

# Étude sur les principes ancestraux d'intégration et recommandations pour une architecture bioclimatique adaptée au sud de l'Algérie

Djamel MESTOUL<sup>#</sup>

<sup>#</sup> *Laboratoire Architecture Et Environnement (LAE), Ecole Polytechnique d'Architecture Et d'Urbanisme, EPAU*

*Adresse: Route de Beaulieu, El-Harrach BPN° 177, 16200 Alger-Algérie.*

*E-mail: d.mestoul@epau-alger.edu.dz*

**Résumé**— Notre présente recherche vise à identifier les principes d'intégration climatique dans l'architecture des villes traditionnelles du sud algérien. Elle retient pour cas d'étude la ville de Timimoun, située dans le Sahara algérien entre le Grand Erg Occidental, au Nord, et le plateau du Tademaït, au Sud. Elle met en œuvre une série de campagnes de mesures in situ des principaux paramètres climatiques, avec différentes résolutions spatiales et temporelles pour le confort d'été.

À l'échelle microclimatique, certains aspects de la morphologie urbaine tel que le prospect (H/W), ont montré des effets limités sur la réduction des températures de l'air contrairement à d'autres (passage couvert, orientation des rues...etc.) qui semblent être plus pertinents et constituent de ce fait des moyens efficaces pour le contrôle climatique. Ainsi cette étude nous a permis de corriger certaines idées reçues quant à la circulation d'air au sein du ksar. En effet, la morphologie des ksour à tissu compact génère des conditions de vent particulièrement importantes, et ce, en dépit des prospects de rues étroites. En terme d'implications urbanistiques, la conception urbaine devrait porter une attention particulière sur les conditions d'implantation des sites, des moyens de protection contre le vent et des attributs positifs de la végétation et de la ventilation naturelle.

**Keywords**— ksar, architecture traditionnelle, prospect, canyon, climat urbain, confort aérothermique

## I. INTRODUCTION

La prise en charge des considérations climatiques dans les processus de conception urbaine peut constituer en effet un outil incontournable dans l'amélioration de la qualité environnementale en milieu urbain. Un urbanisme approprié doit procurer en effet des mesures de réduction de stress thermique pour les usagers de l'espace urbain. Ce dernier lorsqu'il est attrayant influence de manière significative la vie sociale et peut influencer indirectement l'économie locale. De ce point de vue, nous sommes conscients qu'un urbanisme climatique peut influencer toutes les dimensions de durabilité, à savoir, économique, sociales et environnementale, d'où la nécessité de se pencher sur cette question très peu investiguée dans notre contexte algérien.

Dans la zone septentrionale du sud algérien le forçage solaire peut être excessif, le piégeage de la chaleur et la modification du bilan énergétique de surface peuvent avoir par conséquent un effet extrême. Ces effets peuvent altérer le cadre de la vie en influant sur le confort des usagers par des perturbations au niveau du confort en espace extérieur et à l'intérieur des habitations, une hausse consommation énergétique des bâtiments et des problèmes de santé liés aux vagues de chaleur.

## II. CAS D'ÉTUDE

Dans le triangle formé par la frange méridionale de l'Erg occidental, la bordure nord-occidentale du Plateau du Tademaït et l'Oued Saoura à l'Ouest, s'étend le Gourara. Son chef-lieu, Timimoun, se situe approximativement au centre de ce triangle, par 29°15 de latitude N et 0°14 de longitude E (Greenwich), c'est-à-dire à la latitude de la ville marocaine de Sidi Ifni sur le littoral atlantique et la longitude de Mostaganem sur sa côte méditerranéenne [1]. Fig.1



Figure 1: Position de Timimoun en Algérie.

Le ksar<sup>1</sup> de Timimoun, objet de notre présente étude se caractérise par un tissu urbain très compact, dense et serré. Les ruelles sont imbriquées avec des orientations différentes, dont,

<sup>1</sup> Ksar (pl. Ksour) : village traditionnel (Agham en berbère)

des orientations principales semblent prévaloir l'axe nord-est Sud-ouest, et ce, pour la majorité des rues, tandis que, l'axe nord-ouest sud-est pour les ruelles et les impasses. Ainsi une hiérarchie spatiale peut être distinguée en allant de l'espace public à l'espace privé.

### III. MÉTHODOLOGIE

#### A. PROTOCOLE DE MESURE

La campagne de mesure est basée sur la collecte de données climatiques sur terrain en période d'été (Juillet 2010). Une station HOBO dite de « référence » a été placée à 10 mètres du sol sur une terrasse de l'hôtel sable d'or à l'écart du centre urbain afin d'éviter les zones de sillages engendrées généralement par les obstacles voisinant (Fig.2). Elle enregistre en continu la température de l'air (°C), l'humidité relative (HR) en % ainsi que la direction et vitesse de l'air.



