
Soumis le : 07/09/2015

Forme révisée acceptée le : 26/06/2016

Auteur correspondant : archibioclim@yahoo.com

Nature & Technology

Caractérisation du confort thermique dans les espaces extérieurs : Cas de la ville d'Annaba

Habiba TEBBANI, Yasmina BOUCHAHM

Laboratoire ABE (Architecture Bioclimatique et Environnement), Université Constantine 3, Constantine, Algérie.

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. Dans l'objectif d'appréhender les éléments de la morphologie urbaine qui interviennent dans la régulation du microclimat, une étude a été menée à travers six espaces publics dans la ville d'Annaba. Ces espaces peuvent être identifiés comme : Cours, square, place et jardins publics. Etant donné que le confort décrit l'état du corps et l'état d'esprit de l'individu, l'évaluation des conditions thermiques était faite selon deux indices : statistique, par l'évaluation de la sensation thermique effective STE, et mathématique, par l'évaluation de la sensation thermique prévue selon un modèle mathématique du système de thermorégulation, initialement développé par Brown et Gillespie « COMFA ». La méthode adoptée pour cette étude est expérimentale inductive basée sur des campagnes de mesures sur site pendant juin 2013 et juin 2014 et des interviews adressés aux usagers, et déductive en utilisant le modèle de simulation COMFA. Les résultats obtenus ont démontré que la nouvelle version du modèle COMFA, adaptée au contexte d'étude, peut être utilisée pour prédire l'impact de la morphologie urbaine sur les conditions du confort thermique à Annaba.

Mots clefs: Morphologie urbaine; Indicateur morpho-climatique ; confort thermique extérieur ; espace public ; COMFA ; STE.

Abstract:

Outdoor spaces promote urban life quality in cities. The physical environment has an important effect on the effective practice of outdoors. In order to apprehend the most important urban morphological components that can contribute to the improvement of outdoor thermal comfort, a field study was conducted through six public spaces in the city of Annaba. These spaces can be identified as: Courtyard, square, plaza and public garden. As the comfort describes the user's state of body and mind, the thermal conditions were assessed using two indexes: statistical index to assess the actual thermal sensation STE and mathematical index to predict the thermal sensation using modified version of a mathematical model of the human thermoregulatory system, initially developed by Brown and Gillespie "COMFA." The method adopted is experimental inductive based on field measurements and interviews, and deductive based on simulation using COMFA. Results showed that the proposed model can be used to predict the impact of urban morphology on outdoor thermal comfort at Annaba.

Keywords: Urban morphology; morphoclimate index; outdoor thermal comfort; public space; COMFA; STE.

1. Introduction

Les observations portées sur le microclimat urbain ont révélé une augmentation dans les températures enregistrées pendant ces dernières années, corrélées avec l'intensification de l'urbanisation. Cette modification spectaculaire du climat est accompagnée par l'apparition des températures plus élevées dans les centres des agglomérations formant un îlot de chaleur décroissant du centre vers la périphérie fig.1. [1]

Ce phénomène peut être expliqué à travers le bilan d'énergie d'une surface [2].

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \quad (1)$$

Q^* : Le flux du rayonnement net = $k_{\downarrow} - k_{\uparrow} + L_{\downarrow} - L_{\uparrow}$
 $K_{\downarrow} - k_{\uparrow}$: flux solaire incident et réfléchi
 $L_{\downarrow} - L_{\uparrow}$: flux solaire émis par l'atmosphère et réémis par la surface

Q_F : La chaleur anthropique.

Q_H : Le flux de chaleur sensible.

Q_E : Le flux de chaleur latent.

ΔQ_S : La chaleur emmagasinée puis restituée.
 ΔQ_A : L'advection moyenne de la chaleur.

