

Vers la meilleure solution d'optimisation du confort thermique des places publiques de la ville de Biskra/Algérie

Abdelhakim Hanafi ^{1*} et Djamel Alkama ^{2†}

¹ Département d'Architecture, Université Hadj Lakhdar, Batna 1, Algérie

² Département d'Architecture, Université de Guelma, Algérie

(reçu le 15 Juin 2019 - accepté le 25 Juin 2019)

Abstract - *The public places are not just a public outdoor space for the circulation and meeting of city dwellers, but it is to create among the population of the city a set of psychological reactions and to grow urbanity while improving the quality of the setting of urban life. According to Hanafi (2016) the abandonment of use of the public places of the city of Biskra/Algeria (Saharan city), is due to the lack of the thermal comfort, which obliges its users to leave them, or to frequent them occasionally. Thermal comfort in outdoor spaces is influenced by several factors, especially solar radiation [2]. This article is to find the best solution to optimize the thermal comfort of the places of the city of Biskra as urban very open spaces and already existing. We will see all possible solutions are related to the shape, the soil, the insertion of vegetation with its types and water, flooring, materials, design ... etc. while seeking the best and adequate solution for the public places of the city of Biskra/Algeria, Saharan city (arid zone and hot climate) by the combination between the measures of the necessary climatic factors 'in situ' and simulation through software.*

Résumé - *Les espaces extérieurs jouent un très grand rôle dans la promotion de la qualité de la vie urbaine. Leurs modes d'utilisations dépendent des propriétés physiques microclimatiques qui peuvent augmenter, limiter, diriger ou modifier leurs usages' [1]. La place publique n'est pas un simple espace extérieur public pour la circulation et la rencontre des citoyens, mais elle est pour créer chez la population de la ville, un ensemble de réactions psychologiques et faire pousser l'urbanité tout en améliorant la qualité du cadre de vie urbaine. D'après Hanafi (2016), l'abandon d'usage des places publiques de la ville de Biskra/Algérie (ville saharienne), est dû au manque du confort thermique, qui oblige ses usagers à les quitter, ou bien les fréquenter occasionnellement. Le confort thermique en espace extérieur est influencé par plusieurs facteurs, surtout par le rayonnement solaire [2]. Cet article consiste à chercher la meilleure solution pour optimiser le confort thermique des places de la ville de Biskra, en tant qu'espaces extérieurs urbains très ouverts et déjà existants. Donc, on recherchera toutes les solutions possibles, relatives à la forme, aux sols, à l'insertion de la végétation avec ses types et de l'eau, aux revêtements du sol, aux matériaux, aux mobiliers, etc... tout en cherchant la solution meilleure et adéquate pour les places publiques de la ville de Biskra/Algérie, ville saharienne (zone aride et climat chaud) par la combinaison entre les mesures des facteurs climatiques nécessaires 'in situ' et la simulation par le biais d'un logiciel.*

Mots clés: Place publique - Ville saharienne - Zone aride et climat chaud - Confort thermique - Solution architecturale - Végétation.

1. PROBLEMATIQUE

D'après Hanafi (2016), l'abandon d'usage des places publiques de la ville de Biskra, est dû au manque du confort thermique, qui oblige ses usagers à les quitter ou bien les fréquenter occasionnellement. Le confort thermique en espace extérieur est influencé par plusieurs facteurs, surtout par le rayonnement solaire [2]. Le problème de cette étude est de trouver quelle est la meilleure solution pour optimiser le confort thermique

* Abdelhakim.hanafi@univ-batna.dz

† dj.alkama@voila.fr

des places publiques de la ville de Biskra, Algérie tant qu'espaces extérieurs urbains très ouverts et déjà existants ?

2. INTRODUCTION

Pour optimiser le confort thermique d'un espace public et précisément une place publique d'une ville saharienne, cas de la ville de Biskra/Algérie, il faut maîtriser les différents éléments intervenants à l'augmentation de la température de l'air et à la diminution d'humidité relative au sein de ces espaces pour savoir les éviter. On note la morphologie des constructions (morphologie urbaine) et les matériaux utilisés, la vitesse de l'air, la présence de bassins d'eau et la végétation [3].

Dans cet objectif, on a visé la création de l'ombre au sein des places de la ville de Biskra (ville saharienne à climat chaud et zone aride). Donc on essayera dans cet article de chercher la solution optimale relative, à la forme, à l'insertion de la végétation avec ses types, à l'insertion de l'eau et à la modification du revêtement du sol. Bien sûr tout en cherchant la meilleure solution pour les places publiques de la ville de Biskra/Algérie.

3. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Chercher à travers les recherches antécédentes,

- l'optimisation par la modification de la forme de l'espace;
- l'optimisation par la modification du revêtement du sol;
- l'optimisation par l'insertion de l'eau; et
- l'optimisation par l'introduction du végétal urbain.

4. VILLE DE BISKRA/ALGERIE CONSTRAINTES CLIMATIQUES

La wilaya de Biskra est classée par l'état Algérien comme wilaya de sud, malgré qu'elle se situe entre le nord et le sud de l'Algérie et cela lui a donné le nom 'la porte de désert'. Elle a une population de 869 215 habitants en 2015, ce qui vaut une densité moyenne de 40 habitants / kilomètre carré [4]. (figure 1).



