

## Effect of urban morphology on thermal comfort in outdoor spaces: the case of the red village-El Kantara-Biskra

### *L'effet de la morphologie urbaine sur le confort thermique en espaces extérieurs : cas du village rouge-El Kantara-Biskra*

Sara Sedira<sup>1</sup>✉, Said Mazouz<sup>2</sup>

1 Laboratoire de Conception et de Modélisation des Formes et des Ambiances (LaCoMoFA), Université de Biskra, 145 BP RP, 07000, Biskra, Algeria

2 Université Larbi ben Mhidi, 1er Novembre 1954, Oum el Bouaghi 04000, Oum El Bouaghi, Algeria

Received 1 July 2017

Published online: 26 May 2018

#### Keywords

Urban morphology

Urban microclimate

Outdoor thermal comfort

Warm and arid climate

Mean radiant temperature

**Abstract:** Climate urban design is today a topical issue dealt with in many recent studies. This paper aims to test the influence of urban morphology on external climatic conditions and the urban microclimate by dealing with the quantitative aspects of thermal comfort and the assessment of the thermal environment from an objective point of view. This is based on an on-site investigation based on the correlation between the geometry of the street, its orientation and the evolution of the physical variables (Ta, Tg, HR, Va). The measures were the subject of a campaign carried out in the urban fabric of the Ksar of Dachra El-Hamra (the red village), the first nucleus of the city of El Kantara in the wilaya of Biskra. The objective is to define the most efficient urban geometry in terms of summer thermal comfort by studying the true impacts of urban form on solar control and microclimatic conditions in arid regions. The evaluation of the thermal comfort in these external spaces is carried out by analyzing the calculated physiological temperature (PET) values based on the measured microclimatic parameters. The analysis of the results obtained from the investigation enabled us to demonstrate the considerable effect of the sky view factor, calculated by Rayman Pro 2.1 software, on the thermal fluctuations in the street.

© 2018 The authors. Published by the Faculty of Sciences & Technology, University of Biskra. This is an open access article under the CC BY license.

**Résumé:** L'urbanisme climatique constitue aujourd'hui un sujet d'actualité traité dans nombreuses études récentes. Le présent article vise à tester l'influence de la morphologie urbaine sur les conditions climatiques extérieures et le microclimat urbain en traitant des aspects quantitatifs du confort thermique et l'évaluation de l'ambiance thermique de point de vue objectif. Ceci s'appuie sur une investigation sur site basée sur la corrélation entre la géométrie de la rue, son orientation et l'évolution des variables physiques (Ta, Tg, HR, Va). Les mesures ont fait l'objet d'une campagne menée dans le tissu urbain du ksar de Dachra El-Hamra (le village rouge), le premier noyau de la ville d'El-Kantara dans la wilaya de Biskra. L'objectif est d'arriver à définir la géométrie urbaine la plus performante en termes de confort thermique d'été en étudiant les véritables impacts de la forme urbaine sur le contrôle solaire et les conditions microclimatiques dans les régions arides. L'évaluation du confort thermique dans ces espaces extérieurs s'effectue en analysant les valeurs de la température physiologique équivalente (PET) calculées en se basant sur les paramètres microclimatiques mesurés. L'analyse des résultats acquis de l'investigation nous a permis de démontrer l'effet considérable du facteur de vue du ciel, calculé par le logiciel Rayman pro 2.1, sur les fluctuations thermiques dans la rue.

**Mots clés :** morphologie urbaine ; microclimat urbain ; confort thermique extérieur ; climat chaud et sec ; température moyenne radiante.

## 1. Introduction

Depuis l'antiquité, l'homme a essayé de créer un environnement thermique confortable, et cela se reflète nettement dans l'architecture et l'urbanisme de cette époque, (Givoni 1978). Aujourd'hui, ce souci est devenu une préoccupation majeure à prendre en considération dès les premières phases de la conception urbaine. L'ambiance urbaine est la conjugaison de l'ensemble des phénomènes climatiques dictés par la morphologie urbaine en considérant le ratio H/L et l'orientation de la rue comme étant les facteurs clés pour obtenir un microclimat confortable pour les piétons dans un canyon urbain car ils influent directement l'écoulement du vent et l'accès au soleil dans le canyon urbain, (Shishegar 2013).

Depuis quelques décennies, L'influence des paramètres climatologiques sur les conditions de confort à l'échelle urbaine a motivé de nombreux travaux de recherche. Les spécialistes en climatologies urbaine ont cherché à évaluer le confort thermique dans les espaces extérieurs, qui a acquis ses lettres de noblesse et devient d'une importance similaire au confort intérieur, largement abordé (Ali-Toudert et al. 2005 ; Ali-Toudert et Mayer 2006 ; Bourbia et Awbi 2004 ; Johansson 2006 ; Lee et al. 2016 ; Stathopoulos et al. 2004).