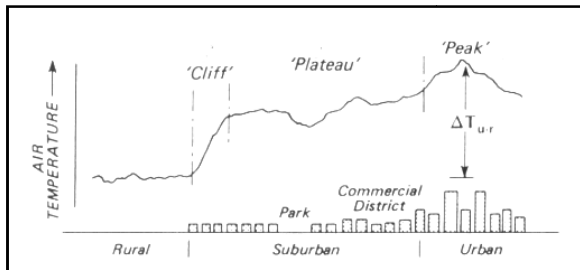


Fig.1. Coupe d'un îlot de chaleur urbain (d'après Oke)

Les zones urbanisées altèrent profondément les échanges de masse et d'énergie entre la surface et l'atmosphère et contribuent ainsi à la création d'une nouvelle couche limite, plus compliquée que celle qui caractérise les zones naturelles à cause de la modification dans les caractéristiques physiques de la surface (albédo, rugosité, imperméabilité...), [3]

La géométrie urbaine favorise le piégeage du rayonnement solaire par réflexion multiple et constitue une grande surface d'échange, les propriétés thermiques des matériaux urbains favorisent l'accumulation de la chaleur et la réduction de l'évaporation.

En se rapprochant du sol, l'énergie cinétique diminue à cause des forces de frottement qui dépendent de la rugosité, ainsi l'écoulement de l'air est modifié constamment en fonction de la forme des constructions (hauteur, disposition...etc.).

En effet les configurations spatiales (type de construction, leurs modes de regroupement ainsi que la disposition des espaces publics) varient d'un site à un autre, générant ainsi des microclimats contrastés à cause de la différence dans la température de l'air, l'humidité, les températures de surfaces, rayonnement, etc.

Ainsi, a émergé l'utilité de la prise en compte de l'impact de la morphologie urbaine sur les différents paramètres du climat afin d'assurer le confort des espaces extérieurs et de réduire la consommation d'énergie des bâtiments.

L'analyse morphologique urbaine peut effectivement contribuer à l'évaluation des altérations micro-climatiques dues à l'urbanisation à l'aide des indicateurs morpho-climatiques. Ces derniers se présentent sous forme de grandeurs numériques et permettent la caractérisation climatique des espaces urbains en croisant les données morphologiques avec les données climatiques.

Plusieurs chercheurs ont contribué au développement de ces indicateurs. Au départ, la plupart des

recherches traitaient l'impact de la géométrie des canyons urbains, qui représentent l'unité principale de la structure urbaine, sur le microclimat et le confort extérieur [4], à travers l'indicateur du rapport entre hauteur et largeur (H/W) [5-7], et le facteur de vue de ciel [8-11].

L'impact des matériaux a été évalué selon leurs réflectivités et leurs propriétés thermiques à savoir : la capacité thermique, la diffusivité thermique et l'inertie [12].

D'autres recherches ont développé des indicateurs pour l'évaluation de l'ensoleillement, [13, 14], la caractérisation des formes urbaines, à travers des techniques de traitement d'images DEM (Digital Elevation Model), [15]. La conception des programmes, tel que « morphologic » sur une plateforme de SIG pour évaluer des indicateurs morpho-climatiques: rugosité, porosité, et sinuosité etc. ... [16].

Ainsi que l'extraction des indicateurs morpho-climatiques à partir des indicateurs morphologiques afin de substituer des propriétés morphologiques par des variables quantifiables, [17-18].

Dans cette optique, cet article mettra en évidence l'impact de la morphologie urbaine sur les échanges radiatifs et le confort extérieur.

L'objectif est de définir un outil qui permettra aux concepteurs de prédire l'impact des formes projetées sur le microclimat et le confort extérieur.

Sur la base des recherches antérieures, des indicateurs morphologiques sont évalués à travers plusieurs sites dans la ville d'Annaba. Les sites sont choisis selon leur représentativité, en fonction d'un ordre chronologique, prenant en considération la variation des caractéristiques morphologiques de chaque scène urbaine.