Fig. 1: Image par satellite de la ville de Biskra/Algérie
(Source, Site web: www.googleearth.com)

4.1 Données physiques

La ville de Biskra se caractérise par un climat très chaud et sec la saison d'été, d'une température moyenne de 43.5 °C et une humidité relative moyenne de 12 %. Et d'un hiver très froid dont une température minimale moyenne de 4 °C et une humidité relative moyenne de 89 %. Les précipitations dans cette région sont rares et ne dépassent pas les 31 jours par an et le cumul annuel atteint les 200 mm [5]. (**Tableau 1**)

Tableau 1. Evolution des températures de l'air chaud durant l'année 2011 de la ville de Biskra [6]

T°C	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec
Moy	9.61	10.7	13.93	20.1	22.99	27.99	33.26	32.59	22.19	20.14	14.5	10.36
Max	20.1	20.9	25.7	32.9	34.9	41.2	44.9	44	40.5	31.9	24	20.9
Min	-2.1	-1.2	1	7.3	12.2	15.7	22.5	22.1	15.6	7.2	5	0.8

4.2 Insolation

La durée d'insolation sur le territoire national dépasse les 2000 heures/an, sur les Haut Plateaux et le Sahara, elle atteint les 3900 heures/an [7]. (Tableau 2, 3 et 4).

Tableau 2. Répartition du potentiel solaire par région [8]

Régions	Régions côtières	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie	4 %	10 %	86 %
Durée moyenne d'ensoleillement, h/an	2650	3000	3500
Energie reçue, kWh/m ² /an	1700	1900	2650

Tableau 3. Durée moyenne d'insolation quotidienne (heures) de la ville de Biskra [5]

Insolation moyenne quotidienne												
Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	
7.3	8.2	9	9.7	10.3	11.2	12.4	11.5	10.5	8.2	7	7	

Tableau 4. Durée moyenne d'insolation mensuelle de la ville de Biskra [5]

Insolation moyenne mensuelle												
Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	
226	230	278	290	320	337	383	355	314	254	210	219	

4.3 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire incident est très intense et de l'ordre de 7680 Wh/m² sur un plan horizontal pendant le mois de Juillet qui correspond à une durée d'ensoleillement de 383 heures et qui peut dépasser 12 heures par jour [5].

5. PLACES PUBLIQUES ETUDIEES DE LA VILLE DE BISKRA /ALGERIE

La ville de Biskra ne contient qu'un nombre limité de places, portant la notion de place publique, tout en éliminant les espaces libres et les dégagements. Les places publiques étudiées sont, (figure 2 et 3).



Fig. 2: **a** Place Ben Badis ; **b** Place Hai Istiqlal ; **c** Place Dhalaa (Source: PDAU / Biskra)



Fig. 3: **a-** Place El-Houria ; **b-** Place Zouaka
(Source: PDAU / Biskra)

6. PRINCIPES DE CONCEPTION ET APPLICATIONS

Il est possible de concevoir un espace extérieur urbain confortable à ses usagers et il répond aux exigences de sa population, le défi est comment optimiser le confort thermique d'un espace extérieur urbain existant ? En plus le confort thermique n'a pas été pris en considération lors de la conception de cet espace.

Pour optimiser les conditions de confort thermique d'un espace extérieur urbain existant, cela exige une réhabilitation de ce dernier, aux vues des solutions possibles face au problème d'inconfort ressenti par les usagers. Avant d'entamer la recherche des solutions, il faut cerner le problème d'inconfort thermique, qui est dû à l'effet d'ensoleillement. Donc la solution se présente claire dans la création de l'ombre au sein des place publique.

En effet à la saison d'été, le contrôle de la température de l'air est fondamental pour atteindre le confort thermique, et la création de l'ombre permet le contrôle permanent de la température, vu que c'est un facteur essentiel dans le confort des usagers.

6.1 Solution 1

Optimisation par la modification de la forme de l'espace. Cette solution est pour mettre des panneaux à la taille de l'homme au sein de la place pour créer de l'ombre et en même temps canaliser le courant d'air. (figure 4)

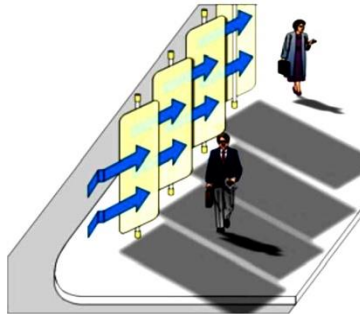


Fig. 4: Des panneaux déployés pour créer de l'ombre et canaliser le courant d'air [9]

6.2 Solution 2

Ombrager les chemins des usagers de l'espace public (place) ou bien les axes des piétons par des passages couverts (arcades), ces derniers permettent d'offrir de l'ombre durant une grande période de la journée. (figure 5)

6.3 Solution 3

Elle consiste à toucher la morphologie urbaine du site de la place publique.

Cette dernière et d'après Steemers *et al.* (2004), 'signifie la forme tridimensionnelle d'un groupe de bâtiments, ainsi que les espaces qu'ils créent autour d'eux', [10]. La place publique semi-enterrée peut offrir de l'ombre à différentes périodes de la journée. (figure 6).