Le confort thermique est défini par la société (ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers INC, Wessel 2001) comme une condition de bien-être psychophysique de l'individu vis-à-vis l'ambiance environnante.

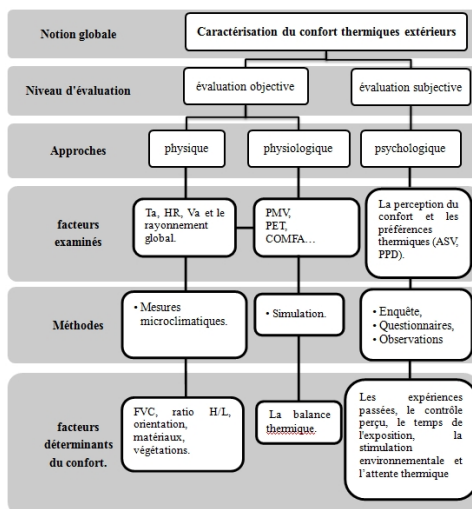
✉ Corresponding author. E-mail address: sedirasara@gmail.com

**Nomenclature**

FVC	Facteur de vue du ciel	Ta	Température de l'air
H/L	Rapport Hauteur du bâtiment / Largeur de la chaussée	Tg	Température globale
HR	Humidité relative	Tmrt	Température moyenne radiante
PET	Température physiologique équivalente	Va	Vitesse de l'air
SPO	Surface partielle ombragée	VP	Pression de vapeur

L'évaluation de cet état subjectif peut être objectivée et quantifiée au moyen d'indices thermiques intégrés qui prennent en compte, surtout, des paramètres microclimatiques ambiants (Ta, Tmrt, Va, HR). Il s'agit d'une notion complexe et globale en raison de la multiplicité des paramètres qui interagissent et influencent son évaluation nécessitant la prise en compte de facteurs objectifs ainsi que subjectifs (Nikolopoulou et al. 2001) et traduit par les facteurs psychologiques tels que : les expériences passées, le contrôle perçu, le temps de l'exposition, la stimulation environnementale et l'attente thermique car une approche purement physiologique est insuffisante pour la caractérisation du confort thermique dans les espaces extérieurs, en démontrant l'importance de l'historique thermique et les attentes thermiques des usagers sur l'évaluation et la satisfaction subjective, (Nikolopoulou et Steemers 2003). Le confort thermique subjectif a reçu une attention accrue au cours de la dernière décennie, avec un nombre d'études augmente chaque année, (Johansson et al. 2014).

La climatologie urbaine a connu une évolution de la recherche sur la corrélation entre la forme urbaine, les caractéristiques morphologiques, les matériaux et le microclimat urbain en accommodant des méthodes spécifiques et diversifiées. Selon les différents modes d'adaptation du corps humain, l'adaptation physique, physiologique et psychologiques (AHMED OUAMEUR 2007). Les chercheurs spécialisés de la climatologie urbaine ont mis au point nombre d'approches et de méthodes pour l'évaluation (Fig. 1). Ils ont conclu que le confort thermique n'est pas seulement influencé par les réponses physiologiques liés au système de régulation vis-à-vis les variables microclimatiques, mais aussi, par l'adaptation psychologique et sociale inévitable



**Fig. 1.** Schéma récapitulatifs des différents types d'investigations utiles à l'évaluation du confort thermique dans les espaces extérieurs.

qui présente le degré d'adaptation des usagers aux conditions extérieures. En considérant que l'adoption de l'approche seulement n'est pas suffisante pour une évaluation convaincante et fiable du confort thermique dans un espace extérieur (Makaremi et al. 2012 ; Louafi et Abdou 2013; Boussoulim 2002; Thorsson et al. 2004).

**2. Présentation du cas d'étude**

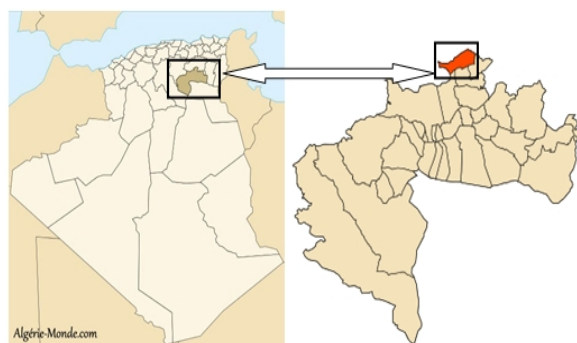
La Dachra El-Hamra (le village rouge) est un tissu traditionnel de l'ère précoloniale. C'est le premier noyau d'El Kantara qui constitue, par son ouverture sur le désert et par sa richesse en palmiers dattiers (plus de 50000), le portail de la transition entre deux régions dont les aspects climatiques carrément sont différents : le nord et le sud algériens, (Fig. 2). C'est une oasis située dans la wilaya de Biskra à 50 km au nord de la ville et dans le sud-ouest des Aurès à 80 km de Batna (Hamouda et Outtas 2011).