Au départ, l'évaluation du confort thermique extérieur a connu l'application des indices du confort initialement développés pour l'intérieur tels que : le vote moyen prévisible (PMV), la température effective (ET *), et température effective standard (SET *). D'après plusieurs recherches, cette méthode a démontré ses limites en comparant les résultats de ces indices avec la sensation thermique effective [19].

D'autres recherches ont proposé l'utilisation des indices expérimentaux tels que le ASV (vote sur la sensation thermique effective) [20]. Cependant, se contenter d'une approche empirique est aussi insuffisant pour prédire l'impact des éléments de la forme urbaine sur les variations du microclimat urbain [21].

En effet, la méthode adoptée pour cette étude est expérimentale inductive basée sur des campagnes de mesures sur site et des interviews adressés aux

usagers, et déductive en utilisant un modèle de simulation [22].

Ainsi, dans notre recherche le confort thermique extérieur était évalué selon deux indices :

- a. Evaluation de la sensation thermique effective STE, tirée à partir d'un modèle de régression linéaire.
- b. Evaluation de la sensation thermique prévisible où un modèle de confort, Comfa comfort formula qui a été initialement développé pour l'extérieur [23]

2. Présentation des sites et investigation :

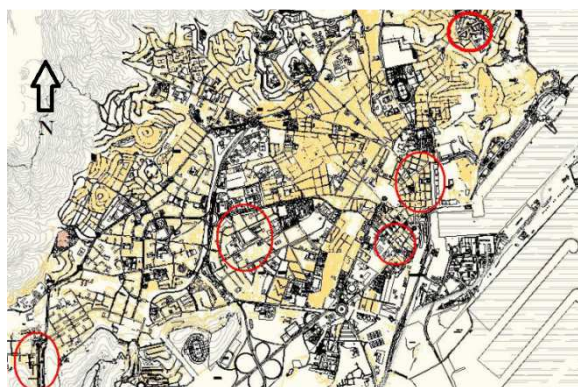







Fig.2.Répartition des sites à travers la ville d'Annaba

Annaba est une ville côtière de l'Est Algérien, située à 36°, 52'Nord, 6.57 Est au pied du massif de l'Edough. Son climat subit l'influence combinée de la montagne et la proximité de la mer méditerranéenne. Elle est soumise à un climat méditerranéen avec des variations saisonnières marquées par un été chaud, et un hiver froid et humide à caractère pluvieux et tempéré. Les principales directions des vents sont de Nord à Nord-est. Les températures maximales sont enregistrées pendant le mois d'Août, avec un maximum de 31,4°C, et les minimales pendant le mois de janvier, avec une valeur de 6.9 °C (d'après les données 1978-2007, fournies par la station météorologique, les salines, Annaba).

La ville est caractérisée par une morphologie hybride, présentant une mosaïque socio-spatiale hétérogène. Son centre est marqué par la juxtaposition du noyau traditionnel (vieille ville) et le noyau colonial. L'extension de la ville est faite sous forme de grands ensembles construits généralement après l'indépendance et d'habitat auto-construit [24].

