

## IMPACT DE LA PALMERAIE ET DE LA DENSITE DU CADRE BÂTI SUR LE MICROCLIMAT URBAIN EN MILIEU OASIEN

HAMEL Khalissa\*, BELAKEHAL Azeddine, SAADI Yacine, MELIOUH Fouzia  
*Laboratoire LACOMOFA, Département d'Architecture, Université de Biskra, Algérie*  
 Email: k.hamel@univ-biskra.dz

(Received 26 February 2021 - Accepted 01 June 2021)

**Résumé.-** Les oasis ont, toujours, été le lieu de regroupements humains en quête d'une adaptation aux conditions rigoureuses des régions sahariennes (sécheresse, aridité sévère du climat, etc.). La palmeraie, dans ces zones hostiles, constitue un élément fondamental dans l'équilibre de leurs écosystèmes, rendant, ainsi, vitale, la relation de ses populations locales avec cette palmeraie de par son impact sur leur vécu économique, environnemental et social. Notre cas d'étude est la ville de « Biskra », une ville oasienne par excellence du Sahara septentrional-est algérien, et ce, de par ses caractéristiques géoclimatiques. Cette ville se distingue par sa large palmeraie, renfermant en son sein un ensemble de quartiers dit « traditionnels ». De par leur originalité, ces quartiers traditionnels sont caractérisés, d'une part, par leur forme assez compacte, et d'autre part, par leur insertion harmonieuse au sein de la palmeraie, qui a été un élément majeur de régulation thermique. De nos jours, il est constaté une réelle atrophie de cette palmeraie, conséquence d'un étalement urbain bâti accéléré et irréfléchi. De ce fait et en plus du facteur du changement climatique universel, le microclimat (caractéristique des quartiers traditionnels du vieux Biskra), s'est trouvé alors radicalement changé. L'objet principal du présent article, est de faire état de l'évaluation de l'apport de la palmeraie et de la compacité du bâti dans l'amélioration des conditions climatiques dans les tissus traditionnels, et de quantifier l'impact de la réduction de l'étendue de la palmeraie sur le microclimat de ces quartiers. Il s'appuie sur une étude expérimentale employant une simulation numérique des conditions microclimatiques, à l'aide du logiciel tridimensionnel ENVI-met. Cette étude a permis de recueillir d'innombrables informations concernant l'effet notable des formes traditionnelles denses insérées dans une palmeraie, sur les variables microclimatiques, et de quantifier cet effet.

**Mots clés:** Compacité, densité, palmeraie, microclimat urbain, simulation microclimatique.

## IMPACT OF THE PALM GROVE AND THE BUILT DENSITY ON THE URBAN MICROCLIMATE IN OASIAN ENVIRONMENT

**Abstract.-** The oases have always been the place of human regrouping in search of an adaptation to the harsh conditions of Saharan regions (drought, severe aridity of the climate, etc.). The palm grove, in these hostile areas, constitutes a fundamental element in the balance of their ecosystems, thus making the relationship of its local populations with this palm grove vital due to its impact on their economic, environmental and social experience. Our case study is Biskra city, an oasis city by excellence in the South-East of Algeria because of its geoclimatic characteristics. This city is distinguished by its large palm grove which contains a set of so-called "traditional" neighborhoods. By their originality, these traditional districts are characterized, on the one hand, by their rather compact shape, and on the other one, by their harmonious insertion within the palm grove, which has been a major element of thermal regulation. We are witnessing currently a real atrophy of this palm grove as a result of an accelerated and thoughtless built urban sprawl. In addition to the factor of universal climate change, the microclimate, characteristic of the traditional districts of old Biskra, was then radically changed. The main purpose of this article is to report on the assessment of the contribution of the palm grove and the compactness of the building in improving climatic conditions in traditional fabrics, and to quantify the impact of the reduction. of the extent of the palm grove on the microclimate of these districts. It is based on an experimental study employing a numerical simulation of microclimatic conditions, using the three-dimensional software ENVI-met. This study allowed us to gather countless information concerning the notable effect of traditional dense forms inserted in a palm grove on microclimatic variables and to quantify this effect.

**Key words:** Compactness, density, palm grove, urban microclimate, microclimatic simulation.

## Introduction

Selon Larousse en ligne, le terme oasis désigne un «îlot de terrain, apte à la végétation et à l'habitation humaine, perdu au milieu d'espaces désertiques et dont l'existence est généralement liée à la présence de l'eau amenée par conduites (à partir de secteurs plus humides) ou par puits (nappe souterraine)». C'est aussi une «zone fertile dans une étendue de terrains arides» [1]. Ce nom est d'origine grecque, mais il a été employé par les Egyptiens en premier lieu, puis par Hérodote, aux masses de verdure qui se trouvaient dans le désert de la Libye [2]. Les oasis ont, toujours, été le théâtre de regroupements humains en quête d'une adaptation aux conditions rigoureuses des régions sahariennes (sécheresse, aridité sévère du climat, etc.). La palmeraie, dans ces zones fragiles, constitue un élément fondamental dans l'équilibre de leurs écosystèmes, rendant, ainsi, «vitale», la relation de ses populations locales avec cette palmeraie, de par son impact sur leur vécu, sur les plans: économique, environnemental et social. De nos jours, les oasis sont en danger en raison de la dégradation progressive de leurs palmeraies. La cause principale de cette situation, c'est l'urbanisation rapide qui ne cesse d'altérer les écosystèmes naturels et semi-naturels, entraînant la perte de végétation, de biodiversité, d'espaces ouverts et modifiant les cycles hydrologiques et biogéochimiques [3,4]. Biskra qui était une ville oasis par excellence, avait une palmeraie qui s'étendait sur une large surface, constituant ainsi un facteur majeur dans la formation d'un microclimat clément pour les habitants de la ville, face à la sévérité du climat aride et chaud de cette région. Malheureusement, cette palmeraie contenant en son sein des quartiers dits traditionnels, connaît actuellement une réelle atrophie. Cette dernière a contribué significativement dans le changement climatique que connaît la ville. Ajoutons à cela, l'impact négatif du changement climatique universel, et des nouvelles formes d'urbanisation inadaptées au contexte (avec toutes ses dimensions: physique, sociale, culturelle, climatique, etc.), et qui sont en totale rupture avec les formes traditionnelles parfaitement intégrées à leur environnement, par leur morphologie compacte.

L'intention à travers cet article est d'attirer l'attention sur une question alarmante, celle de la disparition progressive de la palmeraie et de son impact sur le bioclimat, et de mettre l'accent sur les avantages des formes urbaines traditionnelles compactes qui sont actuellement délaissées au profit de nouvelles formes inadaptées au contexte. Comme objectifs, il est visé à quantifier l'impact de la disparition de la palmeraie sur le microclimat des tissus traditionnels, et à évaluer le degré d'efficacité climatique des formes traditionnelles compactes.

## 1.- Cadre théorique de l'étude

### 1.1.- Le végétal, la ville et l'homme

D'une manière générale, l'élément végétal présente d'innombrables avantages, sur les plans: économique, social, psychologique, écologique et climatique, etc. Il existe un consensus universel sur le rôle bénéfique des espaces verts sur la santé et le bien-être de l'homme [5-8], ainsi que sur son confort psychologique [9]. Une étude sur la perception de la qualité de l'environnement résidentiel [10] a conclu que la présence de la verdure est un facteur majeur pour avoir des endroits positifs. Sur le plan climatique, GIVONI (1991) a résumé les bienfaits de la végétation dans: l'amélioration du climat urbain, la réduction de la pollution atmosphérique et la diminution du bruit urbain [11]. De ce fait, l'élément vert constitue un facteur clé pour atténuer les effets néfastes de l'urbanisation (pollution, effet

de serre, changement climatique, etc.) [12-14], et pour créer des microclimats appropriés pour la vie humaine [15], surtout dans les zones fragiles telles que les zones arides et chaudes.