La Dachra El Hamra est une entité compacte qui se caractérise par un tissu urbain très dense dont les rues sont étroites et non revêtues, et par le type dominant des habitats construits selon le style architectural saharien. Les rues, les ruelles en chicane, les impasses (Z'gag), les passages couverts (Skifa), les placettes (Rahba ou Batha) sont les éléments constitutifs de la trame viaire conçus en conformité avec le style des vieilles villes (Ksour) et selon le modèle introverti de médina arabo-islamique (Hamouda et Outtas 2011; Lebsir 2010).

**3. Méthode**

**3.1 Déroulement de l'investigation**

On peut considérer que quatre variables externes affectent principalement les conditions du confort thermique extérieur. Il s'agit du rayonnement énergétique, du vent, de l'humidité et de la température extérieure. Donc, il est impératif de mesurer les changements microclimatiques dans le tissu urbain étudié, dus



**Fig. 2.** Carte administrative de l'Algérie et la localisation d'El Kantara dans la wilaya de Biskra.

aux différences morphologiques urbaines. Afin de déterminer la température moyenne radiante nécessaire au calcul du PET, l'indice adopté à l'évaluation du confort thermique dans le site d'étude, il est inévitable d'examiner les quatre paramètres climatiques principaux préalablement cités, mesurés à l'aide de l'instrument : « TESTO data logger 480 » par lequel, on a mesuré la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air à la hauteur de 1,1 m, retenue comme la hauteur du centre de la gravité du corps humain, selon les normes européennes. Nous avons également utilisé le même moyen « TESTO data logger 480 » inséré dans une boule noire de 5 cm de diamètre pour la mesure de la température d'un thermomètre à globe. Les mesures ont été effectuées durant les journées les plus chaudes de l'année, autrement dit « les journées typiques d'été », en se basant dans le choix sur les températures journalières moyennes au cours d'une décennie issues de la station météorologique de la ville. Les mesures nous ont montré que la période entre le 27 Juillet et le 04 Aout est celle où le stress thermique atteint ses valeurs maximales. Dans cette période, on a choisi le 29-30 juillet pour l'élaboration de l'investigation et en les considérant les journées ayant les conditions typiques d'été.

Afin d'évaluer le confort thermique par l'indice thermique PET considéré selon (Johansson et al. 2014) comme l'indice le plus utilisé dans les études sur le confort thermique en espaces extérieurs, on doit calculer, tout d'abord, la température moyenne radiante par la méthode B décrite par Thorsson et al. (2007), en se basant sur les variables climatiques préalablement mesurés et la température globale, selon la formule suivante :

$$T_{mrt} = [(T_g + 237)^4 + 2,5 \times 10^8 \times V_a^{0,6} \times (T_g - T_a)]^{1/4} - 237$$

### 3.2. Localisation et représentation des points de mesure

Le choix des points de mesures est la résultante d'une analyse typo morphologique du tissu urbain du cas d'étude, afin de cerner les différentes typologies existantes de l'espace extérieur (Fig. 3). Chaque point de mesure décrit des caractéristiques géométriques distinctes reflétant la diversité spatiale en vue de caractériser l'effet de cette dernière sur le confort thermique et la fluctuation de l'environnement thermique.

D'après l'analyse typo morphologique du tissu urbain, on est arrivé à dégager les typologies de l'espace extérieur suivantes :

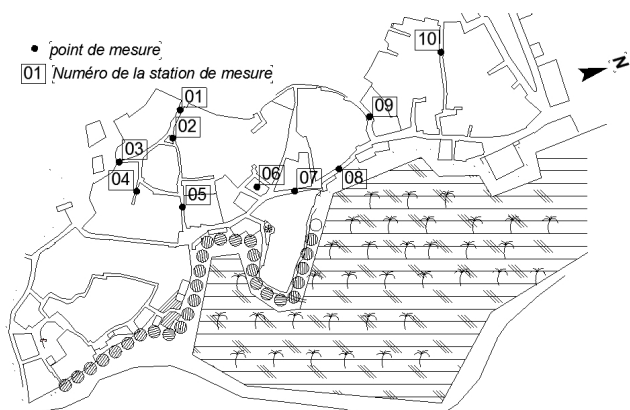


Fig. 3. Localisation des points de mesure.