Tableau 1:Présentation des sites d'étude

	<p>Centre ville : 1- Cours de la révolution Construit à partir de 1850 sur un tracé ordonné avec des artères rayonnantes [25]. Les volumes construits sont implantés de manière continue en alignement avec la voie et composant des îlots fermés. Ils ménagent ainsi un espace d'agrément central et privé. Les RDC sont généralement occupés par des commerces et les étages supérieurs sont destinés aux logements. Le tracé des voies est à la base de la composition urbaine. Le cours de la révolution qui sépare la vieille ville de la ville coloniale est marqué par une grande esplanade dont la partie Sud est implantée de plusieurs arbres de Ficus.</p> <p>2- La place George Ishak : La place George Ishak présente une forme équilibrée à géométrie orthogonale. Malgré la présence des arbres de ficus ombreux et des cafeterias qui rappellent l'image du cours de la révolution, cette place se distingue par sa forme, proche du rectangle, sa taille et son orientation qui obéissent aux tracés des voies.</p>
	<p>Champs de Mars : Construit pendant la période 1906-1938 suivant un tracé orthogonale, compact et homogène. La forme des îlots et le découpage parcellaire ont été déduits du quadrillage. Les îlots sont fermés ou semi fermés de tailles et de formes peu variables implantés en alignement avec la voie. Au centre s'inscrit la place publique contenant plusieurs arbres et deux kiosques.</p>
	<p>Menadia : Construit à partir de 1924, il présente le point de rencontre du boulevard de la liberté et de l'avenue Mustapha Benbou laid .Il représente un centre de vie et un élément de repère dans la ville. Ce site est caractérisé par trois aménagements paysagers et urbains structurant et qualifiant le plan de masse : le square, le jardin des frênes (espace d'étude), et la place du marché. Les îlots sont semi ouverts de formes et de tailles variables. Le bâti est discontinu avec une hauteur variable.</p>
	<p>8 Mai 45 : Érigé durant 1950, il traduit l'image des grands ensembles, les bâtiments sont disposés selon un ordre discontinu en alignement avec la rue et formant des îlots ouverts. Ce site est marqué par un grand jardin d'une forme trapézoïdale bordé de bâtiment en R+5 et abritant plusieurs arbres de tailles et de formes variables.</p>
	<p>Sidi Achour : Construit à partir de 2001, avec une forme architecturale faite de barre et de tours réparties dans des îlots continus. Les bâtiments sont alignés en deux bandes longeant un boulevard et traduisant ainsi l'image de ville haute. Le recul de certains bâtiments a donné naissance à une place publique contenant des arbres de Ficus et des aires aménagées en espace de jeux.</p>

3. Les indicateurs morpho-climatiques

Le microclimat urbain est soumis à l'effet combiné de plusieurs facteurs dont certains sont plus ou moins contrôlables.

Les facteurs physiques peuvent être classés comme suit [26]:

- A. Des variables à effet temporaire, à savoir, les conditions météorologiques (la température de l'air la vitesse du vent, la couverture nuageuse...).
- B. Des variables à effet permanent (le facteur de vue du ciel, les espaces végétalisés et minéraux, les matériaux...).
- C. Des variables à effet cyclique tel que le rayonnement solaire.

Le confort extérieur dépend des facteurs physiques liés au microclimat, facteurs physiologiques relatifs au système de thermorégulation et facteurs socio-psychologiques présentant le degré d'adaptation des usagers aux conditions extérieures.

Une synthèse des recherches antérieures ayant traité la relation entre les espaces publics, le microclimat urbain et les différents phénomènes thermiques engendrés, nous a amené à déduire les indicateurs les plus pertinents contribuant le plus dans la caractérisation de ces interactions. Ces indicateurs sont énumérés dans le tableau 2 ci-dessous:

Tableau 2

Indicateurs morpho-climatiques (SVF: facteur de vue du ciel, H/L: hauteur/largeur, SPO: surface partielle ombrée, Enso: ensoleillement, a: albédo, E: émissivité, Dv: densité de la végétation, clo: résistance des vêtements)

Descripteurs spatiaux	Géométriques	SVF, H/L, SPO, Orientation, Enso
Descripteurs physiques	Matériaux	a, E
Composants	Eau et végétation	Minéralisation, Dv
Descripteurs usagers	physique Socio-psychologique	clo, activité Culture, adaptation

3.1. Indicateurs spatiaux (Géométriques):

3.1.1. Facteur de vue de ciel (SVF):

Le facteur de vue de ciel est défini comme l'angle solide sous lequel le ciel est vu depuis un espace urbain,

Sa valeur varie de 01, lorsque la vue de ciel est dépourvue de toutes obstructions, jusqu'à 0 où la vue de ciel est totalement obstruée

D'après Oke un faible SVF conduit au piégeage du rayonnement de longue longueur d'onde et empêche le refroidissement nocturne. Il peut être calculé par des algorithmes, évalué à l'aide des photos Fish eye prises

par rapport à un angle qui dépasse 183°, ou par la simulation du modèle à l'aide des logiciels.

