérieurs urbains est devenue un sujet fondamental pour la climatologie et la conception urbaine. La qualité des espaces extérieurs est étroitement liée à la maîtrise du confort thermique. Des études antérieures ont montré que les espaces publics extérieurs ont un effet indéniable sur l'habitabilité et la qualité de vie urbaine [2]. Les jardins, par leur dominance verte prodiguent un effet rafraîchissant en milieu urbain, en raison de l'impact combiné de l'ombre et de l'évapotranspiration. Alors que les places, présentent une matérialité physique qui va des fois, à l'encontre des fonctions qui leurs sont assignées, par un choix incongru de matériaux de pavage ou une méconnaissance de leurs propriétés thermo-physiques qui se traduit par un rejet ou une désertion des lieux pour inconfort certain.

De 2001 à 2018 et parmi 115 articles de journaux évalués par des pairs, qui se sont engagés dans des mesures micrométéorologiques et des questionnaires traitant du confort thermique subjectif avec analyse des caractéristiques des participants, neuf seulement ont porté sur le climat méditerranéen dont un sur la rive sud à Constantine en Algérie [3]. Dans cette latitude, peu d'études ont confronté les effets thermoradiatifs des matériaux de pavage aux réponses subjectives des usagers, encore moins celles qui ont associé plusieurs indices thermiques dans l'estimation du confort extérieur. Mettre en exergue la pertinence du choix des matériaux de pavage pour l'amélioration des conditions de confort extérieur est l'un des objectifs de cette étude, ainsi que l'évaluation de l'impact des matériaux à faible réflectivité sur la modification du microclimat et sur l'usage des lieux. La question correspondant à l'objectif de recherche est de savoir comment se traduit l'hétérogénéité et la variabilité des revêtements de sol dans les zones urbaines en termes de perception, de confort et d'usage ? Notre approche comparative nous a permis de répondre aux questions ci-dessus, de tester plusieurs hypothèses et de confirmer

l'hégémonie du visuel dans la perception de la variabilité des matériaux au détriment de la sensation de température induite. Le confort dans les espaces publics extérieurs n'est pas nécessairement assujéti au déterminisme climatique mais, il est tributaire des revêtements au sol et de la subjectivité des perceptions qui en est faite.

Parmi les nombreux facteurs qui affectent la qualité et l'utilisation des espaces extérieurs, le confort thermique a attiré le plus d'attention de la part des climatologues, architectes et autres acteurs de la ville [4]. Son influence sur les activités de plein air est une question complexe qui interroge plusieurs registres. Son évaluation a fait ressortir du point de vue comportemental les aspects les plus pertinents à savoir, l'aspect psychologique, thermo-physiologique et enfin, l'aspect énergétique [5]. Par ailleurs, Nikolopoulou et Lykoudis [2] ont analysé le confort thermique dans les espaces urbains extérieurs dans cinq pays différents en Europe, et ont confirmé dans leurs résultats, qu'il existe une relation étroite entre les conditions microclimatiques et l'utilisation des espaces extérieurs où la température de l'air et le rayonnement solaire sont les paramètres les plus dominants. De nombreuses recherches ont été menées sur le confort extérieur et sur les caractéristiques thermo-radiatives des matériaux utilisés en milieu urbain et ont examiné l'impact des matériaux de chaussée et leurs attributs physiques sur le confort thermique des usagers, surtout quand ils sont exposés à des températures estivales élevées. [6, 7]. Des analyses expérimentales d'une grande variété de matériaux utilisés pour les revêtements urbains ont été effectuées. Ils ont mis en évidence le rôle des matériaux clairs et lisses dans le maintien des températures de surface plus basses, par rapport aux matériaux foncés et rugueux [8, 9]. Ils les ont rapporté dans la majorité des cas au phénomène d'îlot de chaleur urbain et les stratégies d'atténuation y afférentes. Ces études ont eu lieu dans diverses configurations urbaines, place, parc, cour, square, jardin public et sous différentes latitudes et divers climats [10-12]. Elles ont démontré la variabilité thermique de l'environnement urbain en rapport avec la morphologie urbaine et le microclimat [13, 14]. Les auteurs ont tous indiqué que les conditions thermiques étaient relativement plus chaudes dans les places que dans les parcs. La variabilité des stimuli émanant autant du rayonnement que de la variation de la configuration des espaces publics urbains engendre des modifications significatives des paramètres microclimatiques [15, 16], qui à leurs tours ont affecté grandement l'aspect psychologique et comportemental des usagers [17, 18]. Toutes ses études ont appréhendé les éléments de la morphologie urbaine qui interviennent dans la régulation du microclimat et le rôle déterminant de l'ombre pour une bonne fréquentation [19-22]. Par contre, d'autres études ont souligné la nécessité de développer un cadre interdisciplinaire qui intègre des paramètres physiques, physiologiques, psychologiques et sociaux pour aider les urbanistes et les concepteurs dans les décisions de conception [23]. Ils ont suggéré un cadre global pour l'évaluation de la relation entre paramètres quantitatifs et qualitatifs reliant l'environnement microclimatique avec l'évaluation thermique subjective et le comportement social. Ce qui dénote de la complexité réelle à évaluer le confort extérieur indépendamment du contexte physique et socio-culturel dans lequel il se manifeste. Le déterminisme climatique ne peut à lui seul, expliquer certaines attitudes des usagers des espaces extérieurs, car d'autres facteurs endogènes et exogènes rentrent spontanément en jeu d'une façon consciente ou inconsciente.

Par ailleurs, de nombreuses recherches ont été menées pour tenter d'évaluer les conditions thermiques en reliant les conditions microclimatiques locales et les sensations thermiques personnelles et de classer le stress thermique y afférant. 165 indices thermiques ont été recensés [24] parmi lesquels, quatre (PET, PMV, UTCI, SET*) restent largement utilisés dans les études de perception thermique en extérieur. Nous nous attelons pour notre part, à comparer trois de ces indices dans des conditions méditerranéennes et analyser leurs différentes prédictions de confort afin d'élargir leur application à des climats peu étudiés, notamment sur la rive sud de la méditerranée en Algérie. Certains indices sont mieux adaptés que d'autres aux conditions de chaleur et en régime permanent, ils ne peuvent représenter la grande variété des microclimats urbains auxquels les gens sont exposés. Ce qui a donné naissance à une tendance de recherche se rapportant aux méthodes de classification de ces indices en fonction de leur applicabilité, leur adéquation et leur pertinence pour un usage particulier [25]. La seconde, est relative à la recherche du meilleur indice pour prévoir et calculer le confort humain en milieu urbain [26-28]. La confrontation de ces indices à la perception thermique subjective est devenue par la suite, une question méthodologique pour confirmer leur exactitude, leur applicabilité et leur validation à travers la comparaison [3, 29-31]. Ce qui a donné lieu à des ajustements, des calibrages d'échelles et a suggéré la modification des seuils de certaines catégories de stress pour une meilleure évaluation de tels environnements [32-34], et les adapter pour différentes zones climatiques [10, 35-39]. Les performances thermiques des surfaces externes varient en fonction de leur exposition au soleil, au sol, au ciel et à la proximité d'obstacles et du mouvement de l'air, car ceux-ci peuvent influencer le rayonnement à ondes longues et les transferts de chaleur par convection [40].

La présente étude tente de mettre en exergue la pertinence du choix des matériaux de pavage notamment ceux qui sont peu réfléchissants eu égard à leurs impacts sur les microclimats générés et sur le confort thermique perçu. Nous essaierons de démontrer l'inadéquation de certains matériaux par l'effet négatif et pervers qu'ils ont sur les ambiances thermiques urbaines.

L'effet de l'albédo n'étant plus à démontrer sur l'îlot de chaleur urbain, son effet reste cependant, à établir clairement à l'échelle microclimatique dans les espaces extérieurs hétérogènes. Les études effectuées se concentrent majoritairement sur des climats spécifiques sans une validation à grande échelle qui s'étendrait à d'autres types de climats. Nous nous intéressons à l'évaluation de l'impact des matériaux de pavage sur la température de l'air ambiant et la perception subjective qui en est faite par les usagers et sa traduction en termes de stress thermique et de comportement.

2 Méthodologie et outils d'investigation

2.1 Description de la zone d'étude

Cette étude est menée dans trois places et un jardin public dans la ville de Jijel au nord-est de l'Algérie, située sur la rive sud de la mer méditerranéenne, latitude $36^{\circ} 49'N$; longitude $5^{\circ} 46'E$; altitude 9 m (Fig.1). La ville a un climat méditerranéen, avec des hivers doux et des étés chauds et humides. Les espaces étudiés sont tous au centre-ville dans le triangle historique. La place de la république est située à proximité de l'important nœud de l'hôtel de ville et matérialise l'accès à l'ancien port. La place est en marbre blanc-gris avec des arbres centenaires type ficus qui lui servent d'écran sur le flanc nord-est. La Place Khemisti Mohamed ou place des quatre palmiers, constituait la place la plus importante de la ville. Aujourd'hui elle est animée seulement en période estivale.



Fig. 1 – Situation géographique de la ville de Jijel et localisation des espaces étudiés.

Sa surface est totalement marbrée. Sa position renforce son ouverture visuelle sur le port militaire et la mer. La place Abbane Ramdane quant à elle, constituait le parvis de l'ex-église S^t Simon et Jude. Elle est complètement minéralisée et revêtue de carrelage granito antidérapant avec quelques ficus qui délimitent les lieux. Un monument plaqué de marbre blanc se dresse en son milieu. Enfin, la place du marché, jadis place S^t Arnaud et terrain d'assise de l'ex-cathédrale. Elle a connu une réaffectation des lieux qui a donné naissance à un jardin public et fut baptisé « Jardin de la paix ». Son revêtement est hétérogène, associant pavés en béton teinté dans les allées principales, ardoise rugueuse dans les allées périphériques et de la terre enherbée dans le reste de sa surface. Quatre plans d'eau caractérisent son centre géométrique. Palmiers, arbres et arbustes constituent le couvert végétal naturel qui la compose et la borde.