Rues, ruelles, Rues couvertes (Skifa), Impasses, Rues délimitées d'un côté et dégagé de l'autre, Rues délimitées de bâtiment d'un côté et d'un oasis de l'autre (Balcons), Place (Rahba), Placette (Batha). Les différents points choisis (10 points de mesures) selon un parcours représentatif du tissu urbain étudié sont présentés ci dessous (Tab. 1).

## 4. Résultats

### 4.1. La température de l'air (Ta)

Les mesures ont été prises pendant deux journées typiques d'été. Le graphe ci-dessous (Fig. 4) représente la température de l'air mesurée dans chaque point en comparaison avec celle de la station météorologique. On remarque dans le point trois (03) un écart ( $\Delta T$ ) 3,4°C entre la température mesurée et celle prise par la station météorologique, cet écart est la résultante de la géométrie urbaine spécifique de la ruelle étudiée (passage couvert). La température de l'air mesurée (Fig. 4) atteint ses valeurs maximales dans les points six (06) et sept (07) avec un écart ( $\Delta T$ ) entre la station météorologique 1,56°C et 3,56°C, température mesurée et celle prise par la station météo respectivement. Cet écart est causé par le rapport H/L faible, ce qui rend ces points plus exposés au rayonnement solaire.

### 4.2. La vitesse de l'air (Va)

La vitesse de l'air est un autre paramètre influençant l'environnement thermique, l'écoulement du vent dépend fortement de l'orientation et de la géométrie de la rue. Le graphe (Fig. 5) représente la vitesse de l'air mesurée dans chaque point comparée avec celle de la station météorologique, l'écart entre les deux mesures est la particularité la plus frappante dans ce graphe (Fig. 5), cet écart est dû aux caractéristiques géométriques du tissu.

L'enregistrement de la valeur maximale a été dans le troisième point où on a noté la température de l'air minimale préalablement indiquée, la vitesse du vent dans ce point est accentuée par la différence de la température de l'air entre l'endroit ombragé sous « Skifa » et l'endroit ensoleillé ce qui produit un écoulement du vent traduit par la différence de la charge thermique.

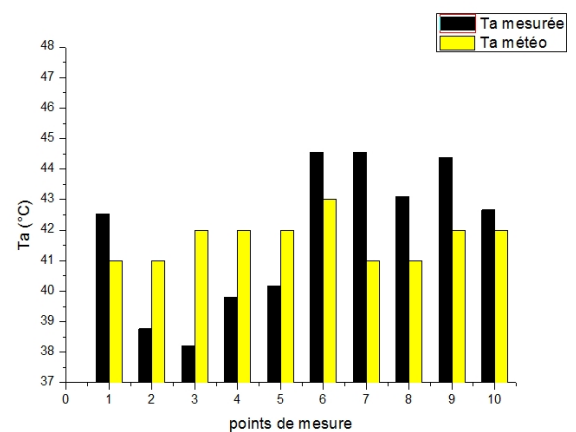
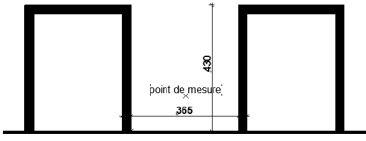


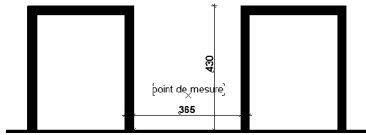
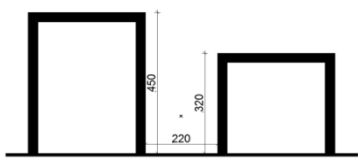
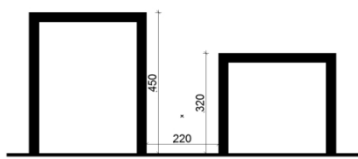
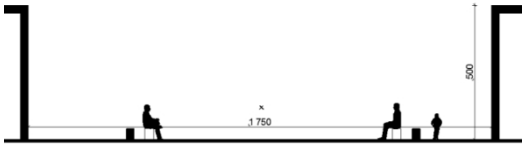
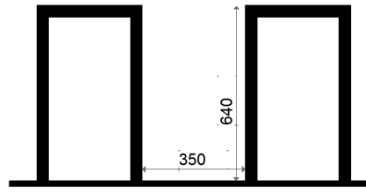
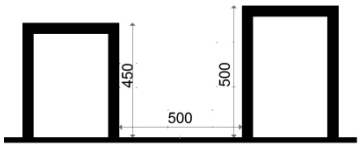
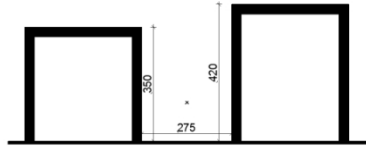
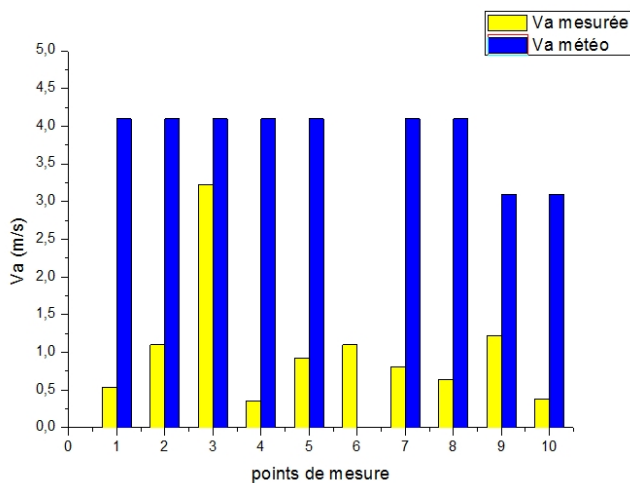