Figure 2: Station de référence placée sur la terrasse de l'hôtel sable d'or à plus de 10 m du sol.

Des mesures instantanées dites « ponctuelles » et en continu ont été effectuées dans différentes configurations urbaines à travers un parcours urbains couvrant des typologies représentatives variées et exhaustives, à l'aide des instruments portables de type TESTO et HOBO (Fig.3). L'objectif étant d'évaluer les variations microclimatiques journalière dues à certains paramètres d'ordre architectural (prosect H/W, forme, gabarit, matériaux....etc.) et d'autres d'ordre urbain (orientation, morphologie, végétation ... etc.).



Figure 3: Instruments de mesures ponctuelles ayant servi pour les campagnes de mesures sur le site d'étude

A ces mesures ponctuelles et continues s'ajoute une série de prises de photos thermographiques à l'aide d'une caméra thermique de type FLIR. Les photos récupérées peuvent montrer sur une échelle graduée la température radiante suivant un degré d'émissivité propre à chaque corps et à chaque matériau (parois en ciment, en terre, espace végétal....etc.)

#### B. CHOIX DU PARCOURS

Au sein de l'ancien ksar de Timimoun et en fonction des critères de l'orientation des rues, du rapport <sup>2</sup> (H/W) et le type de couverture au sol (végétal ou minéral) des points de mesures ont été choisis (Fig.4 et Table 1). Le parcours choisi comporte des espaces essentiellement piétons ; à orientations différentes, à profils étroits et larges, exposés et non à l'ombre (passages couverts) et des espaces végétaux (oasis) et minéraux. Ce choix est justifié par la volonté d'accéder à un maximum de caractéristiques morphologiques qui permettraient de retenir les aspects les plus pertinents dans le confort d'été.

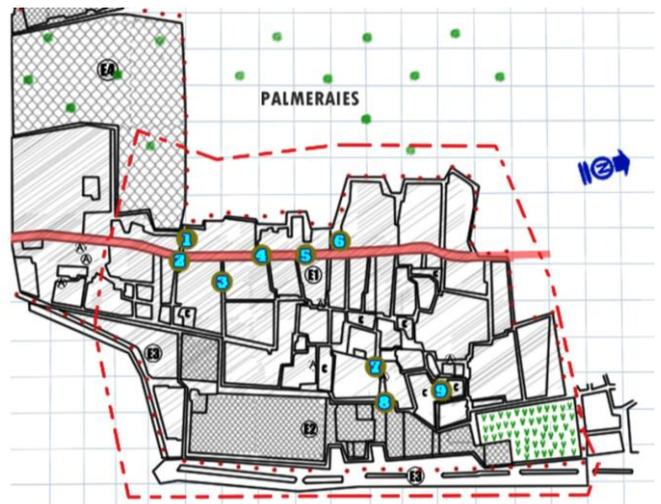
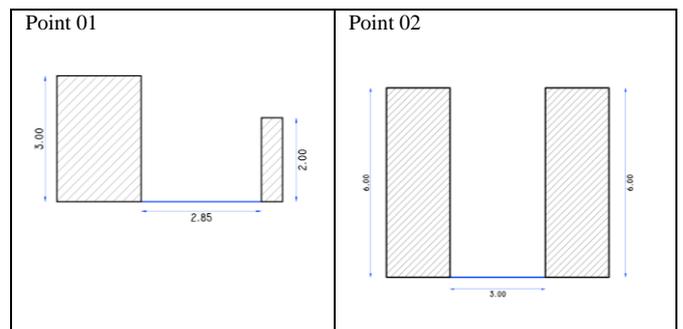


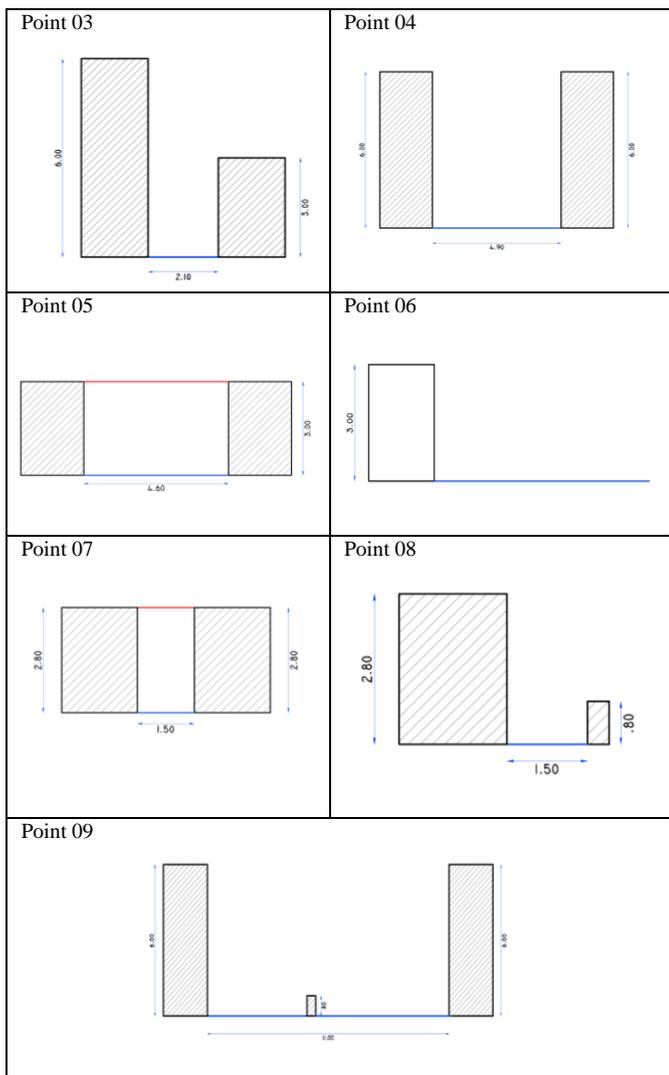
Figure 4: Parcours urbain retraçant les mesures ponctuelles réalisées au sein du ksar de Timimoun.