2.2 Instrumentation et campagnes de mesure

Les mesures des paramètres physiques à savoir, la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et l'éclairement sont faites à l'aide d'un instrument numérique portatif multifonction LM 8000A, à sonde type K. Alors que pour les températures de surfaces, un thermomètre laser « ScanTemp » a permis de relever instantanément et avec précision, les différentes températures de surface des matériaux aux points sélectionnés et des façades délimitant les lieux. Les caractéristiques des instruments utilisés sur terrain sont reportées au (Tableau 1). Des mesures tests ont été effectuées sur site afin de vérifier la fiabilité de ces instruments et procéder à leur calage par rapport à ceux de la station météorologique de l'aéroport de Jijel situé à 15 Km de l'aire d'étude. Les écarts relevés restent dans les fourchettes admises et tolérées. Les

mesures sont prises à une hauteur de 1.10 m approximativement au niveau des points marqués. La luminance (L) en Candéla par m^2 (cd/m^2), est calculée selon la formule : $L = \rho \cdot E_c / \pi$.

Tableau 1 – Caractéristiques des instruments de mesure utilisés sur terrain

Variables	Symbole	Unité	Instrument	Intervalle	Précision
Température de l'air	T_a	(°C)		-100 to 1300 °C	$\pm (1\% \text{ rdg} + 1^\circ\text{C})$
Humidité relative	H_R	(%)	Multifonction	10 to 95 %	$< 70\% \text{ RH} : \pm 4\% \text{ RH}$ $\geq 70\% \text{ RH} : \pm 4\% \text{ rdg} + 1.2\% \text{ RH}$
Vitesse de l'air	V_a	(m/s)	Type LM-8000A	0.4 to 30 m/s	$\leq 20 \text{ m/s} : \pm 3\%$ $> 20 \text{ m/s} : \pm 4\%$
Eclairement	E_c	[1]		200 to 20000 Lux	$\pm 5\% \text{ rdg} \pm 8 \text{ dgt}$
Température de surface	T_s	(°C)	Thermomètre Laser ScanTemp	-32 to 600°C	$> 23^\circ\text{C} : \pm 1\% \text{ rdg or } \pm 1^\circ\text{C}$ whichever is greater

Ces mesures sont effectuées chaque heure durant le jour, de 9h00 à 16h00 en hiver, prolongées à 18h00 en été. 15 à 20 minutes étaient nécessaires pour assurer toutes les mesures y compris le temps de stabilisation de certaines valeurs, ce qui reste conforme à ce qui est admis dans la norme iso ASHRAE Standard 55. Nous avons identifié localement les différentes zones de textures présentant un degré d'homogénéité plus au moins décelable visuellement et qui peuvent constituer, du point de vue thermoradiatif, un comportement appréciable et dont les valeurs des albédos théoriques sont connues dans la littérature. Deux points de mesures ont été retenus pour les trois places à texture homogène et cinq points au jardin de la paix, tenant en compte l'hétérogénéité des revêtements qui caractérise son sol. La diversité des matériaux en un seul endroit et leur proximité, nous a permis de mesurer la température de diverses surfaces exposées à des conditions microclimatiques presque identiques. Les points de mesure ont été choisis loin de toutes contraintes morphologiques et sont précisément exposés au soleil pendant la majeure partie de la journée, sauf ceux qui ont été délibérément choisis à l'ombre afin de déterminer les différences de température entre les surfaces ombragées et les surfaces ensoleillées. (Fig.2).



Fig. 2 – Localisation des points de mesure au niveau des espaces étudiés de gauche à droite :

(a) place de la république (b) place Khemisti (c) Jardin de la paix et place Abbane

En plus des campagnes de mesure effectuées, l'observation directe a permis aussi de comptabiliser chaque heure le nombre d'utilisateurs, et repérer leurs points de prédilections. Une équipe composée de trois personnes ont effectué les interviews à la fin de chaque mesure au niveau du jardin de la paix. Les observations ont été notées simultanément sur des fiches d'observation préétablies. Le nombre de visiteurs et leurs activités au sein de la zone d'étude ont été étudiés par des observations sur plusieurs jours sur terrain. Chaque observation est sanctionnée par une prise de photo figeant l'occupation des lieux par les usagers. Ce travail de comptage nous a permis de dresser les profils saisonniers de la fréquentation des différentes places. Le volet perceptuel sera examiné quant à lui à travers des questionnaires qui ont eu lieu à la fin de de chaque mesure au niveau du jardin de la paix étant donné qu'il est le plus fréquenté des espaces étudiés.

2.3 Les indicateurs de confort thermiques utilisés

Dans cette étude, les indices PMV, PET et SET* ont été calculés à l'aide du modèle RayMan 1.2 suggéré par Matzarakis et Mayer [41], pour évaluer les niveaux de confort et les classes de stress leurs correspondant, spécifiées dans le tableau 2. La présente sous-section décrit les caractéristiques des indices de confort thermique susmentionnés.

- La température physiologique équivalente (PET) est définie comme "équivalente à la température de l'air qui est nécessaire pour reproduire dans un environnement intérieur standardisé et pour une personne standardisée les températures du noyau et de la peau qui sont observées dans les conditions évaluées". Elle suppose une isolation thermique des vêtements de 0,9 clo et un taux métabolique de 80W qui doit être ajouté au taux métabolique de base. En outre, il considère que la température radiante moyenne est égale à la température de l'air, la vitesse du vent WS de 0,1 m/s et fixe la pression de vapeur d'eau à 12 hPa (une valeur correspondant à une humidité relative de 50% pour Ta=20 °C). Elle se réfère à l'équation (1) du bilan thermique, introduite par le modèle de bilan énergétique individuel de Munich (MEMI) [42]:

$$M + Wo + R + C + Esk + Eres + Esw + S = 0 \quad (1)$$

- La température efficace standard (SET*) est définie comme "la température équivalente d'un environnement isotherme à 50 % d'humidité relative dans lequel un sujet, tout en portant des vêtements normalisés pour l'activité concernée, aurait le même stress thermique et la même contrainte thermorégulatrice que dans l'environnement d'essai réel". L'environnement isotherme désigne un environnement situé au niveau de la mer où la température radiante moyenne (T_{mrt}) et la température de l'air présentent la même valeur et où la vitesse du vent est égale à 0. Son évaluation est effectuée sur la base de l'équation (2) [43, 44]:

$$SET^* = (wh_{s,e}(p_{s,sk} - 0.5p_{SET^*}) + h_s T_{SK} - H_{SK})/h_s \quad (2)$$

-Le vote moyen prévisible (PMV) est l'un des premiers indices introduits. Il est développé à l'origine pour des conditions environnementales intérieures et depuis, graduellement employé en confort extérieur [45]. Dans son calcul, le PMV prend en compte les paramètres environnementaux objectifs moyens enregistrés pendant la durée de l'interview tels que le degré d'habillement et le taux de métabolisme des personnes interviewées. Il a été adapté aux conditions radiatives les plus complexes de l'environnement extérieur par Jendritzky et Nübler grâce à l'approche connue sous le nom de "Modèle Klima Michel" :

$$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.036M} + 0.028) \cdot S \quad (3)$$

Cet indice, dont l'évaluation nécessite deux variables opérationnelles (taux métabolique M et isolation thermique des vêtements I_{CL}) et quatre variables environnementales (température de l'air T_a , température radiante moyenne T_{MRT} , humidité relative H_R et vitesse du vent W_s), est basé sur l'échelle à 7 points de l'ASHRAE : Très froid (-3), froid (-2), légèrement froid (-1), neutre (0), légèrement chaud (+1), chaud (+2) et Très chaud (+3).

Tableau 2 – Indices thermiques et catégories de stress correspondantes. Source : adapté de [31]

Classes	PMV	PET	SET*	Perception	Niveau de
Indices	(-)	(°C)	(°C)	Thermique	Stress physique
+4	> +3.5	> 41	> 37	Extrêmement chaud	Stress thermique extrême
+3	+2.5 - +3.5	35 - 41	34 - 37	Très Chaud	Fort stress thermique
+2	+1.5 - +2.5	29 - 35	30 - 34	Chaud	Stress thermique modéré
+1	+0.5 - +1.5	23 - 29	25 - 30	Légèrement chaud	Léger stress thermique
0	-0.5 - +0.5	18 - 23	22 - 25	Confortable	Pas de stress thermique
-1	-1.5 - -0.5	13-18	17 - 22	Légèrement froid	Léger stress du au froid
-2	-2.5 - -1.5	8 -13	14 - 17	Froid	Stress du au froid modéré
-3	-3.5 - -2.5	4 - 8	10 - 14	Très Froid	Fort stress du au froid
-4	< -3.5	< 4	< 10	Extrêmement froid	Stress du au froid extrême

2.4 Questionnaires et observations

Il n'y a pas eu d'échantillonnage préalablement défini avant le déroulement de l'enquête. Nous avons veillé cependant, à réduire la marge d'erreur pour que les résultats du questionnaire soient validés. Pour cela, nous avons supposé la population étudiée infinie ou de très grande taille. Elle comprend non seulement les usagers permanents, mais aussi les usagers temporaires qui viennent d'autres localités limitrophes. La taille de l'échantillon utilisé dans cette étude est déterminée sur la base de la formule de Cochran [47]. Elle donne la taille minimale de l'échantillon pour assurer une couverture adéquate de l'intervalle de confiance nominal de 95%.