Fig. 4. La température de l'air mesurée à différents points représentatifs du tissu urbain durant deux journées typiques d'été 29-30/07/2016.

**Table 1.** Tableau récapitulatif des caractéristiques géométriques considérées des points de mesure. (Source: Auteur, 2016).

Vue en coupe	
<p><b>Point : 1</b></p>  <p>Ratio H/L =0.93, Orientation : Nord ouest-Sud est</p>	<p><b>Point : 2</b></p>  <p>Ratio H/L =0.94, Orientation : Nord ouest-Sud est</p>
<p><b>Point : 3</b></p>  <p>Ratio H/L =1.2, Orientation : Nord-Sud</p>	<p><b>Point : 4</b></p>  <p>Ratio H/L =2.86, Orientation : Nord ouest-Sud est</p>
<p><b>Point : 5</b></p>  <p>Ratio H1/L= 1.45, H2/L2=2.04, Orientation : Nord Ouest- Sud Est</p>	<p><b>Point : 6</b></p>  <p>Ratio H/L =0.28, Orientation : -</p>
<p><b>Point : 7</b></p>  <p>Ratio H/L =1.82, Orientation : Nord est-Sud ouest</p>	<p><b>Point : 8</b></p>  <p>Ratio H/L =1.16, Orientation : Nord ouest-Sud est</p>
<p><b>Point : 9</b></p>  <p>Ratio H1/L1=0,9, H2/L2=1, Orientation : Est-Ouest</p>	<p><b>Point : 10</b></p>  <p>Ratio H1/L1=1.52, H2/L2=1.27, Orientation: Nord Ouest- Sud Est</p>



**Fig. 5.** La vitesse de l'air mesurée à différents points représentatifs du tissu urbain durant deux journées typiques d'été 29-30/07/2016.

Un autre paramètre influe la vitesse du vent : « l'orientation solaire » de la rue, cela est apparu nettement par la différence considérable entre les différentes orientations, en enregistrant les valeurs maximales aux points qui ont une orientation « Est-ouest, Nord est-sud est » et un rapport H/L considérable.

**4.3. Impacts de la géométrie urbaine sur les températures moyennes radiantes**

La température moyenne radiante atteint sa valeur maximale dans le point six (06) où on a enregistré le rapport H/L le plus faible avec un écart considérable avec la température de l'air mesurée sous l'effet de l'ensoleillement. Ainsi que, l'enregistrement des valeurs faibles dans les points qui présente un rapport H/L élevé ou dans les passages couverts où l'écart commence à diminuer, cet écart est relatif à l'exposition au rayonnement solaire, selon lequel les points qui présente un faible écart sont les moins exposés (Fig.6).

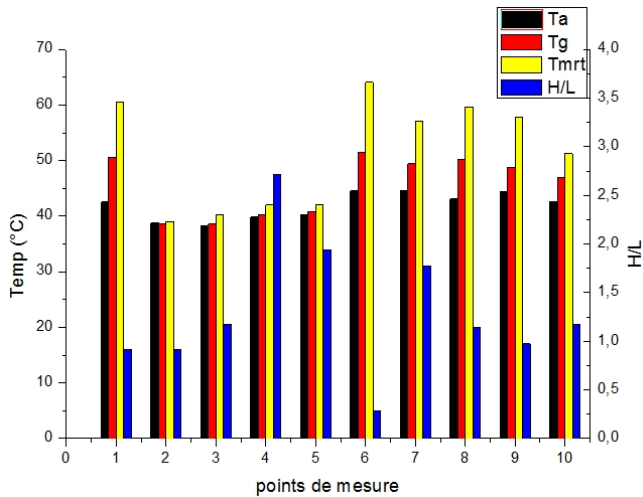


Fig. 6. La température moyenne radiante à différents points représentatifs du tissu urbain durant deux journées typiques d'été 29-30/07/2016.