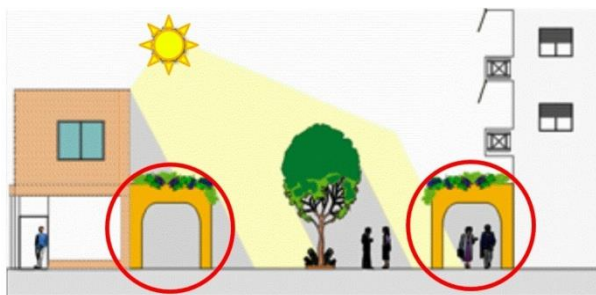


Fig. 5: Passages couverts (arcades) le long d'une zone piétonne pouvant offrir de l'ombre [9]



Fig. 6: Espaces publics (place publique) semi-enterrés pour offrir de l'ombre aux usagers [9]

6.4 Solution 4

La construction des pergolas va permettre de créer des zones ombragées au sein de la place publique, sur ses bordures ou bien suivant les itinéraires des usagers. Ces pergolas sont conçues avec des lames permettant le passage des rayons solaires la période d'hiver et de les empêcher la période estivale. (figure 7).

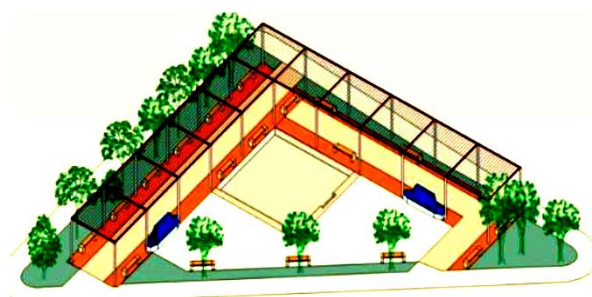


Fig. 7: Vue en perspective de la pergola au sein d'une place publique (exemple) [9]

6.5 Solution 5

En espace public, on peut mettre des 'auvents' comme masque contre les rayons solaires. Ces derniers favorisent un microclimat spécifique et il est recommandé d'avoir

des auvents amovibles pour les retirer la nuit pour profiter d'un refroidissement nocturne de la place publique par rayonnement vers le ciel [3]. (figure 8)

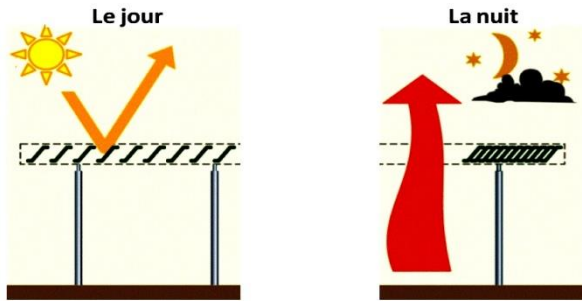


Fig. 8: Usage de l'auvent amovible comme masque aux rayons solaires [3]

6.6 Solution 6

L'insertion de l'eau, tel qu'un bassin, une fontaine, un jet d'eau, un cours d'eau, ... au sein de la place publique dans le but de rafraîchir cet espace. D'après Reiter (2007) les surfaces d'eau présentées sous forme de fontaines d'eau, de canaux, de bassins, jets d'eau, diminuent la température de l'air par évaporation, vu que 'l'eau' joue le rôle de tampon et par son inertie thermique, elle atténue les fluctuations de température, de plus, les surfaces d'eau et les mouvements d'air qui la traverse peuvent aussi contribuer à un rafraîchissement de l'air par convection [3]. (figure 9)



Fig. 9: Influence des surfaces d'eau sur la température de l'air [3]
a- Humidification de l'air par une fontaine; **b-** Exposition universelle à Séville en 1992, Photographie- Grupo de termotecnia 1994; **c-** Place et rue de la République à Lyon, Photographie de la place- J.M. Gillon

Désormais il est à noter que "*les surfaces d'eau n'ont qu'une faible influence sur la température de l'air en zone ouverte, sauf si ces surfaces deviennent de très grande dimension. Des bassins de petite dimension peuvent toutefois avoir une influence réelle sur la température de l'air d'espaces urbains fermés et protégés du vent, surtout si ces bassins sont agrémentés de jets d'eau ou accompagnés d'un système de pulvérisation d'eau dans cet espace public*", déclare Reiter, (2007) [3].

6.7 Solution 7

Optimisation par modification de matériaux (revêtement du sol et des façades). En général, dans la ville on utilise des multitudes de matériaux de revêtements, soit pour les façades soit pour le sol. Même pour ce dernier cela diffère, où on utilise des matériaux pour les voies de circulation mécanique.

Cela revient que la chaussée est recouverte par de 'l'asphalte' ou bien pour les voies destinées aux piétons, sont recouvertes par le carrelage, le pavé...

Tous ces matériaux imperméables ont de faibles capacités thermiques (capacité à stocker de la chaleur) et une grande conductivité, ils absorbent et libèrent rapidement la chaleur ce qui engendre une hausse de température de l'air et des surfaces au sein de la place publique ou l'espace public en général. (figure 10)

La solution contre ce problème, est de choisir des matériaux de revêtement possédant un 'albédo' élevé, vu que les surfaces noires exposées au soleil peuvent atteindre jusqu'à 21°C, plus chaudes que les surfaces blanches.

De ce fait, les matériaux ont un effet sur le microclimat au niveau des espaces extérieurs urbains, particulièrement les places publiques qui dépendent de la réflectivité des matériaux, comme 'l'albédo'. Ce dernier détermine la quantité du rayonnement réfléchi de la surface concernée, en plus de la capacité thermique qui détermine la quantité d'énergie stockée et le temps nécessaire pour le déphasage.