$$N \geq (Z^2 P(1 - P)) / E^2 \quad (4)$$

Où N est la taille minimale de l'échantillon, Z est la valeur critique (Z-score) qui dépend du niveau de confiance (CL). Pour un CL = 95%, Z=1.96. P est la proportion de population caractérisée (degré de variabilité). Pour une population inconnue, P=0.5, ce qui donne la taille maximale de la population. E est la marge d'erreur d'échantillonnage, qui est inférieure à 5 % pour cette étude. Le questionnaire utilisé a été créé en modifiant ceux qui sont déployés dans la littérature et conforme à l'environnement thermique stipulé dans la norme ASHRAE 55 [48] et ISO 7726 [49]. Il est divisé en trois volets, à savoir un volet signalétique contextuel ; un volet perceptuel et un volet acceptabilité et préférences. Le volet signalétique couvre des questions relatives à la démographie, la catégorie d'âge, statut et activités et quelques signes visuellement remarquables de l'interviewé. Eventuellement des signes relatifs à une posture précise, un signe ostentatoire ou une attitude vis-à-vis de la luminosité des lieux. Le degré de connaissance des lieux est noté, ce qui peut déjà révéler un conditionnement psychologique non avoué. Certaines informations recueillies portent sur l'identification des facteurs personnels sur la perception et l'appréciation climatique des lieux, et les comportements dénotant une gêne particulière. Le volet perceptuel met en exergue la vision unitaire ou fragmentée de l'espace étudié. L'indication d'un endroit ou une zone précise peut expliquer un rattachement psychologique conscient ou inconscient à ce lieu. L'objectif est aussi de vérifier si les paramètres climatiques interviennent dans la perception unitaire ou partitionnée de l'espace. Nous cherchons également à estimer si des variations microclimatiques sont ressenties par les usagers et si cette variation est importante pour eux dans l'organisation de leurs activités. Nous recueillons, aussi, leur perception de l'espace et l'importance qu'ils accordent aux éléments du climat dans leur fréquentation et appréciation des lieux. Et compte tenu de la possibilité de rencontrer des températures chaudes et des conditions humides dans l'enquête, nous avons aussi demandé aux usagers de rapporter leurs sensations de l'environnement thermique à travers une échelle de 9 points allant d'extrêmement froid (-4) à extrêmement chaud (+4), avec neutre (0) dans le milieu. Les questions du volet préférences et acceptabilité portent sur l'appréciation de quelques paramètres climatiques selon l'échelle de McIntyre et leurs degrés d'acceptabilité.

Tableau 3 – Caractérisation de la météo des journées types mesurées sur terrain.

Dates des Journées types	Valeurs moyennes journalières							Température moyenne mensuelle (°C)	ΔT (°C)
	Température de l'air (°C)		Humidité relative (%)		Vitesse de l'air (m/s)		Luminance (Cd/m²)		
	In situ	St. Météo	In situ	St. Météo	In situ	St. Météo	In situ	St. météo	
Hiver 12 fév. 2019	19,25	12,80	54,54	61,40	0,46	5,2	883,25	11,5	7,75
Eté 19 juil. 2019	29,65	28,0	53,60	56,40	0,18	2,4	2586,60	26,4	3,25

2.5 Caractérisation de la météo durant les campagnes de mesure

Les campagnes de mesure se sont déroulées dans des conditions météorologiques favorables avec un ciel clair, durant l'hiver et l'été 2019. Nous avons choisi des journées types représentatives de la saison froide et chaude, obtenues suite au traitement statistique des données météorologiques recueillies de 2009 à 2018. Ces données concernent la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et le rayonnement solaire globale. Les périodes choisies englobent la saison estivale allant de juin à septembre et la saison hivernale de décembre à février. Une moyenne décennale a été calculée ainsi que l'écart type. Les données journalières recensées pendant la période analysée sont par la suite comparées à ces moyennes. Seules les données qui présentaient un écart type inférieur ou égale à 20% pour chaque paramètre physique séparément ou simultanément sont sélectionnées. Le mois de février a enregistré les températures les plus basses et le mois de juillet les températures les plus élevées sept années sur dix. Un premier filtrage nous fait ressortir février comme le mois le plus frais et juillet comme le mois le plus chaud. Puis, la comparaison entre les valeurs horaires des différents paramètres physiques

enregistrées pendant les sept années filtrées a démontré que la journée du 12 février et le 19 juillet présentent le plus faible écart type par rapport à la moyenne et sont adoptées respectivement comme journées types représentatives de la saison hivernale et estivale. Les valeurs moyennes portées au tableau 3 résument les conditions météorologiques mesurées sur terrain durant ces journées types. Les températures moyennes mensuelles sont issues de la station météorologique locale de l'aéroport. Les différences entre les moyennes des températures de l'air des jours de travail sur le terrain et la température moyenne mensuelle (ΔT) sont également présentées à des fins de comparaison.

3 Résultats et discussion

3.1 Valeurs moyennes de la température de l'air (T_a)

En hiver, la température moyenne journalière de l'air enregistrée est de 19.2°C. Celle-ci est nettement supérieure à la moyenne mensuelle, marquant un écart moyen de 7.7°C. La température moyenne de l'air varie entre 17.5°C et 21.0°C et ne présente pas de différences significatives pour les trois places, seul le jardin de la paix, enregistre de faibles fluctuations durant toute la journée et se démarque avec une amplitude de 1.2°C, alors qu'elle est de plus de 3°C en moyenne, pour les autres places (3.3°C pour la place Abbane, 3.4°C pour Khemisti, 3.1°C pour la place de la république). En été, la température moyenne journalière de l'air est de 29.6°C, et varie entre 26.3°C et un maximum de 33°C, relevé à 13h00 au niveau de la place Abbane. La place de la république a été plus fraîche de 2°C en moyenne. L'effet de ville est plus perceptible en hiver qu'en été, plutôt la matinée sous l'effet du rafraîchissement nocturne que l'après-midi. L'écart entre les températures de l'air relevées au niveau des quatre espaces étudiés et la station météo de référence est plus prononcé la matinée et dépasse en moyenne 7°C, alors qu'il est de 3°C l'après-midi. (Fig.3)

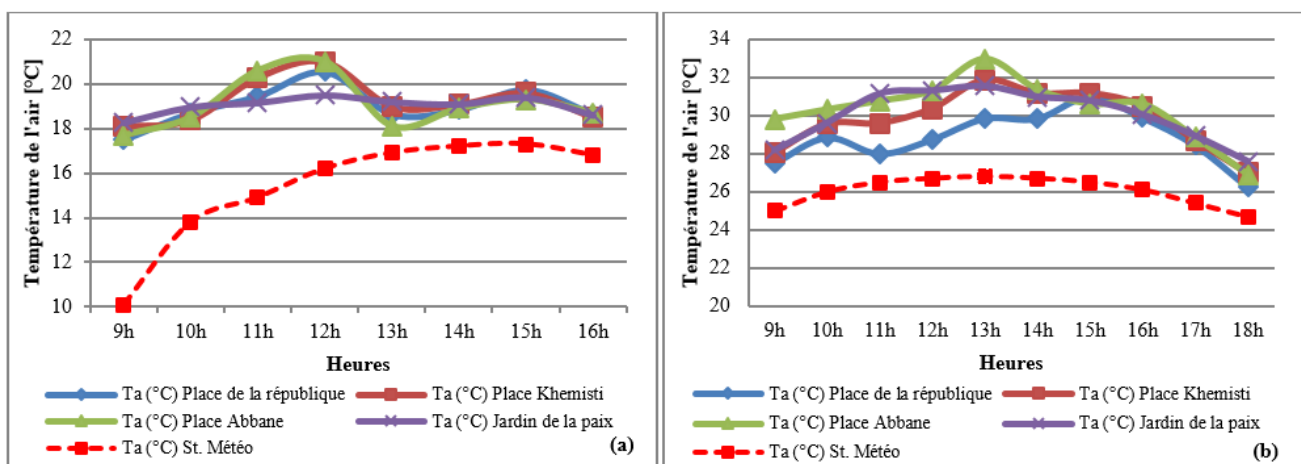


Fig. 3 – Variation de la température moyenne de l'air des espaces étudiés en (a) hiver et (b) été.

Les vitesses de l'air ont été faibles, de l'ordre de 0.1 à 1.6 m/s et n'ont pas eu l'effet escompté sur la température de l'air. Des accélérations momentanées sont constatées à différentes heures, et dans différentes places et dont l'incidence sur le rafraîchissement de l'air reste localisée. En été, les fluctuations étaient plus importantes la matinée pour toutes les places mais ne dépassent pas les 0.95 m/s en moyenne. Alors que durant l'hiver, les accélérations de vent ont caractérisé toutes les places hormis le jardin de la paix, l'après-midi plutôt que la matinée avec une vitesse maximale atteignant 1.6 m/s.

3.2 Valeurs moyennes de la température de surface (T_s)

En hiver, nous avons noté que les surfaces au sol des quatre espaces étudiés, ont un comportement différent le matin et l'après-midi. Le rafraîchissement nocturne et l'inertie des matériaux font que les températures de surface grimpent lentement le matin de 7,5°C et passent en moyenne à 16,2°C en milieu de journée. Alors que l'après-midi, nous enregistrons une fluctuation plus prononcée au fur et à mesure que l'ombre évolue sur les points de mesure et que des accélérations momentanées du vent sont enregistrées. L'impact de l'ombre est spectaculaire sur la baisse de la température de surface de 4°C en moyenne au niveau de la place de la république et la place Abbane (Fig. 4(a)).

Les places revêtues de marbre ont présenté les températures de surface les moins élevées. Elles ont enregistré respectivement un maximum de 17,95°C et 16,8°C en hiver, contre 18,8°C dans les autres places. Alors qu'en été, elles ont enregistré 40,65°C et 39°C, contre 48,8°C à la place Abbane et 47,12°C au jardin de la paix avec un déphasage d'une heure. Ce déphasage illustre la différence d'inertie en faveur des pavés en béton.