#### 4.4. Impacts de la géométrie urbaine sur les températures physiologiques équivalentes

Cet indice a été discuté par (Höppe 1999), il est défini comme étant la température de l'air à laquelle le bilan de l'énergie du corps humain (d'une personne pratique une activité légère du métabolisme 80 W à ajouter au métabolisme de la base; la résistance thermique d'habillement 0.9 clo) pour des conditions intérieures typiques équilibrées avec la température de la peau et le taux de la sueur que dans les conditions extérieures complexes réelles à évaluer. Les conditions intérieures typiques sont:  $T_{mrt} = T_a$ ,  $V_a = 0,1$  m/s,  $VP = 12,0$  hPa (équivalente à 50% d'humidité relative enregistrée à une ambiance thermique de la  $T_a = 20^\circ\text{C}$ , approximativement).

Dans l'évaluation des valeurs de la température physiologique équivalente présentées au graphique de la figure 7, nous constatons le rapport entre la PET et la  $T_{mrt}$ , dont l'augmentation de la  $T_{mrt}$  entraîne l'augmentation des valeurs du PET. Il est remarquable, également, que les valeurs de la  $T_{mrt}$  et du PET varient simultanément avec la variation des valeurs du

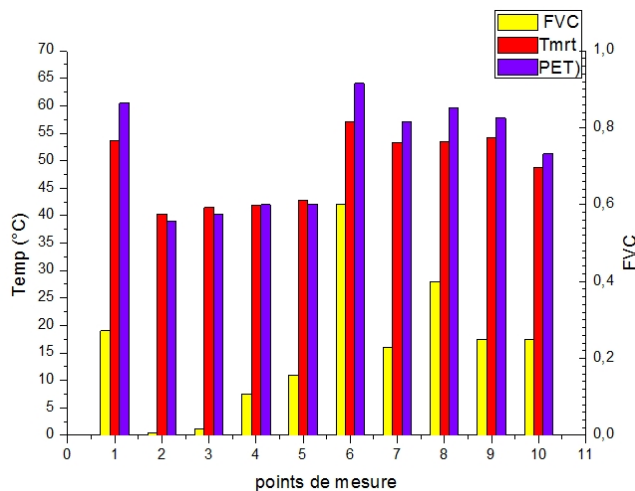


Fig. 7. Les valeurs du PET mesurées aux points de différents FVC dans le tissu urbain durant deux journées typiques d'été 29-30/07/2016.

FVC (présentées ci-dessus au tableau 2), dont l'accroissement entraîne l'augmentation des valeurs de cet indice, en enregistrant la valeur maximale au point 06 qui présente le FVC le plus élevé. En outre, les valeurs minimales du PET ont été enregistrées sous les passages couverts (point 02 et 03) grâce à l'ombre générée par ces derniers au niveau de la rue.

L'écart considérable entre FVC des deux points 07 et 08 n'a pas entraîné une grande différence entre les valeurs du PET qui y ont été enregistrées, grâce à l'orientation solaire du point 08 qui présente le FVC le plus élevé. L'orientation solaire, également, a un effet considérable quand on compare les deux points 09 et 10 qui présentent le même FVC et un écart apparent aux valeurs du PET, en trouvant que le point 10 orienté Nord ouest-Sud est la valeur la plus faible du PET des deux points.

Dans le présent travail, le FVC est calculé par le logiciel Rayman pro 2.1. Le tableau 2 présente les diagrammes solaires et les valeurs du FVC et SPO des points choisis.

Afin de déterminer la qualité du stress thermique dans les points examinés, pour évaluer le confort thermique en se basant sur l'indice thermique PET préalablement calculé par le logiciel de simulation thermique Rayman Pro 2.1, on a fait la classification des valeurs du PET sur les différents états reconnus de la perception thermique comme il est présenté au graphe ci-dessous (Fig. 8), à partir duquel, il est remarquable que les différents points se trouvent hors la zone de confort et se distribuent entre l'état très chaud et l'état extrêmement chaud.

Les points 02 et 03 présentant les deux valeurs les plus faibles du PET dans lesquels l'état est considéré comme très chaud, les autres points se distribuent dans l'état extrêmement chaud avec des variations des valeurs d'un point à un autre ce qui affecte le stress thermique même s'ils ont trouvé sous le même état (extrêmement chaud).