Dans le présent travail, le SVF est calculé par le logiciel Townscope version 3.2 (S.Azar, J.Teller et P.Petillon). La figure.4 illustre les valeurs du SVF et montre une variation allant des espaces plus ou moins ouverts (place champs de mars et la place 8 mai 45) aux espaces un peu fermés (jardin des frênes).

3.1.2. Ombre / Ensoleillement


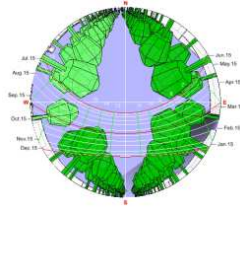
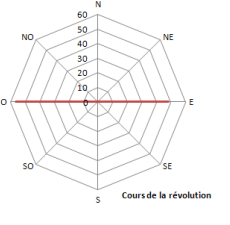
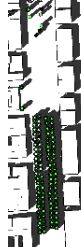

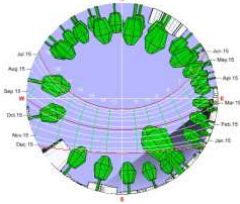
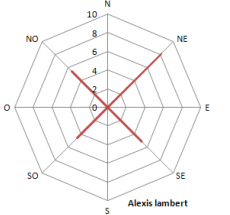


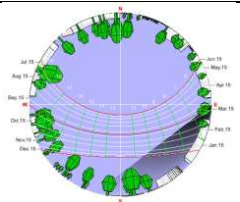
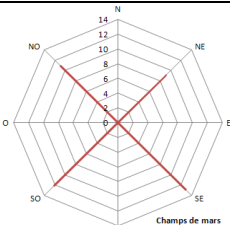
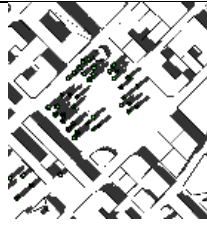

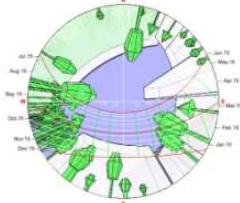
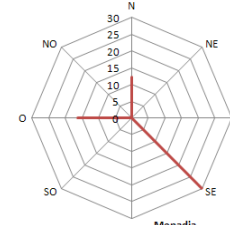
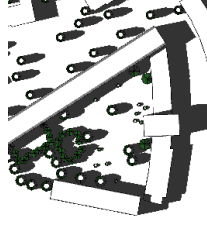

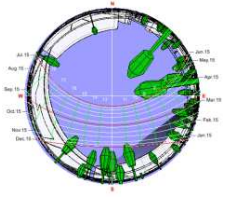
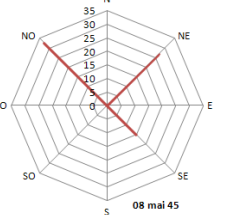
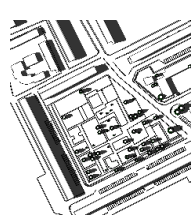

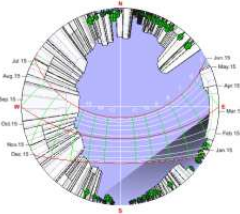

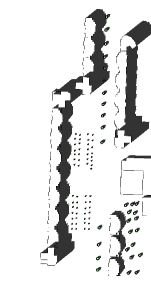
Ces deux indicateurs varient dans l'espace et dans le temps (en 4D). La place du Champs de Mars jouit de l'ensoleillement pendant toute l'année. Le jardin des frênes est ensoleillé pendant six mois. La place de Sidi Achour est généralement ensoleillée le matin durant toute l'année. Le jardin du 8 mai 45 est ombré vers la fin de la journée pendant toute l'année. Le cours de la révolution est aménagé en 3 parties distinctes, la partie Sud est presque ombrée toute l'année contrairement aux deux autres parties (Tableau.3).