La place Abbane Ramdane avec un revêtement en carrelage granito a présenté la température de surface la plus élevée des quatre espaces étudiés en été, avec une valeur moyenne de 48,8°C à 14h00 (Fig.4(b)). Les places en marbre, de par leur albédo élevé se réchauffent lentement, mais restent du moins les places les moins chaudes, avec des écarts de température de surface pouvant atteindre en moyenne plus de 9°C. Ceci rend le marbre éligible pour une stratégie d'atténuation des effets de surchauffe constatés au niveau des autres places étudiées, dans la mesure où, ils ne contribuent pas à la détérioration de la sensation thermique pour cause de réflexivité élevée.

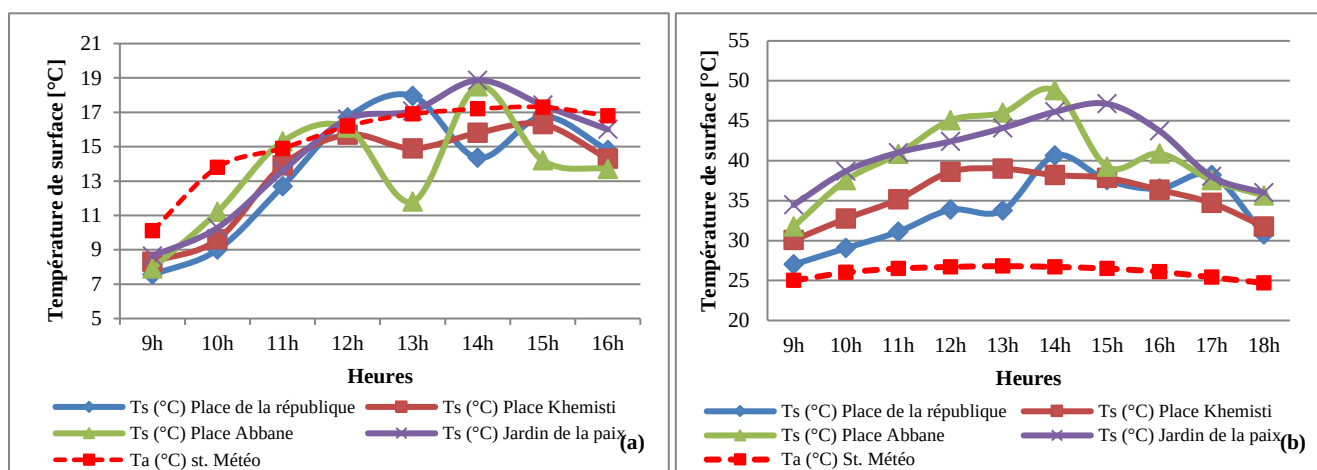


Fig. 4- Variation des valeurs moyennes de la température de surface des espaces étudiés en (a) hiver et (b) été

3.3 Valeurs moyennes de l'humidité relative de l'air

En hiver, nous avons relevé des taux d'humidité modérés oscillant entre 47% et 65% (Fig.5(a)). Le piégeage de la température au niveau du site et la chaleur anthropique influent sur les valeurs de l'humidité relative mais restent dans des limites de confort acceptables. En été, nous remarquons que la courbe de l'humidité relative au jardin de la paix, entame son inflexion et remonte à partir de 11h00, c'est-à-dire, deux heures plutôt que les autres places (Fig.5(b)). Nous pensons que c'est l'effet de l'évapotranspiration qui fait grimper les valeurs de l'humidité relative plutôt. Alors que les écarts en hiver sont moins significatifs durant toute la journée. Ils sont plus grands en été la matinée, et relativement serrés l'après-midi. Et comme l'herbe n'a aucune inertie, il est refroidi dès que le rafraîchissement naturel est enclenché.

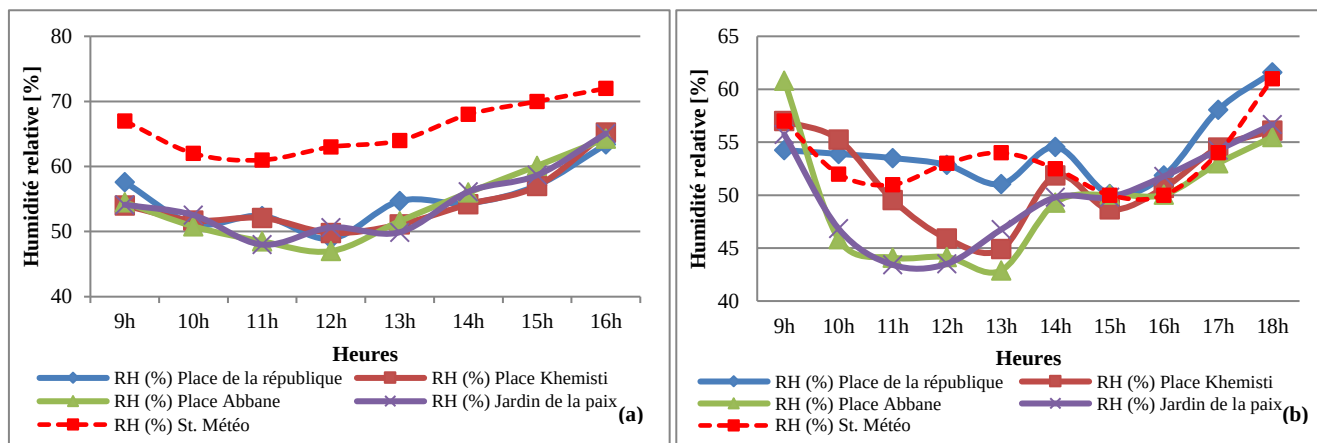


Fig. 5 – Variation des valeurs moyennes de l'humidité relative des espaces étudiés en (a) hiver et (b) été

3.4 Valeurs moyennes de la luminance

En hiver, les courbes de la luminance présentent une tendance ascendante dans les quatre espaces étudiés (Fig.6(a)). Les valeurs varient entre 646.1cd/m² et 1207.4 cd/m². Les deux places avec le revêtement en marbre se démarquent des autres espaces, affichant les valeurs les plus élevées en termes de luminance. Elles enregistrent en moyenne 30% de plus que la place Abbane Ramdane et plus de 45% que le jardin de la paix. Ce dernier avec sa texture hétérogène dominée par l'herbe, enregistre en été le taux de luminance le plus bas et de faibles amplitudes (Fig.6(b)).

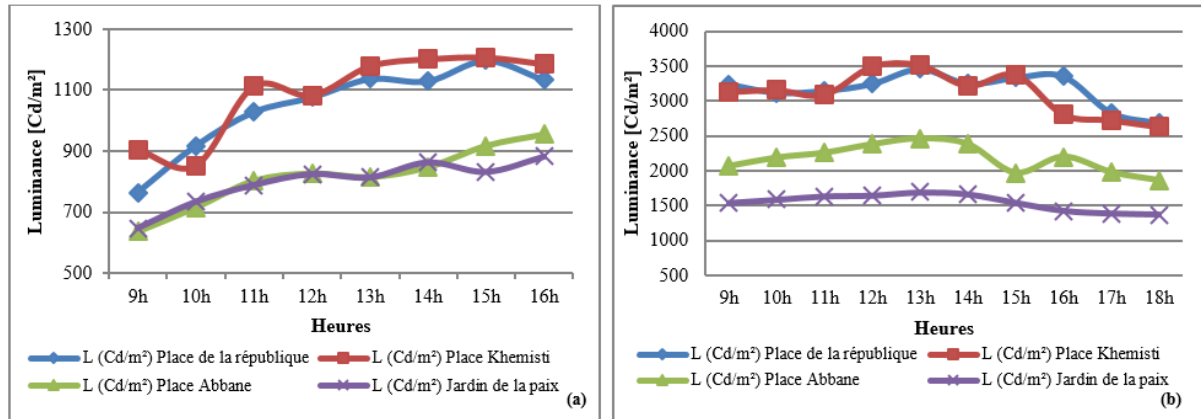


Fig. 6 – Variation des valeurs moyennes de la luminance en (a) hiver et (b) été

3.5 Incidence des matériaux sur la température de l'air

Nous avons examiné chaque revêtement à part et avons relevé les températures de l'air correspondant aux matériaux sélectionnés en hiver et en été (Fig.7). L'ardoise est le matériau le plus chaud atteignant localement, en été, une température maximale de 50.3°C à 15h00, n'entraînant qu'une légère différence de température de l'air de l'ordre de 0.3°C. Paradoxalement, c'est au niveau du carrelage granito que les températures de l'air les plus élevées sont enregistrées, en milieu de journée, dans les deux saisons. Les amplitudes des températures de surface sont plus grandes en période estivale pour tous les matériaux. Elles sont en moyenne de 14.8°C en été contre 10°C en hiver. Alors que celles des températures de l'air, elles varient de 4.7°C en été contre 2.2°C en hiver.