### **1.2.- Le végétal et le climat des zones désertiques: «effet oasis»**

Par rapport aux zones désertiques, plusieurs études ont évoqué ce qu'on appelle «effet oasis» (oasis effect en anglais), et qui se réfère au phénomène du «cooling effect» causé par la végétation [16-20]. L'effet oasis est défini comme étant un refroidissement par évaporation dû aux différences d'équilibre énergétique entre l'oasis et le désert environnant. Par ailleurs, selon POTCHTER *et al.* (2008), les études sur l'influence de la végétation sur les paramètres climatiques utilisent souvent l'expression d'«effet oasis» pour décrire le phénomène de refroidissement par la végétation, ou plutôt la modification de la concentration en eau de la surface entraînant une variation progressive des flux de chaleur et de vapeur d'eau, même si ces études sont menées dans divers climats et milieux urbains ou ruraux [16]. Il s'agit bien des études de JONSSON (2004) [21], OKE (2002) [22], SPRONKEN-SMITH *et al.* (2000) [23], TAHA *et al.* (1991) [18] et RIOU (1990) [24]. En plein désert, les oasis qui constituent des zones humides, créent leur propre microclimat. Ce dernier se caractérise par rapport au climat environnant, par la réduction des températures et du rayonnement direct, ainsi que par la modération de la vitesse du vent. L'effet oasis née non seulement de l'effet d'évaporation qui consomme une importante quantité d'énergie et refroidit l'air, mais aussi de deux autres phénomènes essentiels et qui sont: l'ombre créée par la végétation et qui intercepte le rayonnement solaire direct et l'empêche de réchauffer la surface du sol, ainsi que le refroidissement par rayonnement terrestre nocturne [16,20]. L'étude de BENCHEIKH and RCHID (2012) sur la ville de Ghardaïa, a montré que les températures de l'air au centre des jardins de palmiers étaient inférieures de 5 à 10° C par rapport aux autres sites bâtis dépourvus de végétal [25].

### **1.3.- « La compacité »: une forme urbaine adaptée au désert**

Les établissements humains sahariens ne se sont pas adaptés aux conditions difficiles des régions désertiques, uniquement, à travers le choix des oasis comme sites, mais aussi à travers l'adoption de formes urbaines compactes, efficacement intégrées à leur environnement physique, spécialement climatique, et de ce fait, elles avaient un microclimat plus modéré que celui environnant. En Algérie, l'exemple de la compacité des «Ksour» du sud, a toujours suscité l'intérêt des chercheurs, et il a été communément admis que cette morphologie urbaine présente une certaine efficacité climatique et énergétique. Néanmoins cette dernière a été remise en cause par certains chercheurs. A ce titre, ALI-TOUDERT *et al.* (2005) [26] ont cité les travaux de GIVONI (1998) [27], et MEIER *et al.* (2004) [28], selon lesquels les avantages de cette forme traditionnelle et les techniques employées dans son architecture ont été surestimés, et que son inertie thermique excessive, par exemple, entrave le refroidissement nocturne par rayonnement, ce qui cause un inconfort durant la nuit. Mais l'étude expérimentale quantitative de TOUDERT *et al.* (2005) [26], qui a investie l'efficacité des solutions de conception traditionnelles pour assurer des conditions extérieures confortables, a obtenu des résultats différents. Les résultats montrent un inconfort thermique, en été, dans les espaces non ombragés, avec des températures moyennes radiantes et des températures physiologiques équivalentes atteignant un maximum de 74 et 55°C, respectivement, et confirme qu'un rapport élevé du prospect est une stratégie efficace pour réduire l'inconfort thermique des personnes au niveau de la rue. Les conclusions de cette étude soutiennent l'hypothèse de l'efficacité des

formes compactes au désert. Par ailleurs, la revue de la littérature montre que les études sur la compacité sont restées dans l'état descriptif, et que peu d'études seulement ont examiné objectivement, c'est-à-dire à travers des paramètres mesurables, ses impacts climatiques [26,29-31].

La présente étude se propose d'examiner l'effet de la palmeraie et de la compacité du cadre bâti sur les conditions climatiques dans l'un des quartiers traditionnels de la ville de Biskra, à travers deux scénarios pour le même site. Le premier scénario conservera le site existant sans aucun changement. Le deuxième scénario, représentera le cas de l'absence complète de l'élément végétal du site. A travers ce deuxième scénario, où on conservera uniquement le cadre bâti, on examinera l'impact de la compacité de la masse physique sur le microclimat et le confort thermique. On se contente, dans ce propos, des résultats de la saison estivale, en raison de ses conditions climatiques extrêmes et de leur effet notoire sur le stress thermique humain.

## 2.- Cas d'étude

Le cas d'étude de la présente recherche est le cas de la ville de Biskra. Cette ville algérienne, qui s'étale sur une surface de 127,55 km<sup>2</sup>, est située au pied sud de la chaîne montagneuse de l'Atlas Saharien, sur une latitude de 34°48' au nord, une longitude de +5°44' Est, et à une altitude de 88 m au-dessus du niveau de la mer. Elle a été fondée à l'origine selon un système oasien, sous forme d'une ville au sein de la palmeraie. L'espace sur lequel elle était assise était constitué en grande partie d'une palmeraie qui représentait 90% de l'espace de la ville [32]. La destruction de la palmeraie qui ne compte actuellement que 5% de la surface totale, n'a pas été sans conséquences sur le climat, en augmentant le taux d'évaporation, de réflexion de la chaleur, et en accélérant la désertification. A cet égard, une étude analytique des séries chronologiques des facteurs météorologiques [33] a indiqué que la ville connaît actuellement les symptômes d'un changement climatique très apparent, d'où la nécessité d'y remédier en urgence.

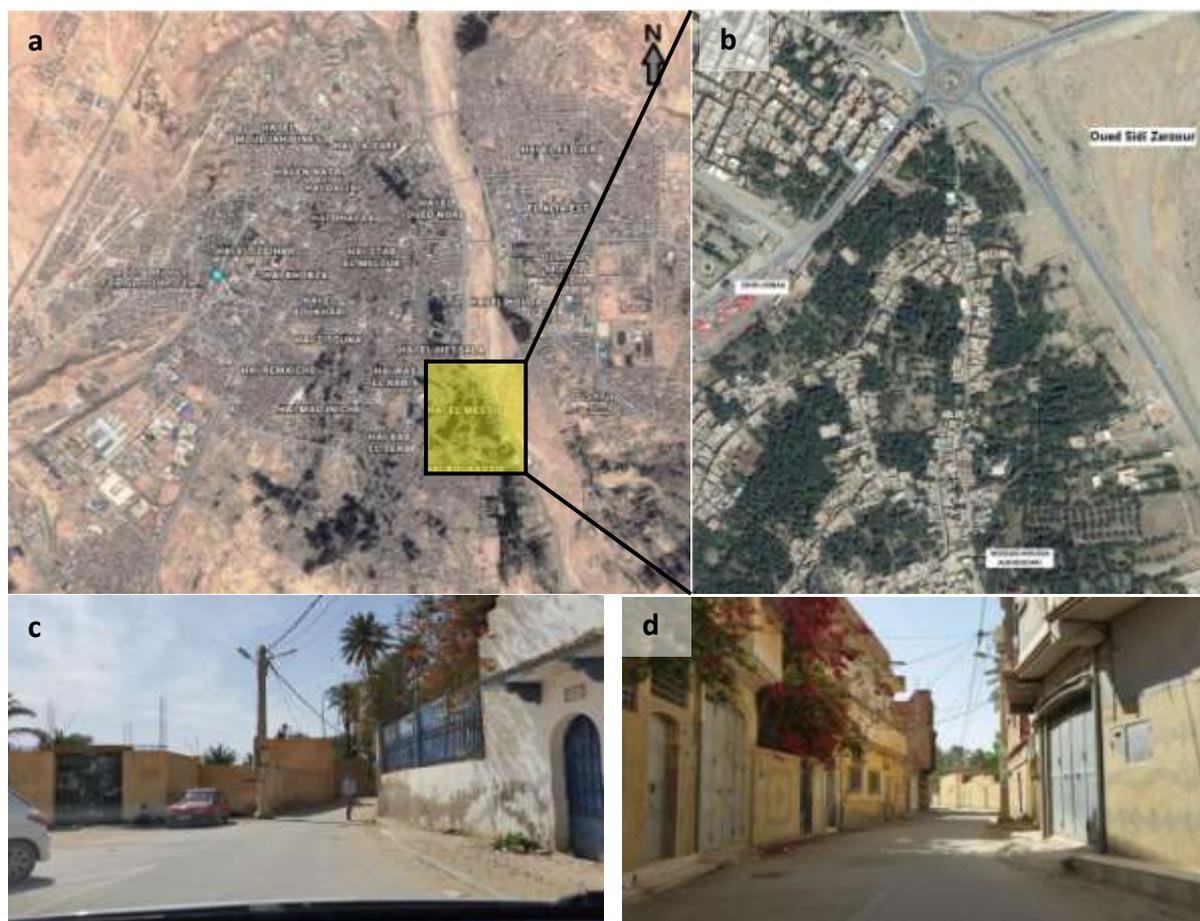
Biskra est caractérisée par un climat désertique. Tout au long de l'année, la pluie y est très rare. Selon la classification de Köppen-Geiger, le climat est de type BWh (Climat désertique chaud et sec). Biskra affiche une température annuelle moyenne de 21.8°C. Sur l'année, la précipitation moyenne est de 141 mm [34]. Les étés sont caniculaires, les hivers sont longs et frais et le climat est sec et le ciel, dans l'ensemble est dégagé tout au long de l'année. Au cours de l'année, la température varie généralement de 7°C à 40°C [35]. La saison très chaude se prolonge du 8 juin au 10 septembre, avec une température moyenne maximale supérieure à 35°C. La température moyenne maximale est de 40°C et la minimale est de 29°C. L'analyse des températures horaires moyennes démontrent un inconfort et un stress thermique, durant une longue période de l'année. L'humidité reste généralement faible, entre 10 et 50%. L'évaporation est importante, elle atteint les 2600 mm comme moyenne annuelle. Le rayonnement solaire est très important et direct. La durée d'ensoleillement est importante pendant toute l'année et surtout en juillet. La vitesse moyenne mensuelle des vents est sensiblement moins élevée au cours des dernières années. Ceci est dû à l'urbanisation et à la destruction du couvert végétal (palmeraie).