Sachant que l'espace urbain est composé d'une mosaïque de matériaux, l'albédo est évalué en fonction d'une valeur moyenne calculée en fonction de l'albédo de chaque matériau et de sa fraction d'occupation [1]. (figure 10)



Fig. 10: Quelques valeurs de 'l'albédo' des revêtements des façades et sol d'une rue [11]

Des études ont montré que les revêtements du sol imperméables et les matériaux de couleurs sombres reflètent mal le rayonnement solaire, ce qui engendre une augmentation de la température de l'air de l'espace urbain, tout en comparant ce dernier avec l'espace rural [12]. (figure 11).

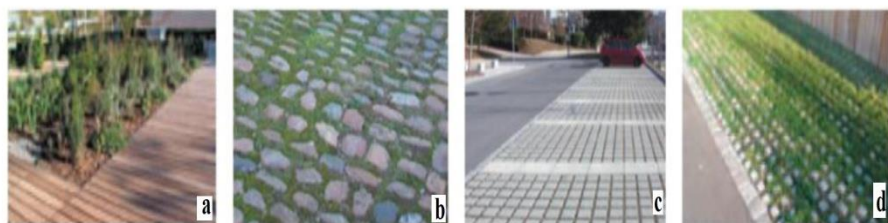


Fig. 11: Schéma résume les différents types de revêtements perméables et leurs utilisations; **a** Platelage en bois, **b** Pavés en pierre naturelle, **c** Pavés en béton, **d** Dalles alvéolées [13]

6.7.1 Enherber le sol

Le sol enherbé se distingue des autres revêtements par la perméabilité dont il réchauffe moins l'air par convection thermique et la capacité de dissiper l'énergie par évapotranspiration (évaporation au niveau du sol et transpiration des plantes) vu qu'il limite le stockage de chaleur dans le sol par conduction.

Il est à noter que le sol enherbé ne modifie pas beaucoup le confort thermique dans un espace extérieur ouvert, car l'effet sur la température de l'air est à peine perceptible [14]. (figure 12).

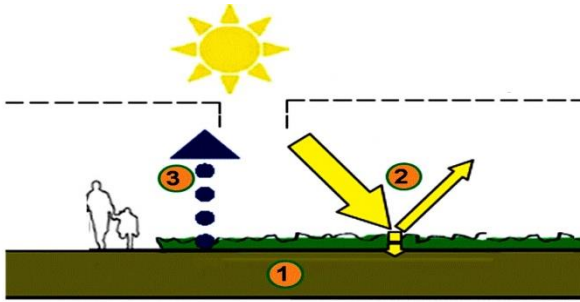


Fig. 12: Schéma du sol enherbé (surface perméable)

1- Sol: surface perméable, 2- Rayonnement Solaire (Environ 30 % du rayonnement incident est directement réfléchi par les surfaces enherbées vers le ciel et le reste est absorbé), 3- Évapotranspiration (L'évapotranspiration est nulle au-dessus d'une surface imperméable) [14]

6.8 Solution 8

Selon Kang et al., (2002) "*Les deux effets principaux de la végétation sont l'effet d'ombrage du rayonnement solaire (la plupart des arbres feuillus ont une transmissivité faible à l'égard du rayonnement solaire, entre 2 et 5 %) et la conservation d'une température du feuillage proche de celle de l'air, soit entre 20-35 °C inférieurs aux températures des surfaces des matériaux urbains communs, comme l'asphalte, les blocs de béton, etc.*"; En plus les bienfaits du végétal urbain dépassent l'ombrage vers l'humidification de l'air [15]. (figure 13).

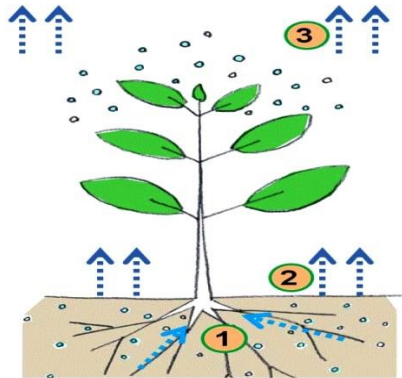


Fig. 13: Schéma de l'humidification de l'air par l'arbre urbain

1: Consommation d'eau liquide (Circulation de l'eau), 2: Evaporation, 3: Evapotranspiration correspond à l'évaporation de l'eau contenue dans le sol et à la transpiration issue de la végétation (flux de chaleur latente) [14]

6.8.1 Introduction du végétal urbain

Plantes grimpantes: La construction des pergolas couvertes par des plantes grimpantes vont permettre de créer des zones ombragées au sein de la place publique, soit sur ses bords ou bien suivant les itinéraires des usagers. Et d'après Reiter, (2007) "*les pergolas ou des plantations dont le feuillage couvre la presque totalité de l'espace d'une cour ou d'une place relativement confinée servent de séparation entre l'air au-dessus et en dessous de son feuillage*", [3] (figure.14)

Introduction de l'arbre urbain: Comme déjà cité en haut, l'ombre est le facteur le plus important dans le confort thermique et permet le contrôle de la température de l'air.

En plus, on trouve une grande variété des arbres générant de l'ombre au sein de l'espace public. (figure 15).



Fig. 14: **a** et **b** exemples des pergolas couvertes par des plantes grimpantes [16]



Fig. 15: Arbres à feuilles caduques offrent de l'ombre en été et en hiver ils permettent l'exposition du site au soleil [9].