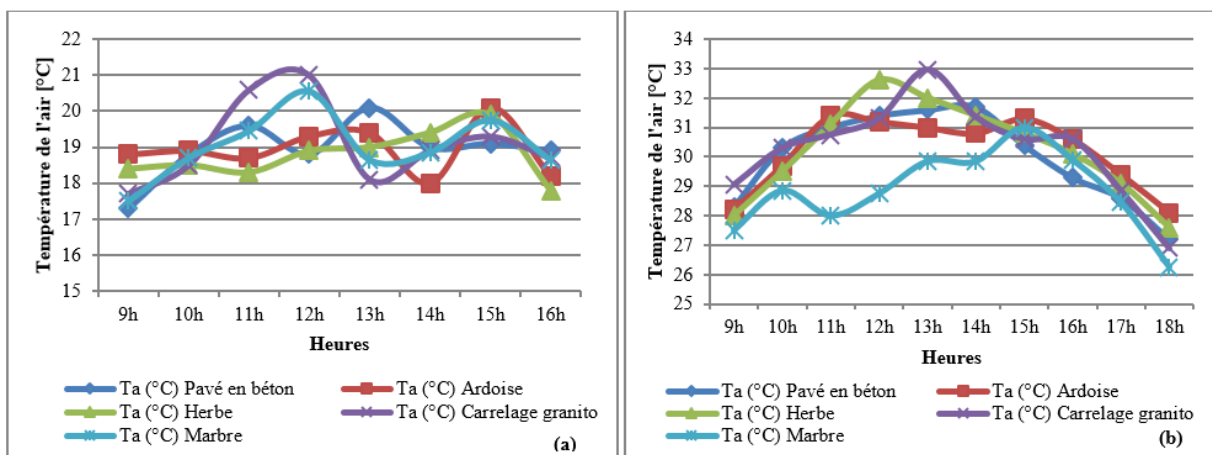


Fig. 7 – Variation de la température de l'air selon les différents matériaux sélectionnés en (a) hiver et (b) Eté

Les courbes de la température de l'air ne semblent pas suivre la même allure que celles des températures de surfaces. Par ailleurs, un écart minimal de la température de surface de 3.5°C est enregistré entre l'ardoise et la terre enherbée, entraînant une différence de (Ta) de l'ordre de 0.5°C, marquant une atténuation de 28% contre 14% pour le pavé et 8.5% pour le carrelage granito.

3.6 Etude du confort thermique

3.6.1 Résultats de l'observation et de l'enquête

Un ensemble de 444 usagers ont bien répondu au questionnaire préalablement élaboré. Les interviewés sont majoritairement masculins. En effet plus de 95% des usagers sont des hommes. La jungle féminine est présente dans des créneaux horaires bien déterminés, sinon elle ne fait que transiter. Parmi les interviewés, 64% vivent ou travaillent au centre-ville et 36% sont originaires d'autres régions limitrophes. Le profil de l'âge des sujets est plus au moins jeune. Ils sont à 25 % des adolescents, 40 % dans la tranche de 20 à 55 ans, et 35 % de plus de 55 ans. Les réponses à la question concernant la façon dont généralement les sujets fréquentent ces espaces publics montre que 40 % s'y rendent fréquemment ou quasi-quotidiennement à la terrasse du café « Le central » sur la place Abbane. 20 % y trouvent souvent un coin de repos et sont là plus de 10 fois par mois. 21 % y viennent occasionnellement (entre 5-10 fois) surtout les jours fériés ou pour la prière du vendredi. 9% des sujets n'y trouvent rien d'attrayant et ne s'arrêtent donc que rarement dans ces espaces (1-5 fois par mois). 3 % des visiteurs s'attardent pour la première fois dans ces lieux ne trouvant nulle part où aller, et 7% affirment n'être que de passage et ne font que transiter pour aller ailleurs. A noter aussi que dans la majorité des cas et à 70% des usagers, viennent en petit groupe de deux à quatre pour se délasser, discuter, rencontrer d'autres personnes, ou simplement manger le temps d'une pause-déjeuner. 25% préfèrent être seuls à la recherche du calme et se mettent à l'écart par rapport à la foule pour lire le journal, et seulement 5% des couples qui marquent un temps d'arrêt souvent accompagnés d'enfants. L'observation a montré aussi que certains endroits sont occupés presque à longueur de journée. Des personnes seules ou des groupes de personnes se relayaient à longueur de journée sur les bancs en fonte. Alors que pour d'autres, c'est le soleil et l'ombre qui rythment leur occupation des lieux. L'unité du jardin ne fait pas l'unanimité. En effet, 65% des usagers (contre 20% qui voient de la cohérence dans ce jardin) arrivent à en distinguer plusieurs zones repérables par le couvert végétal en dépit du temps qu'il fait, et qui représentent les coins de prédilection pour les jeunes. Par ailleurs, la zone centrale avec son jet- d'eau n'est remarquée qu'en période estivale pour la fraîcheur qu'elle procure aux abords de ces derniers et pendant certaines manifestations culturelles et associatives. Pour les retraités et les usagers d'un certain âge, le meilleur endroit reste celui sur l'allée centrale à proximité du fleuriste, mais ils déplorent l'insuffisance de bancs pour s'asseoir et que ceux existants, sont loin d'être confortables et n'encouragent pas des séjours prolongés, un motif qui est repris par 8% des questionnés.

En réponse à la question relative aux conditions climatiques qui peuvent constituer une entrave et empêchent les habitants citoyens à fréquenter ce jardin public, la chaleur et l'intensité du rayonnement sont évoquées en première position (45%). Le vent vient en seconde position à près de 25% des réponses et que seulement 22% des usagers ne se sentent pas accommodés à la lourdeur du temps qui caractérise le climat de la ville de Jijel et voient dans l'humidité de l'air un facteur primordial de d'inconfort qu'ils ressentent surtout en été. Concernant l'évaluation de l'environnement thermique, et sur ce point de vue précis, nous avons demandé aux usagers de rapporter leurs sensations de l'environnement thermique à travers une échelle de 9 points allant de très froid (-4) à très chaud (+4), avec neutre (0) dans le milieu. En hiver, la majorité des usagers ont exprimé leurs satisfactions envers le microclimat et l'ont qualifié de « printanier », acceptable et confortable du fait d'un glissement vers le haut des valeurs moyennes de la température de l'air. Il est à signaler que pendant le mois de juillet, l'expression de la sensation thermique était plutôt mitigée et disparates du fait de l'adaptation et du temps passé sur les lieux. En effet, la plupart des sujets ont choisi la sensation de chaleur (+2), qui est supérieure à 38% dans tous les endroits. Environ 27% des sujets ont choisi la sensation de chaleur (+3), alors que 15% ont trouvé le temps suffoquant et ont choisi la sensation extrêmement chaud (+4). Les 20% restant ont, quant à eux, exprimé leur indifférence et trouvent même le temps agréable. La faiblesse des vitesses de l'air enregistrées est un des facteurs possibles qui accentue la sensation de chaleur quand la température de l'air ambiante dépassait les 30°C pendant l'enquête.

Le total des pourcentages de +2, +3 et +4 étant proche de 80%, ce qui dénote de l'existence d'un stress thermique à longueur de journée ressenti et exprimé par les usagers. En ce qui concerne les utilisateurs du jardin de la paix, Une sensibilité à la chaleur estivale est apparue pour la catégorie d'âge supérieure à 60 ans. La répartition spatiale des personnes interrogées montre qu'en été, les visiteurs préfèrent s'asseoir dans des zones ombragées, alors qu'en hiver, les zones ensoleillées sont les plus appréciées. Cependant, comme la température élevée de l'air est un facteur qui contribue à l'inconfort, la présence et la fréquentation des lieux sont réduites de manière significative lorsque la température de l'air augmente. La préférence du soleil diffère d'une saison à l'autre, mais il est apprécié surtout en hiver. Le schéma diurne de l'utilisation de l'espace révèle également une forte dépendance aux paramètres météorologiques en l'occurrence le rayonnement solaire, l'humidité relative et la vitesse du vent. 67% des questionnés auraient préférés moins de soleil en été en y associant plus de vent et moins d'humidité. En ce qui concerne l'heure de fréquentation maximale, elle se situe en fin de journée pendant l'été, tandis qu'il y

a une translation de l'heure de fréquentation maximale vers 10h au fur et à mesure que la saison passe de l'été à l'hiver. La fréquentation diurne en hiver a été deux fois et demie plus élevée qu'en été (Fig.8). La question relative aux possibilités de refaire les revêtements du sol a révélé que le souci esthétique des lieux venait en première position par méconnaissance des usagers des propriétés optiques et thermiques des matériaux. Ces derniers, quand ils sont remarqués, sont identifiés par la couleur et le caractère surtout antidérapant. La naturalité des lieux inspire plus d'un dans le choix de l'ardoise comme matériau de prédilection à étendre dans les allées principales au lieu des pavés en béton teinté. Sa couleur sombre ne semble pas les déranger d'aucune manière en dépit des propriétés optiques et thermiques moins avantageuses que le marbre par exemple.