## 3.- Présentation du site étudié

Le quartier choisi pour la présente étude, est l'un des quartiers les plus anciens dans le vieux Biskra (selon certains auteurs, c'est le premier noyau fondé), il s'agit bien du

quartier «M'cid». Il se situe au sud-est de la ville, à proximité de l'Oued de Biskra. Ce type d'habitat traditionnel présente l'un des éléments originaux de la ville. Il est "caractérisé par son intégration parfaite à l'intérieur de la palmeraie, d'une manière semi-dispersée, qui reste une caractéristique particulière, de l'habitat des zones arides et semi-arides en général" [32].

Toutefois, ce quartier et ce type d'habitat généralement, a connu une grande mutation, surtout par l'introduction des matériaux de construction nouveaux qui ont altéré le niveau d'intégration à l'environnement naturel, et spécifiquement l'adaptation au bioclimat.



**Figure 1.-** Site d'étude (a) Situation du site par rapport à la ville (b) Quartier M'cid (c) Entrée du quartier; (d) Introduction de nouveaux matériaux de construction (Google Earth, 2019; Auteur, 2016)

### 3.1.- Forme et densité du quartier

La structure urbaine de ce quartier est linéaire, relativement hiérarchisée et forme parfois des boucles ceinturant le bâti. Le système viaire est composé de rues, de ruelles, d'impasses et de passages couverts, dont la largeur varie, respectivement, de entre 6-8m, 3-2m, 1.5-2m. La plage de variation du prospect est importante: d'un rapport de 0.29 à 3.5 avec une valeur intermédiaire de 1.16. Les répercussions favorables de ces valeurs résident dans la protection des rues et des façades contre les gains énergétiques par le rayonnement solaire direct à travers la création de zones d'ombre. Les rues sont orientées longitudinalement nord-sud, avec une inclinaison légère vers l'est ou vers l'ouest, ou bien nord-est/sud-ouest, alors que les impasses, les ruelles et les passages couverts sont orientés

est-ouest dans la plupart des cas. Les îlots sont caractérisés par leur linéarité et par leurs proportions variées. Le bâti est organisé dans une seule direction, où les habitations sont juxtaposées formant une ligne discontinue interrompue par des vides. La hauteur des bâtiments varie entre un à quatre niveaux parfois. Le coefficient de forme dans cet échantillon est de 0.29. Le matériau utilisé autrefois était la terre –sous forme de toub- avec lequel on construit des murs d'une épaisseur allant de 40 à 60 cm et qui sont couverts par une couche de terre, transformée actuellement en mortier de ciment. Les planchers intermédiaires et les toitures sont réalisés avec les troncs de palmiers et de la terre. Mais aujourd'hui, et depuis un certain temps, ces matériaux et techniques ne sont plus utilisés pour les nouvelles constructions, c'est le béton armé et maigre, le parpaing, la brique, l'hourdis, etc. qui s'y substituent. Le recours à ces nouvelles alternatives n'était pas sans conséquences sur le microclimat de ce type d'habitat. Dans sa dimension urbaine, ce tissu est conçu sous forme de groupements compacts éparpillés et ordonnés le long du Zgag (rue relativement étroite). Ce schéma représente le fondement de l'urbanisme oasien qui repose sur une coexistence entre l'habitat, et la palmeraie. Le coefficient d'emprise au sol (CES) brut dans cet échantillon est de 0.69 [36].

#### **4.- Méthodologie de l'expérience**

Afin d'évaluer l'impact de la compacité du cadre bâti et de la palmeraie sur le microclimat, on a opté pour une simulation numérique des conditions microclimatiques (température de l'air, humidité relative, vitesse de l'air, température moyenne radiante), à l'aide de la dernière version du logiciel tridimensionnel ENVI-met (V4.4.3) [37]. Ce dernier est choisi pour sa capacité de traitement de tous les phénomènes microclimatiques (thermique, aérodynamique, solaire, etc.), avec des fortes résolutions spatiotemporelles.

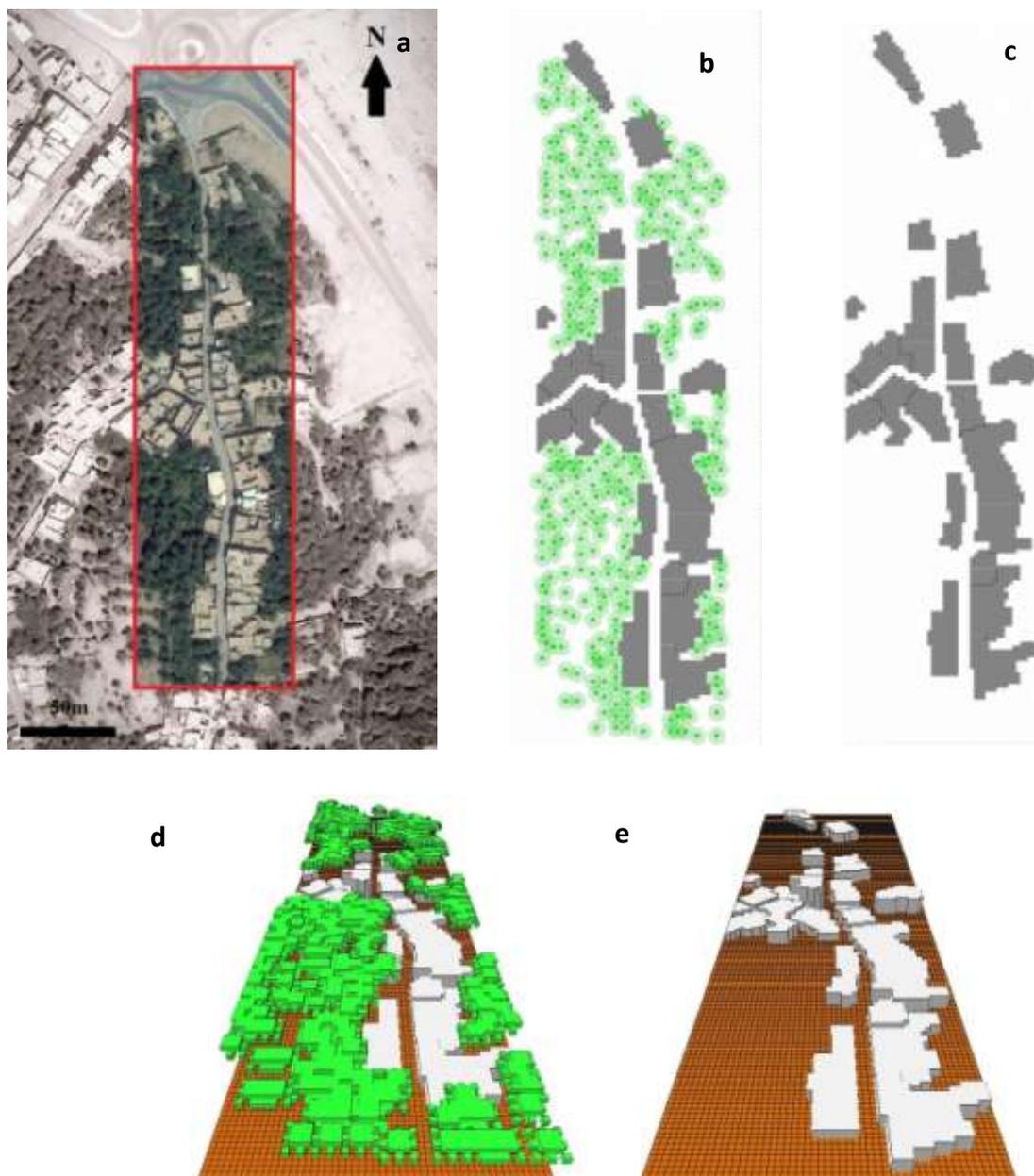
##### **4.1.- Présentation du logiciel de simulation**