TABLE 1

Caractéristique morphologiques des 09 points de mesures ponctuelles.



<sup>2</sup> Avec, H : hauteur du bâtiment. W : largeur de la rue.



**C. PROCÉDURE DE MESURES**

Les campagnes de mesures s'établissent sur une période de l'année représentative des conditions extrêmes (période chaude) du confort d'été soit mi-juillet. Les mesures sont prises simultanément pendant 5 jours de 9h00 à 21h00 (présence du soleil) à travers les différents parcours et selon un intervalle de temps régulier de trois heures. La durée moyenne du parcours est de 90 minutes. La durée moyenne d'acquisition climatique pour chaque point urbain requiert 5 à 10 minutes pour la stabilisation des données. Les campagnes de mesures, s'étalent sur une période de cinq jours et coïncident avec des périodes anticycloniques, sous des conditions de ciel clair dans la plupart du temps.

Les paramètres climatiques mesurés sont la vitesse moyenne et la direction du vent, l'humidité relative, la température de l'air et radiante. La vitesse d'air moyenne est calculée sur un intervalle de temps de 60 secondes tandis que les températures radiantes sont prises directement à distance par infrarouge grâce à la caméra thermique. Les instruments de mesures HOBO sont protégés contre les rayonnements solaires

directs grâce à un système de protection sous forme de brises soleil qui entourent les sondes.

**IV. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION**

**A. LES VENTS**

« Les vents sont les véhicules du climat.....Ce sont eux, ou du moins leurs courants inférieurs, qui répartissent la température et les pluies sur le globe. A ce titre ils sont aussi les véritables auteurs du désert. » [2]

L'étude du comportement du vent (vitesse, direction) a été effectuée à partir des moyennes mensuelles récupérées auprès de l'ONM<sup>3</sup> pour la période 1991-2010 pour la station de Timimoun (Fig.5). Cette figure montre que le site présente un maximum de vitesse moyenne pendant la période juillet-septembre et le mois de mars. Quant au minimum, il se produit durant la période hivernale. Ainsi, les données montrent que le site de Timimoun est un site venté durant toute l'année, avec une vitesse moyenne annuelle de 6 m/s à 10 m du sol.

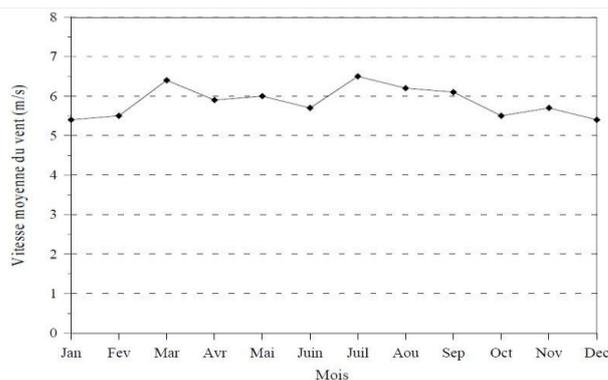


Figure 5 : Moyennes mensuelles des vitesses du vent. ONM (1991-2010)

1) **RÉGIME DES VENTS:** La région de Timimoun est exposée à des vents variant de 4 à 6 m/s. D'après la rose des vents les vents est-nord-est et nord-est sont visiblement les vents dominants de la région avec une vitesse moyenne pouvant atteindre 6 à 8 m/s (Fig.6).