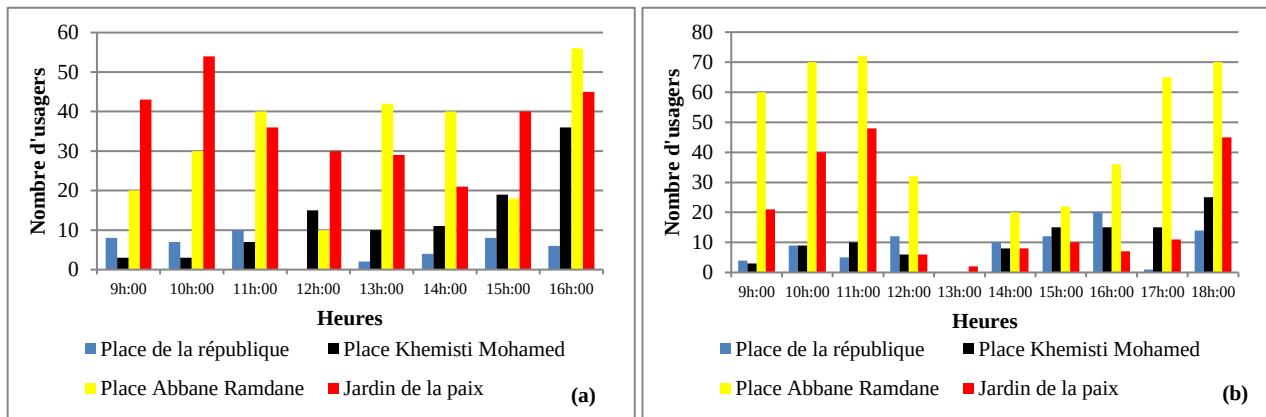


Fig. 8 – Profil journalier des fréquentations des espaces étudiés en (a) hiver et (b) été

3.6.2 Résultats de la simulation

Dans cette étude, plusieurs indices ont été calculés en utilisant le model Rayman [50], notamment PMV, PET et SET* et les classes de stress leurs correspondants déterminées. Les différences constatées parmi ces indices sont très significantes. Tous les indices de confort thermique ont augmenté avec la montée de la température de l'air (T_a), mais selon des pentes différentes et ont prédit différents niveaux de confort thermique. (T_a) s'étend largement de 17.5°C à 34.2°C. En été, la plupart des points de (T_a) se situent entre 26.3°C et 34.2°C. Sur la base des données de mesure, nous avons constaté que la température extérieure moyenne en été était de 30.2°C, ce qui est assez élevé et se situe au-delà de la limite du seuil maximal de la zone de confort du PET et du SET* mentionnées au Tableau 2. Le PMV, PET et SET* ont été corrélés et comparés pour déterminer leur précision à prédire le confort thermique extérieur des usagers en considérant les valeurs de (T_a) comme variable indépendante. La régression linéaire a révélé une corrélation modérée pour PMV et PET (R^2 compris entre 0.63 et 0.65) ; et assez faible pour SET* ($R^2=0.55$) mais restent positivement liés avec différentes pentes (Fig.9).

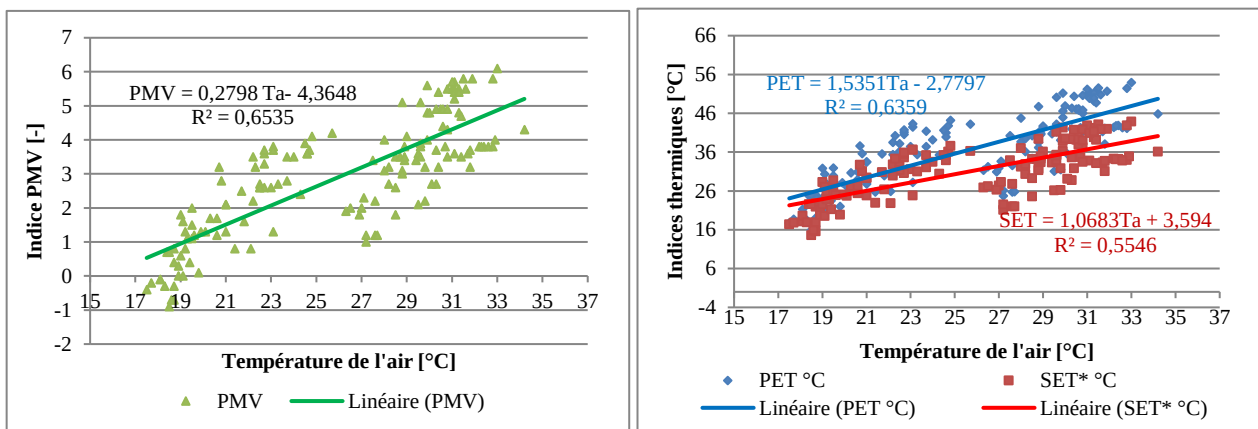


Fig. 9 – Corrélation entre les indices thermiques utilisés et la température de l'air mesurée.

L'expression du PMV en fonction de la température mesurée de l'air sur le site permet de calculer les valeurs de (T_a) pour les conditions de neutralité ($PMV=0$) et les seuils de la zone de confort ($-0.5 < PMV < +0.5$). Celles relatives au PET et

SET* sont ensuite calculées selon les équations de la régression linéaire portées sur la (Fig.9). Ainsi, la PET neutre obtenue est de 21.2°C avec un intervalle de confort compris entre 18.4°C et 23.9°C. Des valeurs qui sont plutôt proches de celles obtenues par Matzarakis et al. (18°C-23°C) dans des climats tempérés en Europe centrale et de l'ouest [50] et un peu moindres des seuils de (21.1°C-29.2°C) rapportés par Salata et al. à Rome en Italie [34]. Quant à la SET* neutre, elle est de 20.3°C avec un intervalle de confort de 18.3°C- 22.2°C, moins étendue que celle suggérées par Gagge et al. [43]. Le confort dans les espaces publics ouverts étudiés peut être apprécié en associant les classes d'indices obtenues et les catégories de stress correspondantes comme nous pouvons le voir sur le tableau 4. Les niveaux de sensation thermique dominants pour chaque place ont été déterminés. Les résultats de l'étude ont révélé que les conditions thermiques se sont détériorées surtout entre 10h00 et 16h00 et ont varié sensiblement selon les saisons, avec des niveaux de stress plus élevés en période de chauffe (PET > 41°C). Elles ont entraîné des niveaux plus élevés de stress thermique une heure plutôt (9h00-16h00) au niveau de la place Abbane.

Tableau 4 – Profils des espaces étudiés selon les indices thermiques et les catégories de stress en hiver et en été

Journées Types	time	Place de la République			Place Khemisti Mohamed			Place Abbane Ramdane			Jardin de la paix		
		PMV (-)	PET (°C)	SET* (°C)	PMV (-)	PET (°C)	SET* (°C)	PMV (-)	PET (°C)	SET* (°C)	PMV (-)	PET (°C)	SET* (°C)
12-Fév.	9:00	-0.4	17.7	17.4	-0.1	19.1	18.1	-0.2	18.7	17.8	-0.3	18.5	17.9
	10:00	0.8	25	22.8	0.7	24.7	22.6	0.7	24.8	22.6	0.6	24.2	22.5
	11:00	1.5	29.9	26.6	1.7	30.7	27.2	1.7	30.9	27.3	1.3	27.8	25.5
	12:00	1.2	28.9	25.4	2.1	33.5	29.4	2.1	33.5	29.3	1.1	28.5	25.4
	13:00	0.4	24.4	21.9	1.8	31.8	28.3	-0.1	21.3	19.6	0.8	26.8	23.8
	14:00	0.3	23.4	21.1	1.6	30.3	27	0	21.7	19.8	0	21.3	19.5
	15:00	0.1	22	19.9	1.1	25.8	23.8	1.1	25.8	23.8	0.4	23.5	21.3
	16:00	-0.3	19	17.9	-0.9	15.9	14.6	-0.7	16.9	15.6	-0.7	17	15.8
19-Juil.	9:00	3.4	40.2	33.9	3.1	38.7	32.2	4.1	42.7	36.1	3.2	39.5	32.9
	10:00	3.4	40.8	33.4	3.6	42	34.4	4.9	47.3	39.3	3.8	43.2	35.3
	11:00	4	44.8	37	5.1	50.1	41.2	4.3	46	37.3	5.4	51.4	42
	12:00	5.1	47.7	39.4	5.4	50.4	41.7	4.8	49.1	39.8	5.5	51.3	42.2
	13:00	4	44.9	36.3	5.8	51.7	42	6.1	53.9	43.9	5.8	52.5	43.1
	14:00	5.6	51.2	42.3	5.7	51.1	41.7	4.7	48.7	39.2	5.7	52.2	42.9
	15:00	5.5	50.8	41.9	5.5	50.9	42	4.4	46.8	37.9	5.5	50.6	41.8
	16:00	4.8	46.6	38.8	4.9	47.1	39.2	4.9	47.2	39.3	4.8	47.9	39.5
	17:00	3.5	40.2	34.2	3.5	40.4	34.2	3.5	40.6	34.3	3.8	41.6	34.9
	18:00	1.9	31.3	26.9	2	31.9	27.4	1.8	30.9	26.3	2.2	32.6	27.8

Very cold	Cold	Cool	Slightly cool	Comfortable	Slightly warm	Warm	Hot	Very hot
Extreme cold stress	Strong cold stress	Moderate cold stress	Slight cold stress	No thermal stress	Slight heat stress	Moderate heat stress	Strong heat stress	Extreme heat stress

L'expression du PMV en fonction de la température mesurée de l'air sur le site permet de calculer les valeurs de (Ta) pour les conditions de neutralité (PMV=0) et les seuils de la zone de confort (-0.5<PMV<+0.5). Celles relatives au PET et SET* sont ensuite calculées selon les équations de la régression linéaire portées sur la (Fig.9). Ainsi, la PET neutre obtenue est de 21.2°C avec un intervalle de confort compris entre 18.4°C et 23.9°C. Des valeurs qui sont plutôt proches de celles obtenues par Matzarakis et al. (18°C-23°C) dans des climats tempérés en Europe centrale et de l'ouest [50] et un peu moindres des seuils de (21.1°C-29.2°C) rapportés par Salata et al. à Rome en Italie [34]. Quant à la SET* neutre, elle est de 20.3°C avec un intervalle de confort de 18.3°C- 22.2°C, moins étendue que celle suggérées par Gagge et al. [43]. Le confort dans les espaces publics ouverts étudiés peut être apprécié en associant les classes d'indices obtenues et les catégories de stress correspondantes comme nous pouvons le voir sur le tableau 4. Les niveaux de sensation thermique dominants pour chaque place ont été déterminés. Les résultats de l'étude ont révélé que les conditions thermiques se sont détériorées surtout entre 10h00 et 16h00 et ont varié sensiblement selon les saisons, avec des niveaux de stress plus élevés en période de chauffe

(PET > 41°C). Elles ont entraîné des niveaux plus élevés de stress thermique une heure plutôt (9h00-16h00) au niveau de la place Abbane.