En plus l'arbre urbain modifie son environnement par (figure 16 et 17),

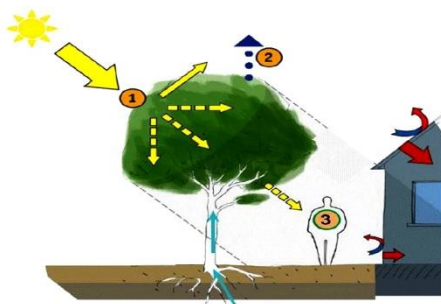


Fig. 16: Schéma modification de l'environnement solaire par l'arbre urbain
1- Rayonnement, 2- Evapotranspiration, 3- Confort extérieur (En période estivale, l'ombrage d'un arbre permet une réelle amélioration du confort thermique en protégeant les individus du rayonnement solaire direct) [9].

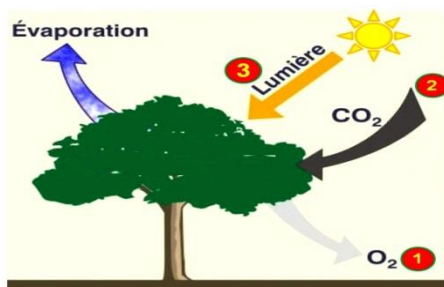


Fig. 17: Schéma de modification de l'atmosphère par l'arbre urbain,
1- L'arbre a un effet d'oxygénation sur son entourage, 2- L'arbre absorbe l'ozone, le dioxyde de soufre, CO_2 et d'autres polluants, 3- L'arbre survit par un échange de lumière, d'eau et de gaz [3].

7. INVESTIGATION

La démarche suivie dans ce travail a pour objectif de mettre en évidence le rôle de la végétation (le végétal urbain), sur le confort thermique de la place publique (espace extérieur urbain; très ouvert; dont, $H/W < 1$) [17].

On va voir, le degré d'influence de la végétation sur la diminution de sky view factor (SVF); Température moyenne radiante (T_{mrt}); Température du sol (T_s); L'atténuation du rayonnement global reçu par le corps (G act); On a calculé également l'indice du confort thermique, température équivalente physiologique (P_{ET}); l'indice vote moyen prévisible (PMV); Température moyenne radiante (T_{mrt}); Température du sol (T_s); Rayonnement global reçu par le corps (G act).

8. METHODOLOGIE

Elle consiste, sur une série de mesures physiques des paramètres climatiques (la température de l'air, l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent et la couverture du ciel), dans le domaine de l'effet thermique, hygrothermique et aérodynamique, qui affectent directement l'espace extérieur étudié.

La recherche a touché toutes les places citées précédemment, mais on va juste exposer la place Hai Istiqlal / Biskra comme exemple. (figure 18).



Fig. 18: Image par satellite de la Place Hai Istiqlal
(Source, Site web:Google Earth.com)

Le jour choisi pour la campagne de mesures, est le 15/07/2014. Le choix de ce jour est sur la base de la zone de surchauffe de la ville de Biskra, indiqué au tableau des isothermes de la ville de Biskra [18]. En plus la sélection du jour à ciel dégagé (sans nuages), on a utilisé l'appareil LM 8000A, appareil de mesure multifonctionnel 4 en 1; anémomètre, hygromètre, luxmètre et thermomètre à thermocouple. (figure 19)

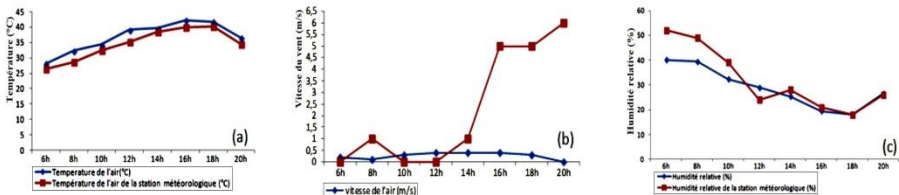


Fig. 19: Graphe -a- Température de l'air ;
Graphe -b- Vitesse de l'air ; Graphe -c- Humidité relative

9. SIMULATION

Elle est faite par le logiciel 'RayMan, 1.2' [19]. Ce logiciel de 3D, calcule le rayonnement global, la température du sol, PMV, PET, SET, Dont il prend en

considération les coordonnées géographiques du site étudié, les paramètres climatiques (température de l'air, vitesse du vent, l'humidité relative et type du ciel), l'environnement physique, simple ou complexe (bâtiment et arbre).

La simulation a été effectuée pour la connaissance du rôle de la végétation sur le confort thermique. Cette dernière a été réalisée pour deux situations de la place Hai Istiqlal/Biskra; la première situation de la place, avant l'insertion des arbres (état réel); et la seconde situation de la place, après l'insertion des arbres. C'est la solution optimale, pour l'amélioration du confort thermique de la place Hai Istiqlal/Biskra/Algérie. C'est par le biais du logiciel RayMan, que l'on a tracé l'ombre pour chaque période de la journée et que l'on a déterminé le SVF. (figure 20)

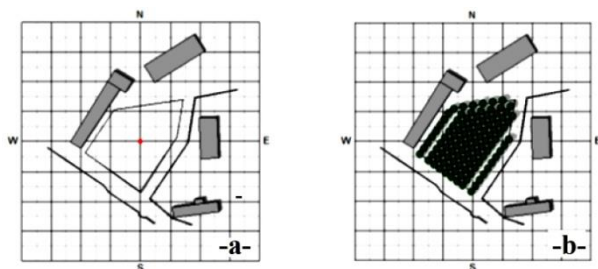


Fig. 20: -a- Situation de la place, avant l'insertion des arbres (état réel)
-b- Situation de la place, après l'insertion des arbres, Proposition optimale

Rappelant que notre étude vise à produire de l'ombre par l'insertion de la végétation, arbre en zone urbaine, au sein de la place Hai Istiqlal/Biskra. Le rôle à jouer par ce dernier, c'est la protection du rayonnement solaire en été. L'arbre choisi est du type 'figus', espèce, *Ficus retusa* de la famille, moraceae, et son nom commun, ficus.