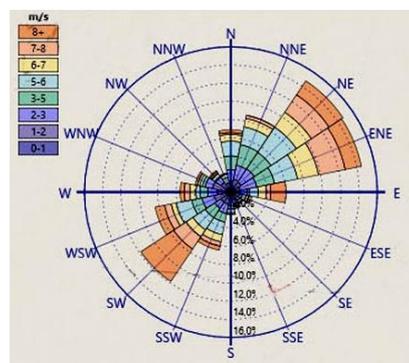


Figure 6: Rose des vents - ville de Timimoune. Données (1995-2010) ONM.

<sup>3</sup> Office National de la Météorologie (ONM)-Alger. Site web : [www.meteo.dz](http://www.meteo.dz)

2) **VARIATION JOURNALIÈRE:** Les données recueillies au niveau de notre station de référence concordent avec celles récupérées de l'ONM. Le vent dominant intercepté est d'une double direction, soit le Nord-est et l'Est-nord-est avec une vitesse moyenne de 5 à 7 m/s (Fig.8). Autre caractéristique de cette activité éolienne est qu'elle est diurne. La nuit, ce sont les vents calmes qui dominent (vitesse <6m/s). L'évolution des moyennes tri-horaires de la vitesse du vent dans le site d'étude est représentée en Fig.7 pour différents points de mesures les plus représentatives.

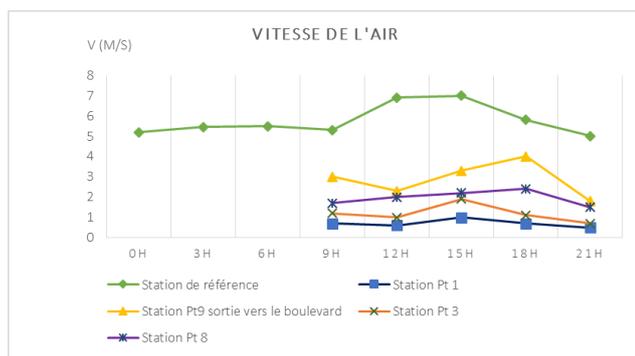


Figure 7: Evolution de la vitesse moyenne tri-horaire du vent dans différents points de mesures.

Cette évolution de la vitesse au niveau de la station de référence montre, d'une part, une diminution de la vitesse moyenne durant la nuit et une augmentation durant la journée, et d'autre part que le site de Timimoun est plus venté l'après-midi que la matinée. Ainsi, les données donnent une idée sur l'important potentiel éolien du fait que le vent souffle à une vitesse relativement élevée pendant une longue période de la journée. En effet, le vent souffle à une vitesse supérieure à 5 m/s durant les 24h et supérieure à 6 m/s pendant presque 10 heures (plus de 40% du temps).

3) **EFFET DE LA MORPHOLOGIE:** Les mesures in-situ diurnes relèvent une nature complexe des écoulements d'air dans les différentes rues du ksar. Selon Kitous la structure du ksar influe fortement sur le comportement du flux d'air incident, et de ce fait, sur la ventilation intérieure des rue [3]. Les éléments morphologiques les plus influents sont la géométrie et l'orientation des rues ainsi que la présence ou non de percées au niveau du périmètre du ksar. En effet, ces percées sont considérées comme vecteurs du flux d'air incident. Leur direction, largeur et profondeur sont déterminants dans le processus de ventilation intérieure du ksar.

4) **EFFET DE L'ORIENTATION DES VOIES:** En effet, l'orientation des voies et des artères principales d'une ville rapport aux vents dominants influencent d'une manière significative la vitesse et la turbulence du vent [4]. Nakamura et Oke ont également montré qu'il existe un lien entre la vitesse du vent à l'intérieur et au-dessus d'une rue canyon : le vent à l'intérieur de la rue est ralenti, sa direction est modifiée

et des flux turbulents sont générés [5]. Cette relation est largement influencée par l'orientation de la rue par rapport au vent et par le prospect de la rue. Dans le cas d'un tissu traditionnel dense aux rues sinueuses comme c'est le cas du ksar de Timimoun, les vents seront vite ralentis et la chaleur du ksar ne sera pas aisément dispersée.

Par ailleurs, les faibles pourcentages de réduction obtenus pour la vitesse de l'air à l'intérieur de certains endroits du ksar indiquent la forte pénétration du vent dans les rues canyons en dépit de leur configuration urbaine compacte. En effet, les valeurs de fortes vitesses d'air ont été relevées dans les rues intérieures qui débouchent généralement sur des places publiques ouvertes dites rahba<sup>4</sup>. Selon Mestoul les profils étroits de ces rues jouent le rôle de canalisateur de flux d'air à partir des places qui interceptent le vent incident et le propulsent tout au long des artères du ksar [6].

Ainsi, l'angle d'incidence parallèle à la direction du vent permet de produire un effet de canalisation et de survitesse dans des rues canyons compactes et longues. Tandis que dans les rues courtes et larges ces effets sont moindres ou inexistant. En effet, ces résultats mettent en valeur l'impact de la longueur (L) de la rue canyon dans les mécanismes de ventilation à l'intérieur du ksar. Ceci dit que le rapport H/W seul s'avère insuffisant pour déterminer le potentiel de ventilation intérieure, il faudrait alors le combiner avec le rapport L/W.