ENVI-met est un modèle microclimatique tridimensionnel conçu pour simuler les interactions surface-plante-air en milieu urbain avec de fortes résolutions allant jusqu'à 0,5 m dans l'espace et de 1 à 5 secondes dans le temps. ENVI-met permet la simulation du microclimat urbain et l'évaluation des effets de l'atmosphère, de la végétation, des bâtiments et des matériaux.

Le modèle est composé de quatre principaux systèmes: sol, végétation, atmosphère et bâtiment. Les équations de base du modèle physique sont liées au débit d'air moyen, à la température et l'humidité, à la turbulence et les processus d'échange, et aux flux radiatifs. Le système du modèle complet comprend un certain nombre de modèles supplémentaires, tels que des modèles biométéorologiques ou de dispersion de particules [38]. En tant que programme CFD, ce logiciel a fait l'objet de plusieurs validations dans différents climats, tel que le climat continental de Fribourg en Allemagne [39], le climat subtropical humide de Guangzhou en Chine [40], le climat méditerranéen chaud avec été sec de Fès au Maroc et de Constantine en Algérie [41,42], le climat désertique de Phoenix aux USA et Dubaï en EUA, [43,44], le climat équatorial de Singapour [45], et le climat subtropical humide chaud sans saison sèche de Saga au Japon [46]. Par ailleurs, il existe une large littérature validant les résultats du modèle ENVI-met [47,48] et concluant que ce logiciel reproduit les données mesurées avec une précision adéquate et que c'est un outil fiable pour simuler divers scénarios urbains [49].

#### 4.2.- Périmètre d'étude et scénarios simulés

Le périmètre choisi pour cette simulation englobe: le bâti, la palmeraie et une partie de l'environnement immédiat (fig. 2). Deux scénarios ont été choisis: le premier scénario conservera le site existant sans aucun changement (bâti +palmeraie). Le deuxième scénario, représentera le cas de l'absence complète de l'élément végétal du site.



**Figure 2.-** (a) Périmètre d'étude; (b) Scénario A: bâti + palmeraie; (c) Scénario B: bâti (sans palmiers); (d) Vue 3D du scénario A; (e) Vue 3D du scénario B.

#### 4.3.- Etapes de travail

La simulation des paramètres microclimatiques via le logiciel ENVI-met comprend quatre étapes essentielles:

- Première étape: l'organisation des répertoires de fichiers dans l'espace de travail,

- Deuxième étape: la modélisation des scénarios investis et l'édition des caractéristiques des matériaux de construction, du sol et des plantes à l'aide de la base de données du logiciel, créant ainsi le fichier d'entrée (INX),
- Troisième étape: l'édition des paramètres de simulation (microclimat) et la création du fichier de simulation (SIM)
- Quatrième étape: visualiser les fichiers de résultats (sortie) binaires d'ENVI-met (EDI/EDT) à l'aide du logiciel Windows Leonardo.

Il est à noter que la journée choisie pour la simulation est la journée du 15 juillet, qui est la journée la plus chaude de l'année (selon l'étude statistique des facteurs météorologiques). On s'est contenté, dans ce propos, d'analyser la saison estivale, en raison de ses conditions climatiques extrêmes et de leur effet notoire sur le stress thermique humain.

**Tableau I.-** Données d'entrée (inputs)

<b>Données du modèle</b>			
<b>Situation</b>	Biskra, Algeria	<b>Taille de la grille du modèle</b>	2x2x2
<b>Cordonnés géographique</b>	Latitude:34.84 Longitude: 5.75	<b>Matériaux des murs et toits</b>	Isolation modérée
<b>Taille du modèle de simulation</b>	102x372x80(mètre)	<b>Grilles de nidification</b>	7
<b>Données de simulation</b>			
<b>Date de simulation</b>	15/07/2016	<b>Rugosité du site</b>	0.04
<b>Début de la simulation</b>	04h00	<b>Température maximale</b>	41°C (16h00)
<b>Durée de simulation</b>	18 heures	<b>Température minimale</b>	27.7°C (06h00)
<b>Vitesse de l'air à 10m d'hauteur</b>	2.5 m/s	<b>Humidité relative maximale</b>	41%
<b>Direction des vents</b>	180°	<b>Humidité relative minimale</b>	11.4%
		<b>Boundary conditions</b>	Simple forcing (standard)
<b>Elément de l'environnement bâti</b>			
	<b>Type</b>	<b>Longueur de rugosité</b>	<b>Albédo</b>
<b>Murs et toiture</b>	Mur par défaut (Isolation modérée)	0,02	
	Murs de l'utilisateur	0,02	
<b>Sol</b>	Sol limoneux	0,015	0
	Asphalt	0,01	0,2
<b>Végétation</b>			
<b>Type</b>	<b>Hauteur</b>	<b>Largeur</b>	<b>Albédo</b>
<b>Palmier</b>	12 m	9 m	0,18

Les données d'entrée (inputs) de la simulation sont présentées dans le tableau I.

## 5.- Résultats et discussion

L'étude comprend deux volets dont le premier vise à quantifier l'impact de la disparition totale de la palmeraie sur le microclimat, en réalisant des simulations avec un scénario de l'état actuel du quartier (bâti et palmeraie), et un scénario de l'état du quartier

sans palmiers. Le deuxième volet examine l'impact de la compacité du bâti exprimé par le coefficient d'ouverture au ciel (sky view factor), sur les facteurs du confort thermique.

Des résultats obtenus de la simulation (outputs), il est choisi d'analyser les paramètres qui sont en étroite relation avec les paramètres du confort thermique. Il s'agit de la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air, et la température radiante.

### 5.1.-Impact de la végétation

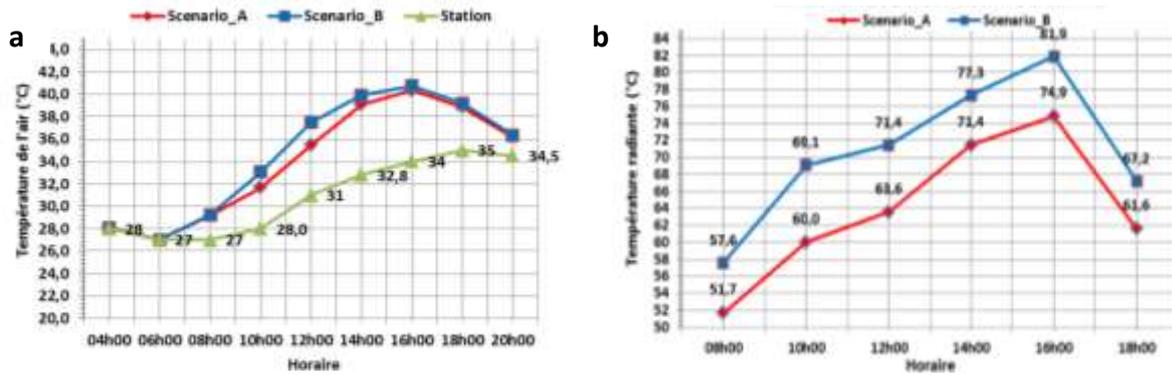


Figure 3.- (a) Evolution de la température de l'air; (b) Evolution de la température radiante