Il est de la catégorie arbre, d'origine tropicale, de type persistant, de forme port dense érigé, croissance rapide. En plus il existe à la ville de Biskra depuis longtemps et il résiste à son climat [20]. (figure 21 et 22)

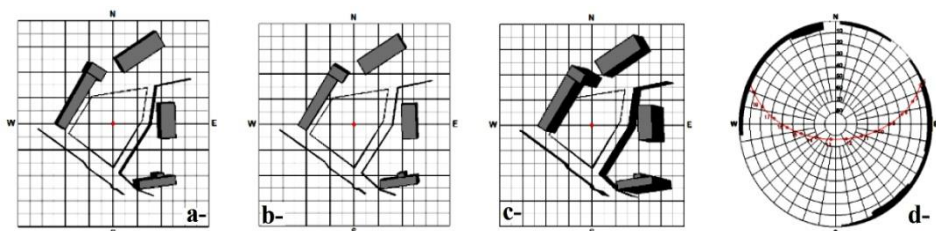


Fig. 21: Situation de la place, avant l'insertion des arbres, état réel; -a- Tracé de l'ombre à 8.00 h; -b- Tracé de l'ombre à 12.00 h; -c- Tracé de l'ombre à 18.00 h; -d- Diagramme polaire; SVF = 0.946

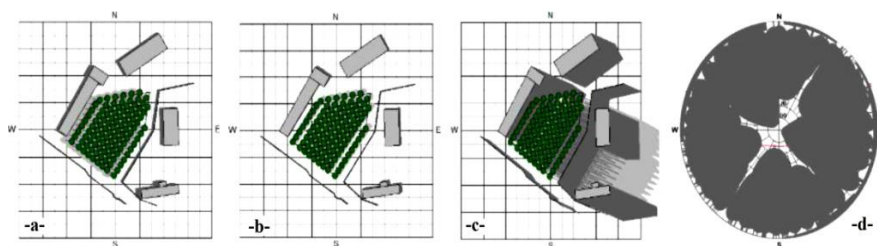


Fig. 22: Situation de la place, après l'insertion des arbres; -a- Tracé de l'ombre à 8.00 h; -b- Tracé de l'ombre à 12.00 h; -c- Tracé de

l'ombre à 18.00 h; -d- Diagramme polaire; SVF = 0.081

On remarque que le rayonnement global a baissé de la proposition optimale, en le comparant avec la situation initiale (état de lieu), c'est-à-dire avant l'insertion des arbres. Dont il a démuné à 615 W/m² à midi, par une différence d'environ 138 W/m². (figure 23)

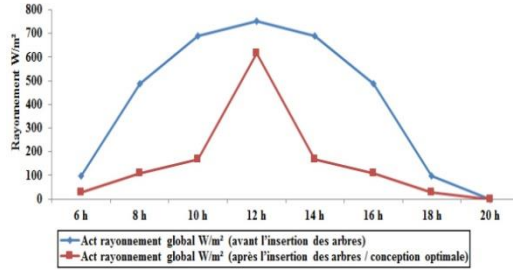


Fig. 23: Graphe du rayonnement global de la place Hai Istiqlal/Biskra pour les deux situations, avant l'insertion des arbres et après l'insertion des arbres

Avant l'insertion des arbres (état de lieu), la température du sol (T_s) commençait par 47.1 °C à 8 h a.m pour atteindre les 66.5 °C à midi et puis elle a baissé jusqu'elle arrive à 32.7 °C vers le coucher de soleil, puisque l'espace est exposé au soleil sans la moindre protection et le sol avec un faible albédo.

La seconde situation, après l'insertion des arbres sur cette place (proposition optimale), et grâce à la présence de cette couverture verte (arbre urbain), les écarts étaient considérables, environ 18.7 °C à 10 h a.m et 17.5 °C à 4 h p.m.

On note qu'à midi, la différence était minime, de 0.3 °C, puisque le soleil est au zénith. (figure 24)

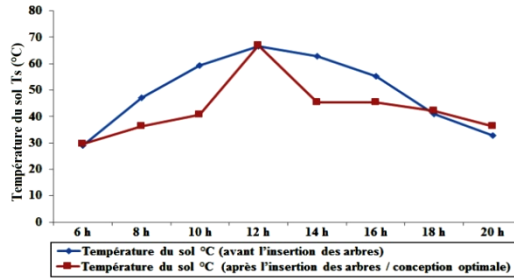


Fig. 24: Graphe de la température du sol (T_s) de la place Hai Istiqlal/Biskra pour les deux situations, avant l'insertion des arbres et après l'insertion des arbres

Par rapport à la température moyenne radiante (T_{mrt}) la situation optimale, après l'insertion des arbres, elle n'a pas dépassé les 39 °C toute la journée, à l'exception à midi où elle avait fait 58 °C.