### B. LA TEMPÉRATURE

Le climat chaud et sec qui caractérise le site d'étude se traduit par des amplitudes de température journalière importantes. En été, les températures d'air moyennes mensuelles sont comprises entre 35,7°C et 38°C et des températures moyennes maximales de 43,9°C et 46,9°C. Les températures maximales absolues peuvent atteindre 47°C. Fig.8

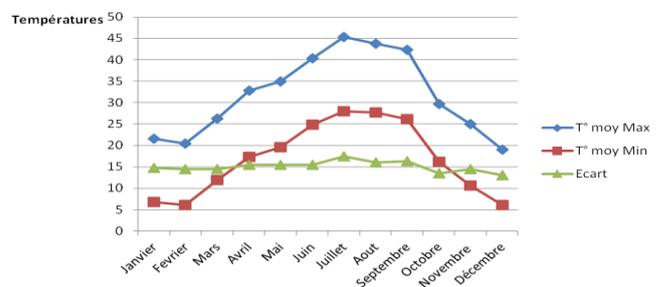


Figure 8: Variation de températures maximales et minimales pour l'année 2010. Station de Timimoun-ONM

<sup>4</sup> Rahba est un espace public ouvert équivalent à une place ou placette dans la ville haussmannienne. « Les places des ksour (rahba) constituent des éléments structurants dans l'espace urbain et servent le plus souvent de lieux de réunions pour des structures sociales traditionnelles » (Mazouz, 2005-a, p.124)

1) **VARIATIONS DES TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES:**

L'analyse des données de la température moyenne annuelle pour la période 1991-2010 montre que l'année la plus chaude est l'année 2010 avec une température moyenne annuelle de 27.37°C et que l'année la plus froide est l'année 1992 avec une température moyenne annuelle de 24.07°C, ainsi, la température moyenne interannuelle est de 25,89°C. Ci-dessous est présentée la répartition des températures, moyenne minimale (T°C min), moyenne annuelle (T°C moy), ainsi que la moyenne maximale (T°C max) pour une série de 20 ans d'observation. Fig.9

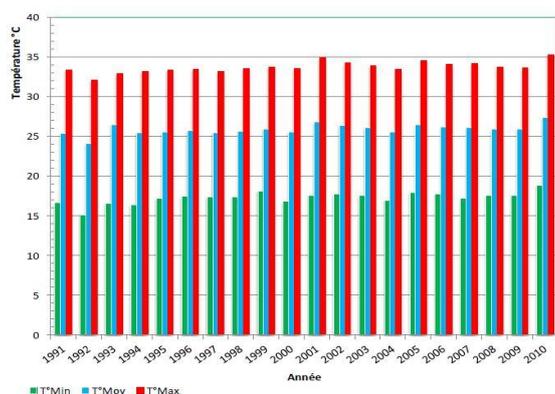


Figure 9: Variations moyennes annuelles des températures. Données ONM - Station de Timimoun (1991-2010).

Mais ces chiffres ne sont guère significatifs quand il s'agit de caractériser la température saharienne ; il faut ici considérer la variation diurne. « Le désert est une contrée à température extrême où, en dépit de la latitude, il fait tour à tour plus froid que sur la Méditerranée et plus chaud que sous l'équateur. En d'autres termes, c'est un pays où la variation diurne et annuelle de la température, est très grande » [2].

2) **VARIATION DIURNE:** Il existe de grands écarts de température entre l'hiver et l'été. L'amplitude des variations thermiques annuelles, qui est l'une des particularités du climat des déserts chauds, peut dépasser 55°C au Sahara. En outre, l'amplitude quotidienne, c'est-à-dire la différence entre le maximum diurne et le minimum nocturne, dépasse souvent 35°C.

En effet, dès que le soleil se lève dans le ciel clair. Ses rayons dans cette sèche atmosphère ressentent déjà brûlants à cette heure matinale de l'été, et sous l'influence du sable et de la pierre, la couche d'air voisine du sol s'échauffe rapidement à son tour. Ici point d'évaporation active qui entre en jeu pour modérer le soleil. Dès 9 heures du matin, la chaleur est forte, elle ne cesse de monter jusqu'à atteindre sa valeur maximale de 42°C à 13h. Une fois arrivée à son maximum vers 13h la chaleur, ne commence à lentement descendre en après-midi que vers 17 heures ; elle se maintient longtemps après le coucher du soleil ; malgré l'activité du rayonnement la terre n'arrive pas à se débarrasser de toute la chaleur reçue et les

nuits sont chaudes (27°C en moyenne pour le mois de juillet 2010).