Les trois indices thermiques ont prédit des niveaux de confort différents dans un même espace. En effet, la place Khemisti représente le cas le plus défavorable en hiver, avec seulement 16.66% du total des points mesurés, tous indices confondus, sont dans la zone de confort, où les températures de l'air varient entre 17.5°C et 21°C et où aucun stress thermique n'est signalé. Alors que dans les autres espaces étudiés, le niveau de confort varie entre 33.33% et 37.5%. Par ailleurs, nous notons un léger stress thermique (32.29%), et dans une proportion moindre, un léger stress dû au froid (18.75%). En élargissant la zone de confort ($-1.5 < PMV < +1.5$ pour une sensation ni trop chaud ni trop froid), nous atteignons 81 % du total des points, ce qui confirme la douceur du climat constatée en ce début de l'année 2019. Par contre, en été, où les températures de l'air ont varié entre 26.3°C et 34.2°C, seulement 3% des points ont présenté un léger stress thermique, surtout en fin de journée à 18h00. Ceci est dû essentiellement au rafraîchissement naturel enclenché à partir de 17h00 et le déclin de la hauteur du soleil. Cependant, 83.34% du total des points mesurés ont montré une prédisposition à provoquer une situation d'inconfort total avec 66.67% de « stress extrême de chaleur » et 16.67% de « fort stress thermique », ce qui est largement supérieur aux réponses données par les personnes questionnées (environ 27% des sujets ont choisi la sensation de chaleur (+3) « très chaud », alors que 15% ont trouvé le temps suffoquant et ont choisi la sensation « extrêmement chaud » (+4)). Et donc, seulement 42% de fort stress thermique réellement exprimé, représente presque la moitié de la valeur donnée par la simulation (83.34%). La perception humaine de l'environnement thermique n'obéissait pas seulement aux facteurs climatiques, mais aussi aux facteurs psychologiques et physiologiques qui impliquent l'adaptation et l'acclimatation. Les facteurs physiques caractérisant le microclimat ne peuvent donc décrire à eux seuls le bilan thermique des utilisateurs. En outre, cette étude révèle que dans les zones non ombragées au sein du jardin public, le nombre de visiteurs a augmenté suite à l'amélioration des conditions thermiques pendant l'hiver où il a fait plus doux que d'habitude, alors qu'il a considérablement diminué pendant la saison chaude. Ainsi les usagers du jardin de la paix n'ont pas fait preuve de tolérance à la chaleur pendant la saison chaude. Les résultats montrent que la perception de l'inconfort thermique l'emporte en été à 83% de fort stress thermique à stress extrême, lié au rayonnement intense et la faiblesse du mouvement de l'air, ce qui explique ainsi, la baisse de la fréquentation des lieux entre 11h00 et 17h00.

Avec sa surface hétérogène et sa dominance végétale naturelle, le jardin de la paix présente le comportement le plus modéré sur le plan thermique et le plus intéressant sur le plan des perceptions et sensations thermiques exprimés par les usagers. L'effet des surfaces végétalisées et en particulier, la présence d'arbres est indéniable sur l'expression du confort en général. Ils restent la meilleure stratégie de refroidissement et la plus efficace par l'effet d'ombrage qu'ils prodiguent, en concordance avec les conclusions de Morille et Musy [51]. Des écueils néanmoins, peuvent être émis dans le cas du jardin de la paix quant à la reconduction du choix des palmiers comme espèce dominant le paysage. La présence du plan d'eau fragmenté en quatre bassins au milieu du jardin a abaissé significativement les températures de surface, mais son effet sur le confort thermique reste localement limité. La place avec un carrelage granito présente le cas le plus défavorable avec des pics de températures de surface de 48.8°C en été, entraînant des hausses de température de l'air de 0.7°C par rapport à l'ardoise placée dans les allées périphériques du jardin de la paix, qui reste localement le matériau le plus chaud avec des pics ponctuels en été atteignant les 50.3°C. Son effet sur la température de l'air semble être atténué par les surfaces végétales avec lesquelles il interagit. Par ailleurs, les places avec un matériau hautement réfléchissant comme le marbre blanc-gris réduisent sensiblement la température de l'air. Ils augmentent cependant, le reflet du rayonnement solaire et incommode les usagers temporaires ou permanents de ces espaces. La majorité des utilisateurs citent la réflexion des surfaces au sol comme un facteur important pour déterminer s'il faut prolonger ou non leur séjour. D'autre part, le rôle des matériaux clairs et lisses dans le maintien d'une température de surface inférieure, par opposition aux matériaux foncés et rugueux, a été établi et confirmé par les mesures in situ.

4 Conclusion

Dans cet article, l'évaluation du confort dans une place et un jardin public a été effectuée par le biais d'une investigation expérimentale associant mesures, simulation et enquête par questionnaire. Les résultats confirment qu'un choix approprié des matériaux de revêtements urbains réfléchissants contribue à réduire les températures de surface qui à leurs tours se répercutent sur la température de l'air ambiant avec un degré d'incidence d'autant plus grand que les capacités réfléchissantes sont moindres. D'autre part, la compréhension de leur comportement thermique constitue un outil adéquat d'aide à la décision pour les différents acteurs de la ville. Les matériaux froids comme le marbre, sont largement reconnus pour abaisser les températures

de surface et de l'air, et contribuent à l'atténuation de l'îlot de chaleur urbain, ils suscitent néanmoins des préoccupations relatives à leur impact sur la perception du confort visuel.

En été, le rayonnement global était le plus important facteur affectant le confort humain. L'inconfort thermique est exprimé à 83% en été dans les catégories de sensation « fort stress thermique à stress extrême », lié au rayonnement intense et la faiblesse du mouvement de l'air. Les résultats de l'enquête ont été confrontés aux statistiques corrélationnelles du PMV, PET et SET*. La relation statistique entre la PET et le vote moyen de la sensation thermique confirme que les usagers ont connu des pourcentages de malaise et de stress thermique assez élevés. En ce qui concerne la configuration spatiale des zones de préférences des usagers, des relations étroites ont été trouvées entre les sensations thermiques et le niveau d'ombrage, la vitesse du vent et l'albédo à travers sa composante visible, la luminance. La composante végétale avec arbres à ombrage dense reste la stratégie la plus efficace pour le refroidissement des surfaces au sol et améliore le confort thermique dans les espaces urbains extérieurs. Son impact sur la température de l'air n'a pas dépassé 0,3°C, alors que les surfaces enherbées, même non arrosées, l'ont abaissée de 0,5°C, marquant une atténuation de 28% contre 14% pour les pavés en béton teinté et 8,5% pour les carreaux de granite. L'ardoise noire brute et rugueuse reste localement le matériau le plus chaud avec des pics ponctuels en été de 50,3°C. Ce matériau est donc à proscrire comme revêtements au sol dans de tels environnements. Les résultats révèlent l'importance de l'albédo des revêtements sur le profil thermique des espaces publics extérieurs et la nécessité d'une meilleure connaissance des propriétés thermoradiative des matériaux avant leur usage. Toutes fois, l'effet des surfaces aurait pu être plus grand si un arrosage d'appoint a été prévu en été pendant la période de stress hydrique.

L'indice PET a été le plus approprié pour évaluer le confort thermique extérieur à Jijel. La température physiologique équivalente sans stress thermique, exprimée et acceptée par plus de 80% des usagers, est comprise entre (18.4 et 23.9°C) atteignant des conditions de neutralité à 21.2°C. Un calibrage est néanmoins nécessaire pour plus de précision pour servir de base théorique et de référence technique pour la conception des espaces ouverts urbains et l'amélioration des activités de plein air. Les recherches futures devraient se concentrer sur l'étude du confort thermique extérieur sur une base plus large et l'étendre aux quatre saisons de l'année en incluant des mesures nocturnes pour l'appréciation de l'effet de l'îlot de chaleur urbain effectif.

REFERENCES

- [1]- S. Kramar, V. Zalar, M. Urosevic, W. Körner, A. Mauko, B. Mirtič, J. Lux, A. Mladenović, Mineralogical and microstructural studies of mortars from the bath complex of the Roman villa rustica near Mošnje (Slovenia). *Mater. Charact.*, 62(11) (2011) 1042-1057. doi:10.1016/j.matchar.2011.07.019.
- [2]- M. Nikolopoulou, S. Lykoudis, Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Build. Environ.*, 41(11) (2006) 1455-1470. doi:10.1016/j.buildenv.2005.05.031.
- [3]- O. Potchter, P. Cohen, T.-P. Lin, A. Matzarakis, Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Sci. Total Environ.*, 631-632 (2018) 390-406. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.02.276.
- [4]- D. Lai, C. Zhou, J. Huang, Y. Jiang, Z. Long, Q. Chen, Outdoor space quality: A field study in an urban residential community in central China. *Energy Build.*, 68 (2014) 713-720. doi:10.1016/j.enbuild.2013.02.051.
- [5]- L. Chen, E. Ng, Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. *Cities*, 29(2) (2012) 118-125. doi:10.1016/j.cities.2011.08.006.
- [6]- M. Taleghani, U. Berardi, The effect of pavement characteristics on pedestrians' thermal comfort in Toronto. *Urban Climate*, 24 (2018) 449-459. doi:10.1016/j.uclim.2017.05.007.
- [7]- J. Djekic, A. Djukic, M. Vukmirovic, P. Djekic, M. Dinic Brankovic, Thermal comfort of pedestrian spaces and the influence of pavement materials on warming up during summer. *Energy Build.*, 159 (2018) 474-485. doi:10.1016/j.enbuild.2017.11.004.
- [8]- L. Doulos, M. Santamouris, I. Livada, Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy*, 77(2) (2004) 231-249. doi:10.1016/j.solener.2004.04.005.
- [9]- N.L. Alchapar, E.N. Correa, M.A. Cantón, Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. *Energy Build.*, 69 (2014) 22-32. doi:10.1016/j.enbuild.2013.10.012.
- [10]- S.Q.d.S. Hirashima, E.S.d. Assis, M. Nikolopoulou, Daytime thermal comfort in urban spaces: A field study in