3.1.3. Le rapport H/L et orientation :

Ces deux indicateurs ont été beaucoup traités par rapport à l'accessibilité du soleil et à la ventilation. L'orientation des rues définit l'orientation des bâtiments, une orientation NS implique une orientation EO pour les bâtiments (orientation qui peut causer des problèmes d'inconfort pour certaines latitudes). Les rues étroites peuvent offrir de l'ombre, cependant, elles favorisent l'accumulation et le piégeage des rayons solaires à cause des inter-réflexions qui ralentissent le processus de refroidissement.

Concernant l'orientation, généralement elle dépend de l'orientation des îlots. Les espaces allongés (tel que le cours de la révolution, la place de Sidi Achour) impliquent une orientation Est/Ouest pour les bâtiments. Par contre pour les espace plus ou moins trapus (George Ishak, champs de mars), les bâtiments sont orientés : NE, SE, SO et NO. Le jardin du 8 mai 45 présente une parcelle biseautée à cause de la rencontre de la voie qui le délimite et le boulevard d'Afrique, l'orientation dominante est NE, NO. Quant au jardin des frênes la parcelle présente une déformation convergente, impliquant une orientation N et O avec une dominance de l'orientation SE. D'après la figure.3, le rapport H/L le plus important est obtenu pour le jardin des frênes et la place de Sidi Achour.

Tableau 3 : Diagrammes solaires, orientation et la surface partielle ombrée SPO des sites étudiés (A : Cours de la révolution, B : La place George Ishak, C : La place champs Mars, D : Le jardin des frênes, E : Le jardin 8mai45, F : La place Sidi Achour).

Site	Diagramme solaire	Orientation	SPO
A 		 Cours de la révolution	
B 		 Alexis lambert	
C 		 Champs de mars	
D 		 Menadia	
E 		 08 mai 45	
F 		 Sidi Achour	

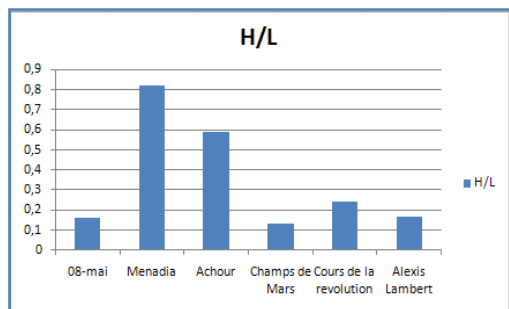


Fig.3. Comparaison du rapport Hauteur largeur H/L des différents sites

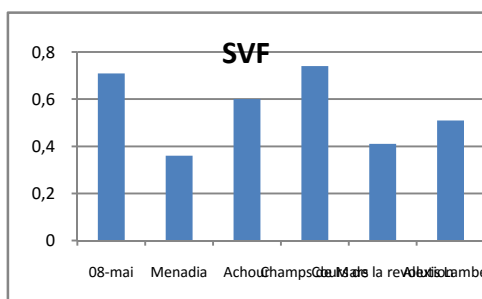


Fig.4. Comparaison entre le facteur de vue du ciel des différents sites

3.2. Matériaux :

L'effet des matériaux sur le microclimat dépend de l'albédo qui détermine la quantité du rayonnement réfléchi, et la capacité thermique qui détermine la quantité d'énergie stockée et le temps de déphasage. Etant donné que la scène urbaine est composée 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 sa fraction d'occupation. Les valeurs sont tirées à partir du tableau 4.

Tableau 4 : L'albédo, émissivité et conductivité des éléments rencontrés en aménagement urbain.