3) **TEMPÉRATURE DE L'AIR RECUEILLIE SUR LE SITE D'ÉTUDE:** La température de l'air se rapproche de la température de la station météorologique dans certains cas. Cependant elle s'éloigne de celle de la station météo d'autant que la température radiante est grande (points 6, 8, 9). Ce constat laisse supposer qu'il est indispensable de protéger les espaces urbains du rayonnement direct si nous voulons conserver une température moins importante. Il est évident que ce sont les espaces couverts qui bénéficient de cet avantage (effet d'ombre) en premier lieu (points 5 et 7). Fig.10

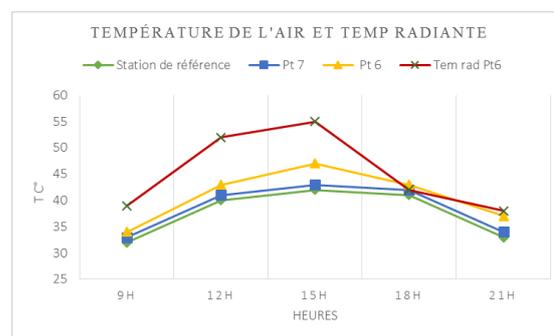


Figure 10: Évolution journalière de la température de l'air et la température radiante à différents points de mesure.

4) **TEMPÉRATURE RADIANTE:** En été, la température radiante enregistre des différences remarquables comparées aux maxima de l'air (en moyenne, elle oscille entre 38°C et 55°C). En effet, en raison de la haute altitude du soleil, le principal gain de chaleur de ces surfaces était principalement de la radiation diffuse et réfléchi. Dans ces conditions, le sol constitue la surface la plus exposée, et de ce fait, enregistre la température la plus élevée (62°C) à 15h dont la différence est d'environ 7°C par rapport aux surfaces verticales (55°C). Fig.11

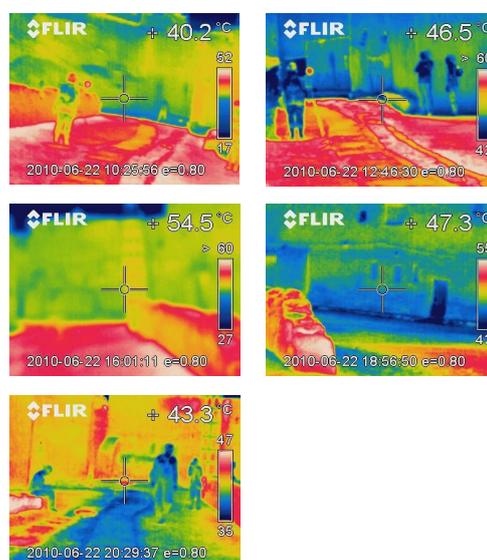


Figure 11: évolution de la température radiante en point 6 à des différentes heures de la journée.

Les températures de surface de façades et de sol, à l'abri de l'irradiation solaire directe, sont respectivement de 14°C à 20°C plus basses que celles des rues découvertes.

En effet, la forte inertie thermique due à la compacité du tissu traditionnel (ksar) et de sa structure justifie le faible taux de refroidissement radiatif (dû à l'angle réduit de vue du ciel des rues) qui provoque à son tour ce décalage thermique entre température de l'air et de surface. Les rues et les surfaces verticales forment ce que l'on appelle les canyons urbains [7] et constituent de véritables pièges radiatifs.

5) *EFFET DE LA PALMERAIE DIT « EFFET OASIS »*: L'effet oasis constitue un phénomène caractéristique qui résulte du contraste existant entre une zone humide ou irriguée et la zone sèche qui l'entoure [7]. Cet effet est souvent recherché dans les zones désertiques car il permet de réduire d'une manière significative le stress thermique en été [7,8]. L'effet oasis tire naissance de l'évapotranspiration du couvert végétal qui consomme une importante quantité d'énergie et refroidit l'air [8,9].

Les points de mesure situés à la périphérie notamment près de la palmeraie montrent qu'un refroidissement nocturne se produit au coucher de soleil d'une manière plus importante par rapport aux points situés au centre du ksar. La différence entre les deux endroits est significative, elle est de l'ordre de 1,5 °C à 21h pour notre cas. Bien que ces résultats doivent être approfondis, ils soulignent dans une partie le fait que palmeraie peut jouer un rôle important dans le refroidissement nocturne urbain. Les espaces végétalisés gardent une température moins élevée bien que la température de rayonnement y soit élevée, cela s'explique par l'influence de l'humidité qui y est logiquement plus importante que dans les autres espaces [10, 11, 12].

6) *EFFETS DE LA GÉOMÉTRIE DES RUES*: L'un des paramètres les plus influant sur le bilan radiatif d'une zone urbaine concerne les ombres que font les bâtiments sur les espaces extérieurs et qui limitent la montée en température des matériaux. Ces ombres seront d'autant plus importantes que le prospect du tissu urbain est élevé [3, 13, 14].