La situation initiale, avant l'insertion des arbres, on note une évolution de la température moyenne radiante (T_{mrt}) dès le lever du soleil jusqu'à midi, où on marque 48.8 °C à 8 h a.m. et 62.2 °C à midi, 55.3 °C à 4 h p.m. Le PMV (predicted mean vote) obtenu pour la seconde situation (après l'insertion des arbres, proposition optimale) montre une réduction significative comparée à celui obtenu à la situation avant l'insertion des arbres.

Le PMV maximum est de 4.5 à midi et 5.7 à la situation initiale de la place. Le reste de la journée il n'accédait pas la limite de la sensation chaude, la bande G. Par contre à

la situation initiale, le PMV presque toute la journée à la zone très chaude (la bande **H**) de 8 h a.m. jusqu'à 6 h p.m. (figure 25 et figure 26)

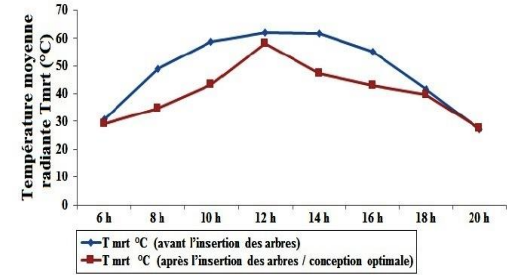


Fig. 25: Graphe de la température moyenne radiante (T_{mrt}) de la place Hai Istiqlal/Biskra pour les deux situations, avant l'insertion des arbres et après l'insertion des arbres

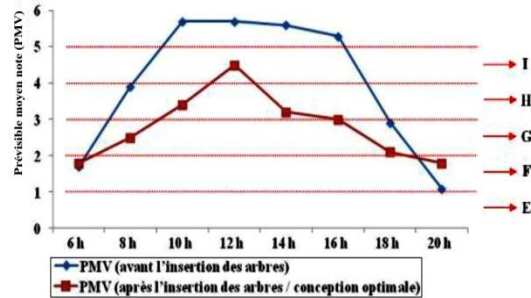


Fig. 26: Graphe du vote moyen prévisible (PMV) de la place Hai Istiqlal/Biskra pour les deux situations, avant l'insertion des arbres et après l'insertion des arbres

Pour la température équivalente physiologique (PET, physiological equivalent temperature) les résultats obtenus pour la situation après l'insertion des arbres, proposition optimale, montrent une atténuation significative comparée aux résultats obtenus à l'autre situation, avant l'insertion des arbres.

La PET maximum est de 47.4 °C, cela à midi et toute la journée elle n'accédait pas les 39 °C, et elle se trouve dans la bande chaude **G** avec une sensation de stress de chaleur modérée.

A la situation initiale, dès le lever du jour au coucher du soleil la PET a une moyenne de 42 °C, et elle n'avait pas baissé de la bande très chaude (bande **H**) avec une forte sensation de stress de chaleur, concernant le niveau du stress physiologique. (figure 27)

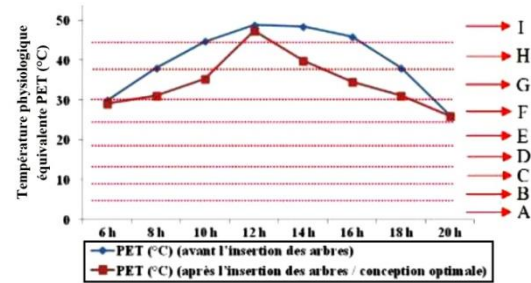


Fig. 27 Graphe de la température physiologique équivalente (PET) de la place Hai Istiqlal/Biskra pour les deux situations, avant l'insertion des arbres et après l'insertion des arbres

10. CONCLUSION

La promotion de la qualité de la vie urbaine des citoyens est relative au confort offert par les espaces publics urbains et particulièrement les places publiques [21]. Ces dernières présentent un intérêt majeur pour contribuer à accroître l'isolement et l'exclusion sociale, comme elles favorisent la rencontre, le rassemblement et la réunion de la population.

A vrai dire, l'usage en permanence des espaces publics urbains ou les places publiques dépend de la qualité et les propriétés physiques de l'environnement de ces places en plus de leurs confort thermiques qui peuvent augmenter, diminuer ou changer leurs usages tout au long de l'année.

Après analyse sur l'usage des places publiques de la ville de Biskra (Hanafi, 2010), c'est chercher les solutions relatives aux besoins du confort des citoyens s'avèrent nécessaires et passent en premier lieu [2].

La recherche a fait sortir neuf (09) solutions qui s'englobent dans, la modification de la forme de l'espace (géométrie de l'espace), la modification du revêtement du sol (propriétés thermiques des surfaces), l'insertion de l'eau (bassin ou surface) et l'introduction du végétal urbain (l'arbre urbain).

Donc, on a opté de faire une lecture et une critique de chaque solution proposée, et de chercher la solution optimale et adéquate parmi eux, pour combler l'inconfort thermique constaté au niveau des places de la ville de Biskra. Rappelant que les principaux paramètres climatiques sont, la température, le vent, l'humidité, les précipitations et le rayonnement solaire.

Dans les villes sahariennes à climat aride, telle que la ville de Biskra, l'objectif est toujours d'éviter les rayons solaires directs et de rechercher l'ombre et la fraîcheur. De ce fait, le rayonnement solaire est le premier facteur provoquant l'inconfort thermique aux seins des espaces publics. Donc on a cherché les moyens pour la protection contre les rayons solaires et la création de l'ombre.