Les valeurs de la température de l'air pour les deux scénarios simulés sont plus élevées par rapport aux valeurs de la station météorologique (fig. 3). Cela est dû à l'effet de l'îlot de chaleur urbain né de la présence de masses bâties, et au fait que l'échantillon simulé est situé dans un milieu urbain (rugosité 0,1). Le scénario A (avec végétation) présente des valeurs moins élevées à partir de 08h00' et jusqu'au coucher du soleil. La différence entre les deux scénarios varie entre une valeur minimale de 0,1°C à 08h00' et une valeur maximale de 2,1°C à midi, lorsque le soleil est au zénith et à une hauteur de 78°C (hauteur maximale en été). Des valeurs de température égales sont enregistrées de 04h00' à 08h00'. Cela concorde avec d'autres études telles que celle de LOUAFI et BELLARA (2016) [50] et qui ont conclu que les arbres peuvent réduire la température de l'air et du sol d'environ 13,7°C, ainsi que l'étude de BENCHEIKH *et al* (2012) [25] qui a montré que les températures de l'air au centre des jardins de palmiers étaient inférieures de 5 à 10°C par rapport aux autres sites bâtis dépourvus de végétal. Il est également à noter que la température maximale est enregistrée à 16h00', et qu'à ce moment la différence entre les deux scénarios diminue sensiblement ( $\Delta T=0,4^{\circ}\text{C}$ ).

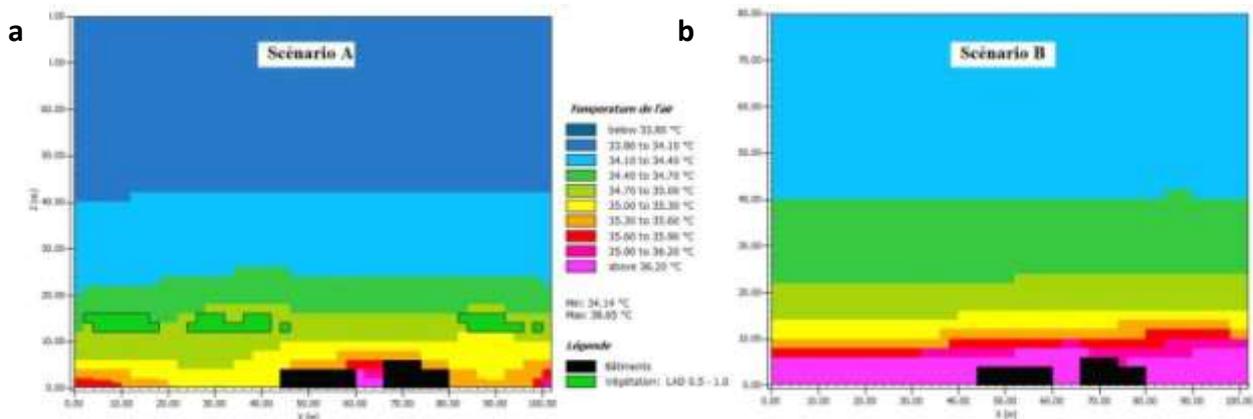
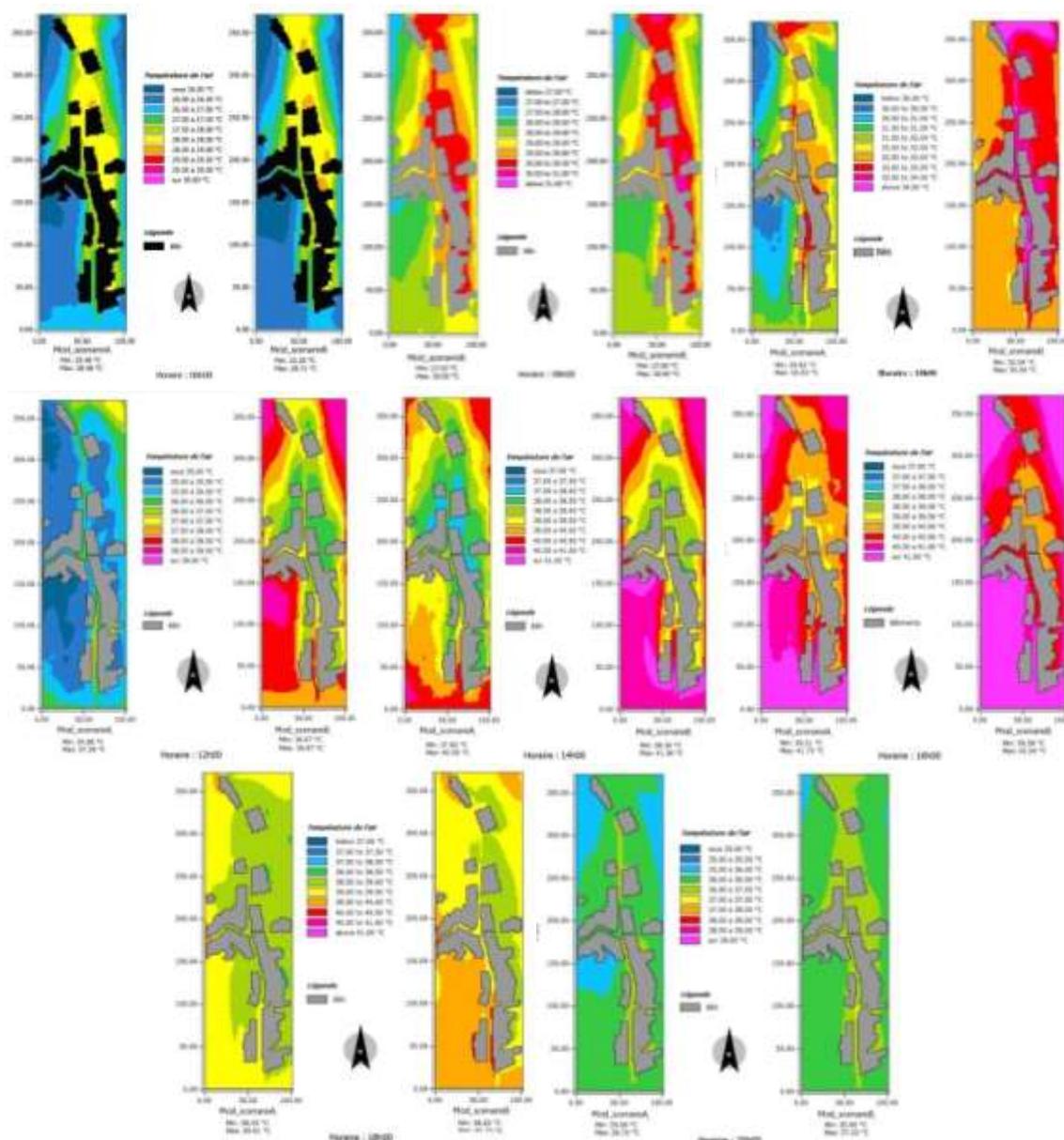


Figure 4.- Températures de l'air à midi en coupe transversale sur le quartier (a) avec végétation; (b) sans végétation.