	Albédo (%) (a)	Emissivité (%) (E)
Végétation	5-30	90-99
Herbe	20-30	90-95
Espace vert	3-15	
Bois	5-20	
Surfaces urbaines		
Asphalt	5-15	95
Béton	10-50	71-90
Brique	20-50	90-92
Pierre	20-35	85-95
toit en gravier et bitume	8-18	92
Tuile	10-35	90
Couleur blanche	50-90	85-95
Rouge, marron, vert	20-35	85-95
Noir	2-15	90-98

3.3. Composants :

L'impact de la végétation est traduit par le processus d'évapotranspiration et la création d'ombre.

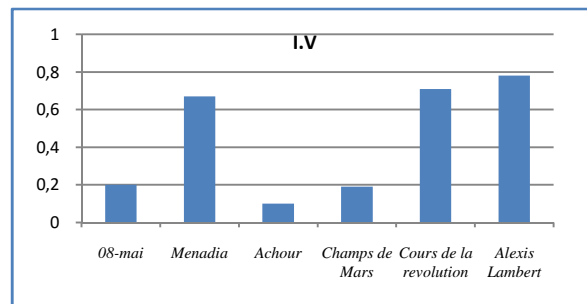


Fig.5. Calcul de l'indice de végétation (I.V).

La place George Ishak, le cours de la révolution et le jardin des frênes présentent respectivement les densités végétales les plus importantes (fig.5).

3.4. Descripteurs usagers :

La résistance des vêtements est évaluée en fonction du tableau.5, quant aux activités exercées elles sont évaluées en fonction du métabolisme et de la vitesse de l'activité.

Tableau 5 : Quelques valeurs de résistance de vêtements typiques

Vêtements type	r _{co}
T-shirt, pantalon court, chaussette, souliers de course	50
T-shirt, pantalon, chaussette, souliers	75
T-shirt, pantalon court, chaussette, souliers, Gillet	100
Chemise, pantalon court, chaussette, souliers, Gillet	125
Chemise, pantalon court, chaussette, souliers, Pull	175
Chemise, pantalon court, chaussette, souliers, jacket	250
Chemise, pantalon, chaussures	77
Robe manches longues, chaussures	60
Robe manches longues, sandals	58

r_{co} = isolation des vêtements

4. L'évaluation du confort thermique extérieur

L'évaluation du confort extérieur a connu le développement de plusieurs méthodes qui peuvent être classées comme suit :

- Approches empiriques appliquées sur des climats bien spécifiques tel que : les indices Wind Chill température (WCT) et discomfort index.
- Approches statistiques basées sur des corrélations entre les paramètres climatiques mesurés et les interviews pour évaluer la perception thermique

effective (Nikolopoulou, Steemers, thorsson, Lindqvist).

- Approches thermo-physiologiques basées sur la résolution de l'équation du bilan énergétique, traduites à travers plusieurs modèles tel que :Burt Model, Fanger's Model, Kilima Michel, Comfort Formula, MENEX (Man EnviromentalHeat Exchange Model), MEMI (Munich Energy-Balance Model for individuel)

Parallèlement, plusieurs indices ont été développés tel que PMV (vote moyen prévisible, initialement conçu pour l'intérieur), PET(la température physiologique équivalente), SET*(Température effective standard), PT* (Température perçue) et Comfa.

Généralement ces modèles thermo-physiologiques prennent en considération les paramètres climatiques (température de l'air, Humidité de l'air, vitesse du vent et le rayonnement solaire), et non-climatiques (l'activité et l'habillement).

Le calibrage de ces modèles est très important afin de les adapter aux conditions du contexte étudié.