- Brazil. *Build. Environ.*, 107 (2016) 245-253. doi:10.1016/j.buildenv.2016.08.006.
- [11]- I.A. Balogun, M.T. Daramola, The outdoor thermal comfort assessment of different urban configurations within Akure City, Nigeria. *Urban Climate*, 29 (2019) 100489. doi:10.1016/j.uclim.2019.100489.
- [12]- H. Tebbani, Y. Bouchahm, Caractérisation du confort thermique dans les espaces extérieurs : Cas de la ville d'Annaba. *Nature & Technology, C- Sciences de l'Environnement*, n° 15/ Juin 2016 (2016).
- [13]- S. Achour-Younsi, F. Kharrat, Outdoor Thermal Comfort: Impact of the Geometry of an Urban Street Canyon in a Mediterranean Subtropical Climate – Case Study Tunis, Tunisia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216 (2016) 689-700. doi:10.1016/j.sbspro.2015.12.062.
- [14]- T. Sharmin, K. Steemers, A. Matzarakis, Analysis of microclimatic diversity and outdoor thermal comfort perceptions in the tropical megacity Dhaka, Bangladesh. *Build. Environ.*, 94 (2015) 734-750. doi:10.1016/j.buildenv.2015.10.007.
- [15]- D. Lai, D. Guo, Y. Hou, C. Lin, Q. Chen, Studies of outdoor thermal comfort in northern China. *Build. Environ.*, 77 (2014) 110-118. doi:10.1016/j.buildenv.2014.03.026.
- [16]- L. Liu, Y. Lin, Y. Xiao, P. Xue, L. Shi, X. Chen, J. Liu, Quantitative effects of urban spatial characteristics on outdoor thermal comfort based on the LCZ scheme. *Build. Environ.*, 143 (2018) 443-460. doi:10.1016/j.buildenv.2018.07.019.
- [17]- C.K.C. Lam, A.J.E. Gallant, N.J. Tapper, Perceptions of thermal comfort in heatwave and non-heatwave conditions in Melbourne, Australia. *Urban Climate*, 23 (2018) 204-218. doi:10.1016/j.uclim.2016.08.006.
- [18]- K. Lindner-Cendrowska, K. Błażejczyk, Impact of selected personal factors on seasonal variability of recreationist weather perceptions and preferences in Warsaw (Poland). *Int. J. Biometeorol.*, 62(1) (2018) 113-125. doi:10.1007/s00484-016-1220-1.
- [19]- H. Gherraz, I. Guechi, A. Benzaoui, Strategy to Improve Outdoor Thermal Comfort in Open Public Space of a Desert City, Ouargla, Algeria. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 151 (2018) 012036. doi:10.1088/1755-1315/151/1/012036.
- [20]- A. Hanafi, D. Alkama, Role of the urban vegetal in improving the thermal comfort of a public place of a contemporary Saharan city. *Energy Procedia*, 119 (2017) 139-152. doi:10.1016/j.egypro.2017.07.061.
- [21]- [21]- S. Louafi, S. Abdou, S. Reiter, Effect of vegetation cover on thermal and visual comfort of pedestrians in urban spaces in hot and dry climate. *Nature & Technology, Vol. C : Environnemental Sciences*, 17 (2017) 30-42.
- [22]- X. Liang, W. Tian, R. Li, Z. Niu, X. Yang, X. Meng, L. Jin, J. Yan, Numerical investigations on outdoor thermal comfort for built environment: case study of a Northwest campus in China. *Energy Procedia*, 158 (2019) 6557-6563. doi:10.1016/j.egypro.2019.01.077.
- [23]- M.H. Elnabawi, N. Hamza, Behavioural Perspectives of Outdoor Thermal Comfort in Urban Areas: A Critical Review. *Atmosphere*, 11(1) (2020). doi:10.3390/atmos11010051.
- [24]- C.R. de Freitas, E.A. Grigorieva, A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices. *Int. J. Biometeorol.*, 61(3) (2017) 487-512.
- [25]- C. De Freitas, E. Grigorieva, A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. *Int. J. Biometeorol.*, 59 (2015). doi:10.1007/s00484-014-0819-3.
- [26]- E. Johansson, S. Thorsson, R. Emmanuel, E. Krüger, Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. *Urban Climate*, 10 (2014) 346-366. doi:10.1016/j.uclim.2013.12.002.
- [27]- K. Pantavou, M. Santamouris, D. Asimakopoulos, G. Theoharatos, Empirical calibration of thermal indices in an urban outdoor Mediterranean environment. *Build. Environ.*, 80 (2014) 283-292. doi:10.1016/j.buildenv.2014.06.001.
- [28]- S. Cocco, J. Kämpf, J.-L. Scartezzini, D. Pearlmutter, Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards. *Urban Climate*, 18 (2016) 33-57. doi:10.1016/j.uclim.2016.08.004.
- [29]- Z. Fang, X. Feng, Z. Lin, Investigation of PMV Model for Evaluation of the Outdoor Thermal Comfort. *Procedia Eng.*, 205 (2017) 2457-2462. doi:10.1016/j.proeng.2017.09.973.
- [30]- D. Fröhlich, M. Gangwisch, A. Matzarakis, Effect of radiation and wind on thermal comfort in urban environments - Application of the RayMan and SkyHelios model. *Urban Climate*, 27 (2019) 1-7. doi:10.1016/j.uclim.2018.10.006.
- [31]- S. Zare, N. Hasheminejad, H.E. Shirvan, R. Hemmatjo, K. Sarebanzadeh, S. Ahmadi, Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. *Weather and Climate Extremes*, 19 (2018) 49-57. doi:10.1016/j.wace.2018.01.004.
- [32]- M. Tsitoura, T. Tsoutsos, T. Daras, Evaluation of comfort conditions in urban open spaces. Application in the island

- of Crete. *Energy Convers. Manage.*, 86 (2014) 250-258. doi:10.1016/j.enconman.2014.04.059.
- [33]- G. Roshan, H. Saleh Almomenin, S.Q. da Silveira Hirashima, S. Attia, Estimate of outdoor thermal comfort zones for different climatic regions of Iran. *Urban Climate*, 27 (2019) 8-23. doi:10.1016/j.uclim.2018.10.005.
- [34]- F. Salata, I. Golasi, R. de Lieto Vollaro, A. de Lieto Vollaro, Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A transversal study in Rome, Italy. *Build. Environ.*, 96 (2016) 46-61. doi:10.1016/j.buildenv.2015.11.023.
- [35]- M.H. Elnabawi, N. Hamza, S. Dudek, Thermal perception of outdoor urban spaces in the hot arid region of Cairo, Egypt. *Sustainable Cities and Society*, 22 (2016) 136-145. doi:10.1016/j.scs.2016.02.005.
- [36]- J. Huang, C. Zhou, Y. Zhuo, L. Xu, Y. Jiang, Outdoor thermal environments and activities in open space: An experiment study in humid subtropical climates. *Build. Environ.*, 103 (2016) 238-249. doi:10.1016/j.buildenv.2016.03.029.
- [37]- K. Pantavou, S. Lykoudis, M. Nikolopoulou, I.X. Tsiros, Thermal sensation and climate: A comparison of UTCI and PET thresholds in different climates. *Int. J. Biometeorol.*, 62(9) (2018) 1695-1708.
- [38]- L. Li, X. Zhou, L. Yang, The Analysis of Outdoor Thermal Comfort in Guangzhou during Summer. *Procedia Eng.*, 205 (2017) 1996-2002. doi:10.1016/j.proeng.2017.10.070.
- [39]- P. Cohen, O. Potchter, A. Matzarakis, Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments. *Applied Geography*, 37 (2013) 1-10. doi:10.1016/j.apgeog.2012.11.001.
- [40]- A. Bouchair, External environmental temperature: proposed new formulation. *Building Services Engineering Research and Technology*, 22(3) (2001) 133-156.
- [41]- A. Matzarakis, F. Rutz, H. Mayer, Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. *Int. J. Biometeorol.*, 51(4) (2007) 323-334.
- [42]- P. Höppe, The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.*, 43(2) (1999) 71-75. doi:10.1007/s004840050118.
- [43]- A.P. Gagge, A. Fobelets, L. Berglund, A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE trans*, 92(2) (1986) 709-731.
- [44]- T. Xi, Q. Li, A. Mochida, Q. Meng, Study on the outdoor thermal environment and thermal comfort around campus clusters in subtropical urban areas. *Build. Environ.*, 52 (2012) 162-170. doi:10.1016/j.buildenv.2011.11.006.
- [45]- P.O. Fanger, Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Danish Technical Press, Copenhagen, (1970).
- [46]- G. Jendritzky, W. Nübler, A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. *Archives for meteorology, geophysics, and bioclimatology, Series B*, 29(4) (1981) 313-326. doi:10.1007/bf02263308.
- [47]- W.G. Cochran, Sampling techniques, John Wiley & Sons. (2007).
- [48]- A. ASHRAE, Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy, Ashrae Atlanta. (2004).
- [49]- ISO-7726, Thermal environments—Specifications relating to appliances and methods for measuring physical characteristics of the environment. Geneva: International Standard (2003).
- [50]- A. Matzarakis, F. Rutz, H. Mayer, Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *Int. J. Biometeorol.*, 54(2) (2010) 131-139.
- [51]- B. Morille, M. Musy, Comparison of the Impact of Three Climate Adaptation Strategies on Summer Thermal Comfort – Cases Study in Lyon, France. *Procedia Environmental Sciences*, 38 (2017) 619-626. doi:10.1016/j.proenv.2017.03.141.