#### 5. Discussion et conclusion

Contrairement aux conditions climatiques intérieures aisément contrôlables par la conception optimale de l'enveloppe du bâtiment, il est plus difficile d'agir sur l'environnement climatique complexe à l'extérieur, affecté par la morphologie urbaine, de premier ordre. L'étude des graphes ci-dessus en rapport avec les caractéristiques géométriques des points étudiés, représentés

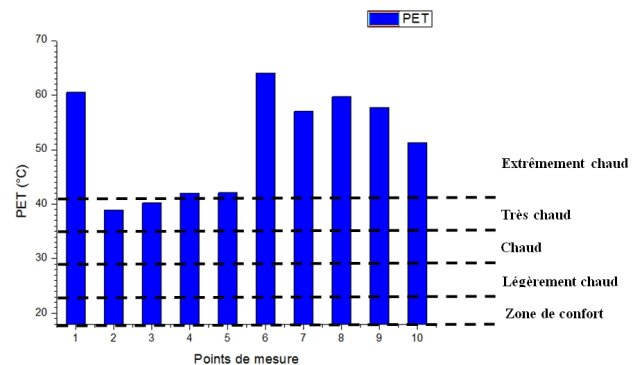
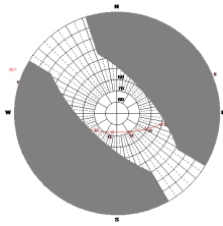
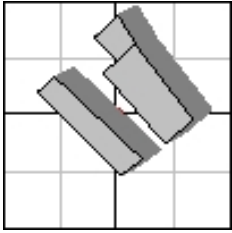
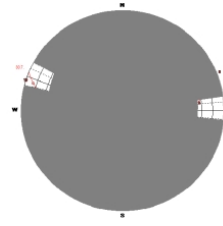
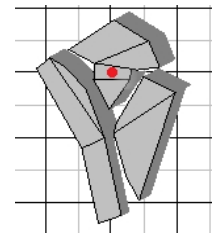
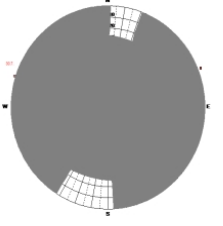
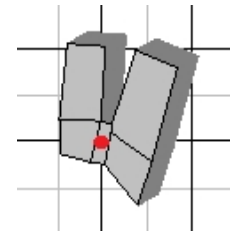
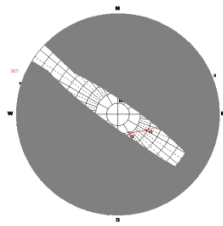
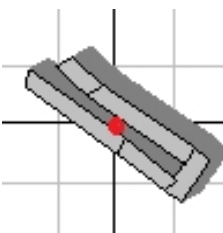
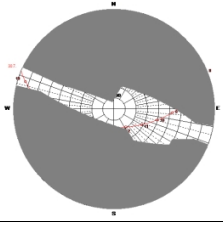
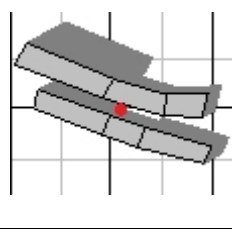
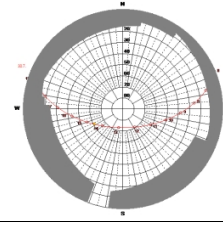
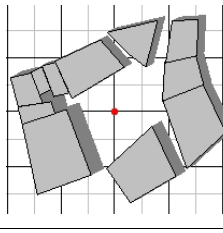
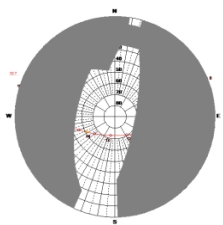
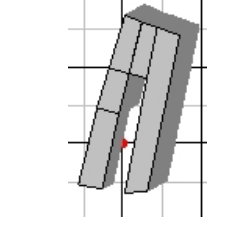
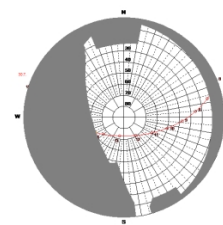
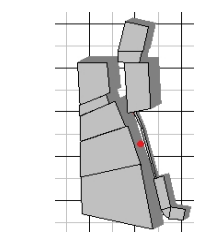
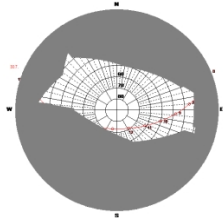
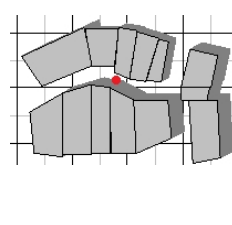
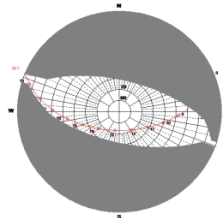
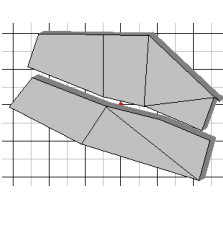


Fig. 8. L'évaluation de la perception thermique selon les valeurs du PET retenues à différents points dans le tissu urbain durant deux journées typiques d'été 29-30/07/2016.