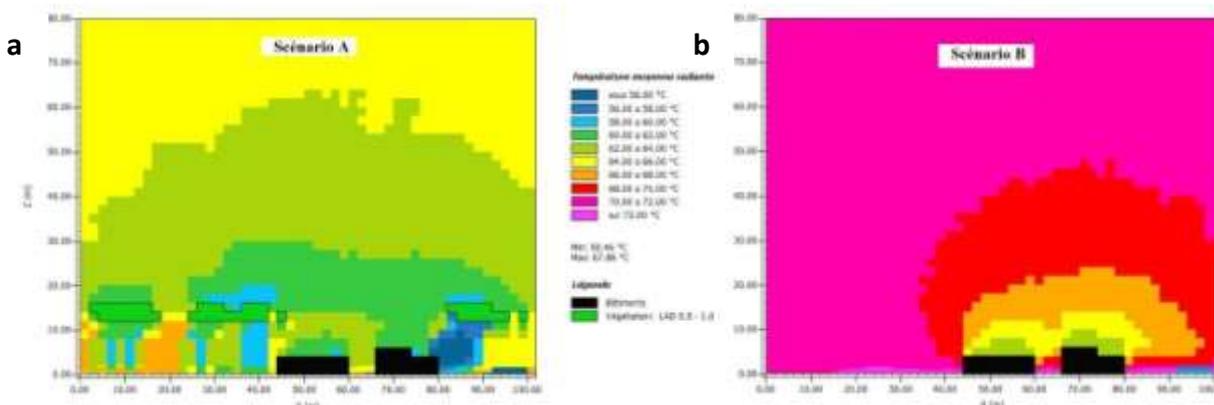
A travers la figure 4 (coupe transversale), on peut voir clairement l'effet de la végétation sur les températures de l'air qui s'étend dans le sens vertical. En plus de son influence par le mécanisme d'évapotranspiration, la végétation agit sur le microclimat par l'effet d'ombrage, et l'effet d'altération de la vitesse et la direction du vent tant qu'écran naturel.



**Figure 5.-** Températures de l'air à différents moments de la journée.

L'analyse des cartes de la température de l'air pour les deux scénarios (fig. 5), montre la présence d'un îlot de chaleur urbain, à 06h00', 08h00' et 10h00', et qui devient un îlot de fraîcheur à partir de 12h00' et jusqu'au coucher du soleil. Le premier effet, c'est-à-dire l'îlot de chaleur est dû au fait qu'au niveau d'une étendue de bâtiment, il y a une multiplication de réflexions radiatives, et que la dissipation de la chaleur est entravée, à l'encontre d'un espace dégagé. Alors que le deuxième phénomène est expliqué par le fait qu'au niveau des zones végétalisées qui sont considérées comme des zones protégées, la vitesse de l'air est altérée, ce qui réduit les possibilités d'échange thermique entre les

différentes couches d'air, et conduit par là à l'augmentation des températures de l'air et au réchauffement, cela d'une part. D'autre part, à ces moments de la journée, l'ombrage dû à la réduction des espacements entre les bâtiments participe à créer des zones de fraîcheur, contrairement aux espaces dégagés dépourvus d'obstacles d'occultation contre le rayonnement solaire intense.



**Figure 6.-** Températures radiantes à midi en coupe transversale sur le quartier (a) avec végétation; (b) sans végétation

Les valeurs de la température moyenne radiante (TMR) sont comprises entre 17,1 et 74,9°C pour le scénario A, et entre 16,1 et 81,9°C pour le scénario B. Cela signifie qu'il y a une grande variation de la charge calorifique rayonnante. L'évolution de la TMR au cours de la journée simulée, enregistre les valeurs les plus élevées pour les deux scénarios à 16h00, car à ce moment, les flux de rayonnement atteignent leurs valeurs maximales.

L'impact de la palmeraie sur les températures radiantes est important. La TMR peut baisser de 9,1°C par rapport au cas de l'absence totale de la palmeraie (scénario B). L'influence de cette dernière s'étend même dans le sens vertical (voir figure 6).

**Tableau II.-** Impact de la palmeraie sur les facteurs microclimatiques

Cas simulés	Surface totale	Surface végétalisée	Surface végétale (%)	T air (°C)	HR (%)	V air (m/s)	TMR (°C)	PET (°C)
<b>Scénario A</b>	37944m <sup>2</sup>	20735m <sup>2</sup>	54,65%	35,5	24,7	1,33	63,6	47,61
<b>Scénario B</b>	37944m <sup>2</sup>	0	0%	37,5	22,2	1,30	71,4	49,6

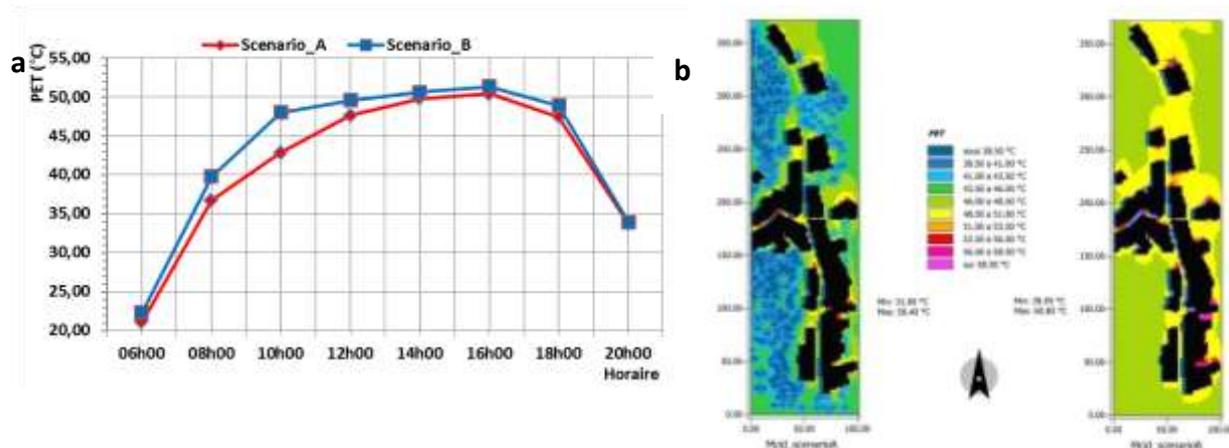
Le tableau II résume l'effet de la palmeraie sur les conditions climatiques pour le cas simulé, à travers les valeurs moyennes de la totalité de l'échantillon étudié.

## 5.2.- Impact de la compacité du bâti

Dans ce qui suit, on analysera l'effet de la compacité du bâti sur le climat et le confort thermique, à travers la simulation de la température moyenne radiante (TMR), et la température physiologique équivalente (PET). En effet, ces deux facteurs constituent des paramètres importants pour l'évaluation du niveau de confort thermique. La température moyenne radiante est définie comme étant la moyenne des températures des parois pondérées par leur surface. Elle dépend du degré d'exposition au rayonnement solaire. Sa simulation avec ENVI-met se fait intégralement, afin de calculer certains indices de confort. Quant à la température physiologique équivalente, elle est actuellement

l'indicateur le plus utilisé pour évaluer le confort thermique au niveau des espaces urbains extérieurs [51], car dans le calcul du bilan thermique d'un individu, elle prend en considération la totalité des flux solaires de courtes et de grandes longueurs d'ondes en provenance des parois environnantes.

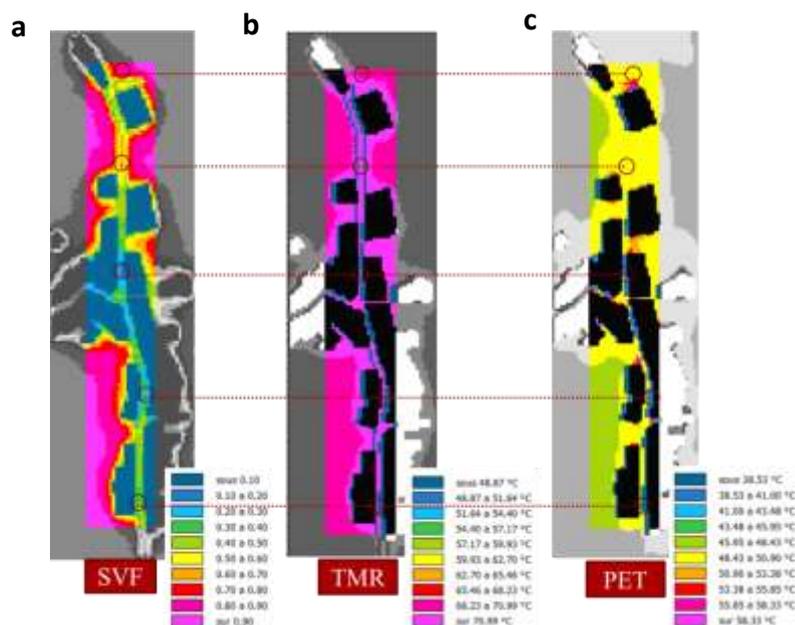
L'analyse des cartes de l'évolution temporelle et spatiale de la TMR indique que dans les espaces ombragés entre les bâtiments (rues et ruelles) les valeurs ont tendance à être plus faibles que dans le reste du quartier (fig. 7). Cela est dû à la morphologie urbaine compacte du quartier qui fournit un ombrage et empêche le rayonnement solaire d'atteindre le sol. La relation entre la TMR et le coefficient d'ouverture au ciel (SVF) a également été vérifiée; le résultat est montré dans la figure 8.