Les rues et passages couverts ont enregistré une température de l'air la plus basse pendant les heures les plus chaudes de la journée ; soit 2 à 4 °C de moins ont été observés en comparaison avec les rues découvertes selon différents prospects de rues. Par ailleurs, les températures de surfaces à l'ombre horizontales et verticales étaient pratiquement les mêmes et varient entre 40 °C et 43°C.

Un large échantillon de profils de rues (prospect H/W) a été contrôlé dans notre présente étude. La variation de la température de l'air s'est avérée faible durant toute la période de mesures. En effet, avec des rues situées dans le même ksar,

la différence enregistrée dans la température de l'air était au maximum de 0,5 °C pour des profils variant entre 1.42 et 3,2. Bien que des différences de températures de surface ont été relevées (les valeurs les plus basses dans le plus profond canyon) l'inertie thermique des parois agit d'une manière légère sur l'augmentation et la diminution de la température de l'air au cours d'un cycle journalier [15].

Par ailleurs, les places urbaines avec un rapport H/W = 0.54 se sont comportées comme de plus grands sites exposés. La température de l'air oscillait entre 34°C et 46°C (point 6 entre 9h et 15h), qui étaient comparées aux valeurs de l'aéroport (32°C à 42°C). L'amplitude moyenne diurne était respectivement d'environ 12°C et 10 °C.

7) *EFFETS DE L'ORIENTATION DES RUES SUR LA TEMPÉRATURE DE L'AIR*: En été, l'orientation des rues semble avoir un effet négligeable sur la température de l'air en été, en raison de l'altitude élevée du soleil sous cette latitude (29°15 N) qui atteint toutes les surfaces de toutes les rues quelles qu'elle soit leur orientation. En effet, la température enregistrée pour les rues orientées N-S, E-O ou intermédiaires étaient presque la même, à condition que les rues aient plus ou moins le même profil H/W et sous condition de vents faibles. L'orientation n'induit guère plus de 0.5 à 1°C d'écart entre les rues d'orientation Est-ouest et Nord-sud. Selon Kitous les rues sont ainsi réchauffées au cours des heures de la journée indépendamment de leur orientation en raison de la hauteur du soleil et de l'effet de piégeage radiatif induit par la forte compacité des rues canyons [3].

## V. CONCLUSION : QUELQUES CONSIDÉRATIONS BIOCLIMATIQUES

Le constat que l'on peut faire globalement sur l'architecture traditionnelle des ksour anciens est qu'elle est durable... sinon, il ne nous serait pas parvenu. Elle est donc à la fois durable au sens de la longévité, mais également au sens de la soutenabilité car elle est fondée sur une économie de moyens compatible avec un développement local équilibré. Ce sont le climat et les ressources locales qui dictent les formes, les techniques et les matériaux : tronc de palmier, branches de palmes, terre ou terre cuite, pierre...etc., le choix s'effectue ou s'impose, en fonction de la nature géologique du lieu et du climat [16].

Dans le sud algérien, l'impact des conditions climatiques sur la composition de l'espace traditionnel (ksar) est régi par une logique de résilience et d'adaptation à travers laquelle chaque élément de la composition urbaine et architecturale joue un rôle dans l'amélioration du microclimat.

En effet, les matériaux de construction assurent un très grand rôle dans le confort thermique. Ceci grâce d'une part à l'épaisseur des murs (40 à 60cm) et d'autre part à leur grande

**inertie thermique** grâce au matériau terre (toub)<sup>5</sup> qui jouent un rôle important dans le **déphasage thermique** journalier, qui atteint les 12h.

La présence de **l'eau** et **la végétation** crée un milieu **bioclimatique** par l'effet d'évapotranspiration, en créant des brises d'air qui rendent les espaces urbains, et les habitations clémentes durant les périodes de grande chaleur. De ce fait, la palmeraie représente un élément de confort climatique. En plus, **la forme urbaine compacte** de ses groupements, ses rues, ruelles et impasses étroites et sinueuses (zkak) créent de l'ombre et minimisent les surfaces extérieures exposées au rayonnement solaire et aux vents indésirables. **L'introversion** de l'espace habité à son tour rend l'habitation protégée de toute insolation ou effet de nuisance sonore et climatique. La somme de ces facteurs procurent au ksar une parfaite intégration et accommodation dans un milieu aride tant sur le plan climatique qu'environnemental.

Dans les ksour traditionnels, le régime de distribution des températures de surface est **hétérogène** et montre l'influence de **l'orientation des rues**, particulièrement sur les températures de surfaces horizontales : ces dernières sont soumises à une importante surchauffe du sol lorsqu'elles sont orientées dans la direction Est-ouest.