**Table 2.** Tableau récapitulatif des caractéristiques géométriques considérées des points de mesure. (Source: Auteur, 2016).

Point	FVC	Diagramme solaire	SPO	Point	FVC	Diagramme solaire	SPO
1	0.277			2	0.006		
3	0.016			4	0.104		
5	0.151			6	0.610		
7	0.224			8	0.421		
9	0.249			10	0.249		

dans le tableau 1, nous a permis d'atteindre un certain nombre des recommandations relatives à la conception urbaine dans les régions chaudes. L'étude de l'interaction entre la température ambiante et la vitesse de l'air nous a montré que cette dernière contribue à la réduction du stress thermique. Plus l'ouverture au soleil était basse plus on remarque un taux minimum du rayonnement solaire, assurant une baisse de température souhaitable. Cette ouverture au soleil est définie par un FVC maîtrisé et un rapport optimal de H/L combinée avec une orientation solaire maîtrisée, en favorisant l'orientation Nord - Sud, Nord-ouest – Sud-est qui offrent des conditions acceptables

en termes du confort thermique, en comparaison avec d'autres orientations solaires. Ce qui était remarquable c'est la forte corrélation de la PET et la TMR dont les valeurs s'augmentent avec l'accroissement du FVC et la diminution du ratio H/L. Malgré que le niveau du confort thermique est un élément quantifiable et mesurable, son évaluation nécessite, également, la prise en considération de l'aspect psychologique indispensable pour le contrôle de la sensation thermique perçue, en faisant appel aux techniques d'observation, questionnaire et d'enquêtes in situ.

## Références

- Ahmed Ouameur, F. (2007) Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics: étude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec, mémoire pour l'obtention du grade de Maître en Sciences. Université de Laval, Québec.
- Ali-Toudert, F., M. Djenane, R. Bensalem, H. Mayer (2005) Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. *Climate Research* 28(3): 243-256.
- Ali-Toudert, F., H. Mayer (2006) Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment* 41(2): 94-108.
- Bourbia, F, H. Awbi (2004) Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate, Part 1: Air and surface temperature measurements. *Renewable Energy* 29(2): 249-262.
- Boussoualim, A. (2002) Contribution à la caractérisation de l'impact et de l'incidence du microclimat sur l'usage et les activités en espace public extérieur: étude de cas à Blagnac. Thèse de doctorat, Université de Nantes.
- Givoni, B. (1978) *L'homme l'architecture et le climat*, (Trad. de l'angl.) édition le moniteur, Paris.
- Hamouda, A., S. Outtas (2011) Etude topologique et diachronique de l'habitat rural : Cas d'El-Kantara, Biskra. *Sciences & Technologie D*, (34): 28-37.
- Höppe, P. (1999) The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International journal of Biometeorology* 43(2): 71-75.
- Johansson, E. (2006) Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and environment* 41(10): 1326-1338.
- Johansson, E., S. Thorsson, R. Emmanuel, E. Krüger (2014) Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies - the need for standardization. *Urban Climate* 10 (2014): 346-366.
- Lebsir, A. (2010) Mise en valeur de l'ancien noyau de la commune d'El-Kantara dit « Dachra El-hamra » ou « village rouge », mémoire de Master, Ecole de Management EUROMED Marseille.
- Lee, H., H. Mayer, L. Chen (2016) Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *landscape and urban planning* 148: 37-50.
- Louafi, S., S. Abdou (2013) Benefits and well-being perceived by pedestrian in vegetated urban space in periods of heat stress. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology* 5(1):20-24.
- Makaremi, N., E. Salleh., M.Z. Jaafar, A.H.G. Hoseini (2012) Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia. *Building and Environment* 48(1): 7-14.
- Nikolopoulou, M., K. Steemers (2003) Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings* 35(1): 95-101
- Nikolopoulou, M., N. Baker, K. Steemers (2001) Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy* 70(3): 227-235.
- Shishegar, N. (2013) *Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons*. *Journal of Clean Energy Technologies* 1(1): 52-56.
- Stathopoulos, T., H. Wu, J. Zacharias (2004) Outdoor human comfort in an urban climate. *Building and Environment* 39(3): 297-305.
- Thorsson, S., F. Lindberg, I. Eliasson, B. Holmer (2007) Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International journal of climatology* 27(14): 1983-1993.
- Thorsson, S., M. Lindqvist, S. Lindqvist (2004) Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology* 48(3): 149-156.
- Wessel, D. J. (2001) *Ashrae fundamentals handbook 2001* (si edition). American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers 31.