**Figure 7.-** (a) Variation temporelle moyenne de la température physiologique équivalente; (b) Variation spatiale de la température physiologique équivalente à 10h00.

La partie bâtie du quartier, présente une faible ouverture au ciel et qui varie entre 0,1 à 0,5. En effet, la configuration du bâti est d'une forme linéaire compacte avec des rues étroites, ce qui fait que la part du ciel visible soit réduite. Les valeurs du coefficient d'ouverture au ciel au niveau des rues sont faibles. Ce paramètre est d'une grande importance, car il affecte la quantité d'énergie solaire incidente et la température de l'air. Certains chercheurs [52,53] ont rapporté que l'exposition solaire et le SVF sont deux facteurs clé qui déterminent le bilan thermique journalier en milieu urbain. En fait, d'après ATHAMENA, RATTI *et al* [54] ont montré que les configurations urbaines confinées sont favorables au piégeage radiatif générant une élévation de la température de l'air nocturne plus importante que celles des formes urbaines ouvertes. Cependant, au sein de ces espaces denses, l'élévation de la température est compensée durant le jour par des effets de fraîcheur procurés par la propagation des zones ombragées.

En l'absence de l'élément végétal, c'est-à-dire avec trois composantes uniquement: bâti, sol et atmosphère, on a essayé d'analyser l'impact du bâti sur deux facteurs importants et qui sont la température moyenne radiante (TMR) et la température physiologique équivalente. La superposition de la carte du coefficient d'ouverture au ciel (SVF), de celle de la TMR et de la PET montrent que les zones à faible ouverture au ciel ont des valeurs de TMR et de PET les moins élevées, cela s'explique par le fait que ces zones sont ombragées et protégées du rayonnement solaire.



**Figure 8.-** Variation spatiale (a) du facteur de vue du ciel; (b) de la température moyenne radiante; (c) de la température physiologique équivalente à 10h00

## Conclusion

Dans les régions chaudes et arides, l'intensité du rayonnement solaire est la cause principale du stress thermique, d'où la nécessité de procurer un maximum d'ombre en saison estivale, à travers deux éléments essentiels, et qui sont: l'élément végétal, et la compacité du cadre bâti.

Le présent travail soutient l'hypothèse de l'efficacité énergétique des formes compactes. En effet, le degré de compacité est proportionnel aux taux des échanges thermiques en milieu urbain. L'augmentation de la compacité implique une réduction des gains et des pertes calorifiques. L'altération de stockage et de diffusion de chaleur limite le réchauffement, du fait que les gains solaires sont limités, à cause de l'atténuation de la surface exposée. Limiter le réchauffement a des répercussions favorables sur le microclimat de la ville en milieu arides. Mais il importe de signaler que cette compacité ne peut seule suffire à assurer un confort thermique, elle doit être combinée à une orientation adéquate par rapport aux mouvements d'air locaux afin de permettre la dissipation de l'excès de chaleur (surtout nocturne).

Les arbres de palmier peuvent contribuer considérablement dans l'amélioration du microclimat des villes sahariennes, à travers: la réduction des températures de l'air, l'augmentation du taux d'humidité par le biais de l'évapotranspiration, l'atténuation du rayonnement solaire, la filtration de l'air et la création de brises de vent. Les palmiers sont des éléments importants qui pourraient être utilisés pour fournir de l'ombre et en même temps, garder la vue du ciel ouverte, chose nécessaire pour le refroidissement par rayonnement nocturne.

La situation actuelle des écosystèmes oasiens nécessite des outils d'urbanisation renouvelés qui donnent une plus grande importance à l'élément végétal et spécifiquement au palmier, dans la conception des futures extensions urbaines, afin d'améliorer les conditions

de ces régions qui constituent une étendue de 30% de la surface continentale. Parmi les axes de recherche à développer dans ce cadre, c'est la recherche d'un pourcentage optimal de végétalisation, qui permet une amélioration des conditions climatiques dans ces régions, et une contribution dans la recréation de l'équilibre environnemental perdu.

## Références

- [1].- Larousse., (s. d.).- Oasis. Consulté 2 février 2020, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/oasis/55333>
- [2].- Encyclopédie Larousse., (s. d.).- Oasis. In L'encyclopédie Larousse en ligne. Consulté à l'adresse <https://www.larousse.fr/encyclopedia/divers/oasis/74161>
- [3].- Grimm N. B., Faeth S. H., Golubiewski N. E., Redman C. L., Wu J., Bai X., and Briggs J. M., 2008.- Global change and the ecology of cities. *science*, 319(5864): 756-760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>
- [4].- Russo A., J Escobedo F., and Zerbe S., 2016.- Quantifying the local-scale ecosystem services provided by urban treed streetscapes in Bolzano, Italy. *AIMS Environmental Science*, 3(1): 58-76. <https://doi.org/10.3934/environsci.2016.1.58>
- [5].- Southon G. E., Jorgensen A., Dunnett N., Hoyle H., and Evans K. L., 2018.- Perceived species-richness in urban green spaces: Cues, accuracy and well-being impacts. *Landscape and Urban Planning*, 172: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.12.002>
- [6].- Douglas O., Lennon M., and Scott M., 2017.- Green space benefits for health and well-being: A life-course approach for urban planning, design and management. *Cities*, 66: 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.03.011>
- [7].- Sang Å. O., Knez I., Gunnarsson B., and Hedblom M., 2016.- The effects of naturalness, gender, and age on how urban green space is perceived and used. *Urban Forestry and Urban Greening*, 18: 268-276. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.06.008>
- [8].- Bertram C., and Rehdanz K., 2015.- The role of urban green space for human well-being. *Ecological Economics*, 120: 139-152. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.10.013>
- [9].- Ulrich R. S., 1979.- Visual landscapes and psychological well-being. *Landscape research*, 4(1): 17-23. <https://doi.org/10.1080/01426397908705892>
- [10].- Kyttä M., Broberg A., Tzoulas T., and Snabb K., 2013.- Landscape and Urban Planning Towards contextually sensitive urban densification: Location-based softGIS knowledge revealing perceived residential environmental quality. *Landscape and Urban Planning*, 113: 30-46. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.01.008>
- [11].- Givoni B., 1991.- Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 25(3): 289-299.

[https://doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90001-U](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90001-U)

- [12].- Gonçalves A., Castro Ribeiro A., Maia F., Nunes L., and Feliciano M., 2019.- Influence of Green Spaces on Outdoors Thermal Comfort—Structured Experiment in a Mediterranean Climate. *Climate*, 7(2), Pp 20. <https://doi.org/10.3390/cli7020020>
- [13].- Janhäll S., 2015.- Review on urban vegetation and particle air pollution—Deposition and dispersion. *Atmospheric environment*, 105: 130-137, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>
- [14].- Nowak D. J., and Crane D. E., 2000.- The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions. In M. Hansen and T. Burk (Éd.), *Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century*, vol. 212: 714-720 <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/18420>
- [15].- Shashua Bar L., Pearlmutter D., and Erell E., 2011.- The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot arid environment. *International journal of climatology*, 31(10): 1498-1506. <https://doi.org/10.1002/joc.2177>
- [16].- Potchter O., Goldman D., Kadish D., and Iluz D., 2008.- The oasis effect in an extremely hot and arid climate: The case of southern Israel. *Journal of Arid Environments*, 72(9): 1721-1733. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.03.004>
- [17].- Kai K., Matsuda M., and Sato R., 1997.- Oasis Effect Observed at Zhangye Oasis in the Hexi Corridor, China. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 75(6): 1171-1178. [https://doi.org/10.2151/jmsj1965.75.6\\_1171](https://doi.org/10.2151/jmsj1965.75.6_1171)
- [18].- Taha H., Akbari H., and Rosenfeld A., 1991.- Heat island and oasis effects of vegetative canopies: Micro-meteorological field-measurements. *Theoretical and Applied Climatology*, 44(2): 123-138. <https://doi.org/10.1007/BF00867999>
- [19].- Fan C., Myint S., Kaplan S., Middel A., Zheng B., Rahman A., ... Blumberg D., 2017.- Understanding the Impact of Urbanization on Surface Urban Heat Islands—A Longitudinal Analysis of the Oasis Effect in Subtropical Desert Cities. *Remote Sensing*, 9(7), Pp 672. <https://doi.org/10.3390/rs9070672>
- [20].- Boudjellal L., 2009.- Rôle de l'oasis dans la création de l'îlot de fraîcheur dans les zones chaudes et arides. Université de Constantine. Consulté à l'adresse <http://archives.umc.edu.dz/bitstream/handle/123456789/12546/BOU6126.pdf?sequence=1>
- [21].- Jonsson P., 2004.- Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(10): 1307-1322. <https://doi.org/10.1002/joc.1064>
- [22].- Oke T. R., 2002.- *Boundary layer climates*. Routledge.
- [23].- Spronken-Smith R. A., Oke T. R., and Lowry W. P., 2000.- *Advection and the surface*