De même, l'écoulement de l'air va se modifier d'une rue à l'une, en fonction de son **orientation** par rapport aux vents dominants. Les réductions de vitesses de vent les plus importantes sont obtenues pour des directions de vents obliques par rapport à l'axe des rues canalisatrices tandis que pour une direction de vent parallèle, la vitesse du vent est moins réduite et peut être même plus élevée dans une rue profonde que dans une rue plus large (**effet canalisation**).

L'effet du **prospect** sur les températures d'air et de surface semble être limité. Dans ces conditions, seules les protections solaires horizontales permettent une réduction du stress thermique dans les espaces extérieurs. Le passage couvert, dispositif urbain local, constitue une de ces protections efficaces.

Les mesures effectuées ont mis l'accent sur l'effet de **compacité** : plus l'espace est dégagé, plus l'impact de la température de l'air est fort, la palmeraie et les **passages couverts** réalisent les températures les plus basses, les places et les passages découverts les températures les plus élevées. Par contre, ces **espaces dégagés** favorisent le soir la dissipation rapide de chaleur emmagasinée dans la journée, alors que dans le tissu urbain compact, l'évacuation de cette

chaleur emmagasinée prend du temps et risque de s'étaler jusqu'à matin

#### REMERCIEMENT

Merci au Directeur de l'EPAU et au responsable du laboratoire LAE pour avoir mis les moyens financiers et logistiques nécessaires à l'aboutissement de cette recherche. Merci également au responsable de l'Office National de Météorologie (ONM) de Dar El Beida d'Alger pour m'avoir fourni les données climatiques (1991-2010) de la ville de Timimoun. Enfin aux membres du projet CMEP 09MDU788 ayant participé aux campagnes de mesures.

#### RÉFÉRENCE

- [1] Bisson, J. 1957 Le Gourara. Étude de géographie humaine. Alger.
- [2] Schirmer, 1893, Le Sahara. (Hachette, Éd.) Paris. P.21. Consulté sur <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k166057n/f6.item>
- [3] Kitous S, Bensalem R, Adolphe L. Airflow patterns within a complex urban topography under hot and dry climate in the Algerian Sahara. Building and Environment. Volume 56, October 2012, Pages 162-175
- [4] Sacré, C. (1983). Le confort dans les espaces extérieurs: analyse microclimatique (Comfort in outdoor spaces: microclimatic analysis). CSTB de Nantes.
- [5] Nakamura, Y., & Oke, T. R. (1988). Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. Atmospheric Environment (1967), 22(12), 2691–2700.
- [6] Mestoul D., Bensalem R., Adolphe L. (2017) Modeling of urban form against sand accumulation in the city of Gourara in southern Algeria. Energy Procedia 122, 913-918. <http://www.bu.edu/wara/files/2012/05/Programme-Carrefours-Sahariens-15.05.2014.pdf>
- [7] Oke T.R. Boundary layer climates. London and New-York: Methuen, second edition, 1987 (first edition 1978), 435p.
- [8] Guyot G. – Climatologie de l'environnement. De la plante aux écosystèmes. Edit. Masson, Paris, 1997, 505p.
- [9] Escourrou G. - Le climat et l'environnement. Les facteurs locaux du climat. Edit Masson, Paris, 1983.
- [10] Saito I., Ishihara O., Katayama T. 1990: Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area. Energy and Buildings 15/16: 443-446.
- [11] Avissar R. 1996: Potential effects of vegetation on urban thermal environment. Atm. Envir. 30: 437-448.
- [12] Givoni B. Climate considerations in building and urban design. (1998). New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.
- [13] Adolphe, L., Châtelet, A., Bousoulim, Aït-Ameur, Barlet, Casal, Deboulbé, E. (2002). SAGACités Vers un Système d'Aide à la Gestion des Ambiances urbaines - RAPPORT FINAL (MENRT- Direction de la Technologie.).
- [14] Ali-Toudert F., Mayer H. 2006. Numerical study on the effects of aspect ratio and solar orientation on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. Building and Environment, vol. 41: 94-108.
- [15] Ali-Toudert F., Djenane M., Bensalem R., Mayer H. 2005. Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. Climate Research Vol. 28: pp 243-256,
- [16] Mazouz, S. (2005). L'adaptation bioclimatique dans le Bas-Sahara. Dans M. COTE, & IREMAM (Éd.), La ville et le désert : le Bas-Sahara algérien (pp. 187-199). Paris: Karthala.

<sup>5</sup> Pour réaliser leurs constructions, les anciens habitants du ksar utilisaient la terre disponible sur place qu'ils façonnent eux-mêmes en terre crue après mélange avec l'eau des seguias et malaxage avec leurs pieds. Ils font sécher le produit à l'air libre pour obtenir des pièces de brique de terre, qui serviront à la construction des murs avec des épaisseurs de 40 à 60cm. Ces derniers sont couverts à leur tour par une couche de terre servant d'enduit.