Pour cela, et après analyse de toutes les solutions, la solution relative à l'introduction du végétal urbain (l'arbre urbain) est la solution adéquate pour l'optimisation du confort thermique des places de la ville de Biskra.

Concernant la simulation, c'était pour voir le degré d'influence du végétal urbain sur la diminution du facteur d'ouverture au ciel (SVF), température moyenne radiante (T_{mrt}), température du sol (T_s), ainsi que l'atténuation du rayonnement global reçu par le corps. De plus, c'est pour calculer les indices du confort thermique, PET, PMV, T_{mrt} , T_s .

En effet, les résultats étaient appréciables, vu que le rayonnement global reçu par le corps, la température du sol (T_s) et la température moyenne radiante (T_{mrt}) sont inférieurs à la proposition optimale par rapport à l'état de lieu. En plus les indices du confort thermique, PET, PMV calculés par le logiciel 'RayMan', sont inférieurs à la situation initiale où la place était sans végétation.

REFERENCES

- [1] H. Tebbani et Y. Bouchahm, 'Caractérisation du confort thermique dans les espaces extérieurs: Cas de la ville d'Annaba', Revue 'Nature & Technologie', C- Sciences de l'Environnement, Université Constantine 3, Constantine, Algérie, N°15, Juin 2016.
- [2] A. Hanafi et D. Alkama, 'Stratégie d'amélioration du confort thermique d'une place publique d'une ville saharienne, Biskra/Algérie', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 19 N°3 pp. 465 – 480, 2016.

- [3] S. Reiter, '*Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes*', Thèse de Doctorat, Université catholique de Louvain, Faculté des Sciences Appliquées -Architecture et Climat, 643 p., 2007.
- [4] Website: <http://wilayabiskra.dz>
- [5] M. Capderou, '*Atlas Solaire de l'Algérie*', Office des Publications Universitaires, Alger, 1987.
- [6] B. Djadou, '*L'impact de la configuration sur l'exploitation du gisement solaire. Cas de la ville de Biskra*', Mémoire de magister, Département d'architecture, Université de Biskra, Algérie, 2016.
- [7] A. Liebard et A. de Herde, '*Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*', Editions le Moniteur, Paris, France, 2005.
- [8] Institut Méditerranéen des Energies Renouvelables, Fiche pays: Algérie. Website : <https://www.cder.dz/> consulté le, 01/02/2013.
- [9] N. Chhrisomallidou, M. Chhrisomallidis and T. Theodosiou, '*Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: une approche bioclimatique*', Laboratory of Building Construction and Building Physics, Faculty of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece 2002.
- [10] K. Steemers et M.A. Steane, *Revue: Environmental Diversity in Architecture*, Spon Press, Great Britain, 2004.
- [11] F. Guay et Y. Baudoin, '*Les îlots de chaleur urbains*', Collectivités viables / Le bulletin d'information de Vivre en Ville, Vol. 8-9, <http://www.vivreenville.org/pdf/bulletin> Vol. 2, N°3, PDF, 2003.
- [12] O. Mansouri, '*L'influence de la réflectivité des matériaux (Albédo) sur la modification du microclimat et le confort thermique extérieur dans un canyon urbain, cas du Coudiat de Constantine*', Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, Département d'architecture et d'urbanisme de Constantine, 2008.
- [13] G. Müller *et al.*, '*Guide Nature en Ville, les revêtements perméables, Conseils pour la réalisation et l'entretien, financier du Fonds suisse pour le paysage (FSP et de l'Office fédéral des forêts, du paysage et de l'environnement (OFEPF)*'. 2004, Site web : <http://www.urbanisme.neuchatel.ch/d2wfiles/document>.
- [14] G. Pommier, D. Provendier, C. Gutleben et M. Musy, '*Rôle du végétal dans le développement urbain durable, Impacts du végétal en ville*', Revue en ligne, Plante&Cite, France, 2014.
- [15] J. Kang, Y. Wei and Z. Mei, '*Environnement sonore et confort acoustique dans les espaces urbains*', Cité in M. Nikolopoulou, & J. Kang, School of Architecture, University of Sheffield, UK, 2002.
- [16] Website: www.plante-et-cite.fr
- [17] F. Bourbia *et al.*, 2004, Cité par M.E. Matallah, '*L'impact de la morphologie des tissus urbains sur le confort thermique extérieur - Cas d'étude ville de Tolga*'; Mémoire de Magister en Architecture, Option- Etablissements humains dans les milieux arides et semi-arides, Université Mohamed Khider, Biskra, 2015.

- [18] M. Boukhabla, D.J. Alkama and A. Bouchair, '*The effect of urban morphology in the city of Biskra in Algeria*', International Journal of Ambient Energy, Vol. 34, N°2, 2013.
- [19] A. Matzarakis, F. Rutz, and H. Mayer, '*Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model*', International Journal of Biometeorology, Vol. 51, N°4, pp. 323 - 334, 2007.
- [20] M. Maaoui, Station de Bio Ressources El Outaya, '*Atlas Plantes Ornementales des Zibans*', Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, Omar El Barnaoui 2014.
- [21] A Hanafi, '*Towards a high Intensity of use of the public place of the arid cities*' Energy Procedia, Vol. 157, pp. 443 - 456, 2019.