- energy balance across an irrigated urban park. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(9): 1033-1047. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(200007\)20:9%3C1033::AID-JOC508%3E3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/1097-0088(200007)20:9%3C1033::AID-JOC508%3E3.0.CO;2-U)
- [24].- Riou C., 1990.- Bioclimatologie des oasis. Ed. D. V. and T. G., les systèmes agricoles oasiens, Montpellier, CIHEAM, vol. 11: 207-220. Consulté à l'adresse <http://om.ciheam.org/om/pdf/a11/CI901496.pdf>
- [25].- Bencheikh H., and Rchid A., 2012.- The effects of green spaces ( Palme trees ) on the microclimate in arides zones, case study : Ghardaia, Algeria. *Energy Procedia*, 18: 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.013>
- [26].- Ali-Toudert F., Djenane M., Bensale, R., and Mayer H., 2005.- Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. *Climate research*, 28(3): 243-256. <https://doi.org/10.3354/cr028243>
- [27].- Givoni B., 1998.- *Climate considerations in building and urban design*. New York: John Wiley and Sons.
- [28].- Meier I. A., Roaf S. C., Gileard I., Runsheng T., Stavi I., and Mackenzie-Bennett J., 2004.- The vernacular and the Environment towards a comprehensive Research methodology. *Proc. 21<sup>st</sup> Int. Conf. on PLEA*, vol. 2 : 719-724  
[https://www.researchgate.net/profile/Isaac\\_Meir/publication/249660646\\_The\\_Vernacular\\_and\\_the\\_Environment\\_-\\_Towards\\_a\\_Comprehensive\\_Research\\_Methodology/links/00b4953b54958486ae000000/The-Vernacular-and-the-Environment-Towards-a-Comprehensive-Research-Meth](https://www.researchgate.net/profile/Isaac_Meir/publication/249660646_The_Vernacular_and_the_Environment_-_Towards_a_Comprehensive_Research_Methodology/links/00b4953b54958486ae000000/The-Vernacular-and-the-Environment-Towards-a-Comprehensive-Research-Meth)
- [29].- Hamel K., 2005.- la ville compacte: une forme urbaine d'une ville durable en régions arides. Mémoire de Magister, Université de Biskra-Mohamed Khider, pages ???.
- [30].- Djenane M., 1998.- Participation de la forme urbaine au contrôle de l'irradiation solaire. Référence particulière au rôle de la rue dans les régions chaudes et sèches. Mémoire de magister, Centre universitaire Mohamed Khider, Biskra, pages ???.
- [31].- Nouibat B., 1997.- Adaptation d'un COS optimal à l'habitation individuelle en milieux arides et semiarides. Cas de Bou-Saâda. Mémoire de Magister, Institut d'architecture et d'urbanisme, Biskra, pages ???
- [32].- Alkama D., 1995. Analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra. Thèse de magister. Institut d'Architecture, Centre universitaire de Biskra, pages ???.
- [33].- Nguyen V. T., et Baghdad B., 2000.- Changement du climat à Béchar. In *Espace Saharien et Développement Durable* , Biskra, Pp 146-150.
- [34].- CLIMATE-DATA.ORG. (s. d.). Biskra climat (Algérie). Consulté 2 février 2020, à l'adresse <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/biskra/biskra-3691/>

- [35].- Weather Spark. (s. d.). Météo habituelle à Biskra Algérie. Consulté à l'adresse <https://fr.weatherspark.com/y/51506/Météo-habituelle-à-Biskra-Algérie>
- [36].- Sriti L., Belakehal A., Boussora K., et Saouli A. Z., 2002.- Le damier colonial de Biskra ou l'histoire de la marginalisation d'un centre ville. Le courrier du savoir scientifique et technique, 2: 53-60, <http://revues.univ-biskra.dz/index.php/cds/article/view/207>
- [37].- Bruse M., 2019.- ENVI-met Model. <http://www.envi-met.com>
- [38].- Taleghani M., Kleerekoper L., Tenpierik M., and Dobbelsteen A. Van Den., 2014.- Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. Building and Environment. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>
- [39].- Bruse M., and Fler H., 1998.- Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. Environmental Modelling and Software, 13(3-4): 373-384. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5)
- [40].- Yang X., Zhao L., Bruse M., and Meng Q., 2013.- Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. Building and Environment, 60: 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.008>
- [41].- 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. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.022>
- [42].- Bourbia F., and Boucheriba F., 2010.- Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). Renewable Energy, 35(2): 343-347. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.017>
- [43].- Hedquist B. C., and Brazel A. J., 2014.- Seasonal variability of temperatures and outdoor human comfort in Phoenix, Arizona, U.S.A. Building and Environment, 72: 377-388. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.018>
- [44].- Taleb D., and Abu-Hijleh B., 2013.- Urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE. Renewable Energy, 50: 747-762. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.030>
- [45].- Wong N. H., Kardinal Jusuf S., Aung La Win A., Kyaw Thu H., Syatia Negara T., and Xuchao W., 2007.- Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics. Building and Environment, 42(8): 2949-2970. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.004>
- [46].- Srivanit M., and Hokao K., 2013.- Evaluating the cooling effects of greening for improving the outdoor thermal environment at an institutional campus in the summer. Building and Environment, 66: 158-172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.012>

- [47].- Lahme E., and Bruse M., 2003.- Microclimatic effects of a small urban park in densely built-up areas: measurements and model simulations. ICUC5, Lodz, 5(1), <http://www.envi-met.net/documents/papers/park2003.pdf>
- [48].- Emmanuel R., and Fernando H., 2007.- Urban heat islands in humid and arid climates: role of urban form and thermal properties in Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA. *Climate Research*, 34(3): 241-251, <https://doi.org/10.3354/cr00694>
- [49].- Rosheidat A., and Bryan H., 2010.- Optimizing the effect of vegetation for pedestrian thermal comfort and urban heat island mitigation in a hot arid urban environment. In *Simbuild (Fourth National Conference of IBPSA-USA, vol. 4: 230-237*, <https://ibpsa-usa.org/index.php/ibpusa/article/download/293/282>
- [50].- Louafi-Bellara S., and Abdou S., 2016.- Vegetation effects on urban street microclimate and thermal comfort during overheated period under hot and dry climatic conditions. *Journal of New Technology and Materials*, 6(2): 87-94. Consulté à l'adresse <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/2507>
- [51].- Athamena K., 2012.- Modélisation et simulation des microclimats urbains: Etude de l'impact de la morphologie urbaine sur le confort dans les espaces extérieurs. Cas des éco-quartiers. Ecole Centrale de Nantes (ECN). Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00811583>
- [52].- Yahia M. W., Johansson E., Thorsson S., Lindberg F., and Rasmussen M. I., 2018.- Effect of urban design on microclimate and thermal comfort outdoors in warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. *International Journal of Biometeorology*, 62(3): 373-385. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1380-7>
- [53].- Mills G., 1997.- An urban canopy-layer climate model. *Theoretical and Applied Climatology*, 57(3-4): 229-244. <https://doi.org/10.1007/BF00863615>
- [54].- Ratti C., Raydan D., and Steemers K., 2003.- Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings*, 35(1): 49-59. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00079-8)