Basé sur le modèle Comfa Comfort Formula, l'objectif de cette recherche est l'aboutissement à un outil pouvant être utilisé par les concepteurs des espaces extérieurs afin de prévoir le confort généré depuis les formes urbaines projetées. C'est un modèle simplifié intégrant l'ensemble des paramètres climatiques et urbains. Il offre un calcul détaillé à travers des équations qu'on peut saisir à partir d'un tableur tel qu'Excel ou un programme tel que Matlab.

Le calibrage est réalisé grâce au développement du modèle STE (sensation thermique effective) suite à des campagnes de mesures et des interviews à travers plusieurs sites.

5. Investigation et développement du STE :

L'investigation s'est déroulée pendant juin 2013 et juin 2014.une campagne de mesure a été entreprise à travers les sites choisis.

L'évaluation du confort thermique extérieur dépend généralement de quatre variables environnementales : La température de l'air, la température moyenne radiante, l'humidité et la vitesse du vent. Ces paramètres ont été mesurés par les appareils suivant:

- Des thermo-hygromètres, anémomètre et luxmètre, model LM-8000, pour mesurer la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse du vent.
- Mini station DELTA OHM HD32.3 : cet instrument nous a permis non seulement de relever les Températures du thermomètre globe Tg, mais aussi d'obtenir la température et l'humidité de l'air et la vitesse du vent simultanément. Sur la base des

grandeurs relevées cet instrument peut également calculer les indices du confort PMV et PPD.

Quant à l'évaluation de la sensation thermique effective STE, les questions soulevées ciblent deux ensembles de paramètres : Des paramètres personnels, à savoir, âge, sexe, résidence, exposition, vêtements, entourage, activité, teint, passé thermique, activité, durée, fréquence et état de santé.

Des paramètres relatifs à la perception du confort, à savoir, la sensation thermique effective, discerner le paramètre climatique le plus ennuyeux et ce qu'ils souhaiteraient améliorer.

La sensation thermique effective a été évaluée en fonction d'une échelle de 9 points qui varient de -4 à +4 (extension de l'échelle d'ASHRAE), tableau 6 [27].

Tableau 6 : Echelle du confort adaptée dans le questionnaire comparée à l'échelle d'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers)

ASHRAE	Echelle adaptée	Points
	Extrêmement froid	-4
Très froid	Très froid	-3
Froid	Froid	-2
Un peu froid	Un peu froid	-1
Confort	Confort	0
Un peu chaud	Un peu chaud	1
Chaud	Chaud	2
Très chaud	Très chaud	3
	Extrêmement chaud	4

Etant donné que le travail sur le site s'est déroulé pendant l'été, les valeurs du STE s'inscriront dans un intervalle allant de -1 à 4. La durée du questionnaire est de 5minutes par personne.

6. Evaluation de la sensation thermique prévisible : Comfort Formula (Comfa)

Comfa est développé en premier lieu par Brown et Gillespie [28] sur des zones rurales. L'équation du bilan s'écrit comme suit :

$$TB=M+Kabs+Labs-(Conv+Evap+TR_{emitted}) \quad (2)$$

Où M est le métabolisme, Kabs est le rayonnement solaire absorbé, Labs est le rayonnement thermique absorbé, Conv sont les pertes ou les gains de chaleur par convection, Evap présente les pertes de chaleur par évaporation et $TR_{emitted}$ est le rayonnement thermique émis (longue longueur d'onde).

Ce modèle a été réadapté aux espaces urbains (Comfa+), grâce aux travaux d'Angelloti, Dessi et Scuda [29,30].

La différence entre Comfa et Comfa+ et l'introduction de l'effet des bâtiments dans le calcul du rayonnement dans l'équation du bilan d'énergie.

Le modèle initial a été également repris par Kenny et al [31,32]. Ces chercheurs ont trouvé que Comfa sous estime l'effet du vent et la vitesse de l'activité lorsqu'il s'agit des activités très importantes, les modifications concernant l'évaluation de la résistance des vêtements et de leurs imperméabilités à la vapeur r_{c} et r_{cv} respectivement.

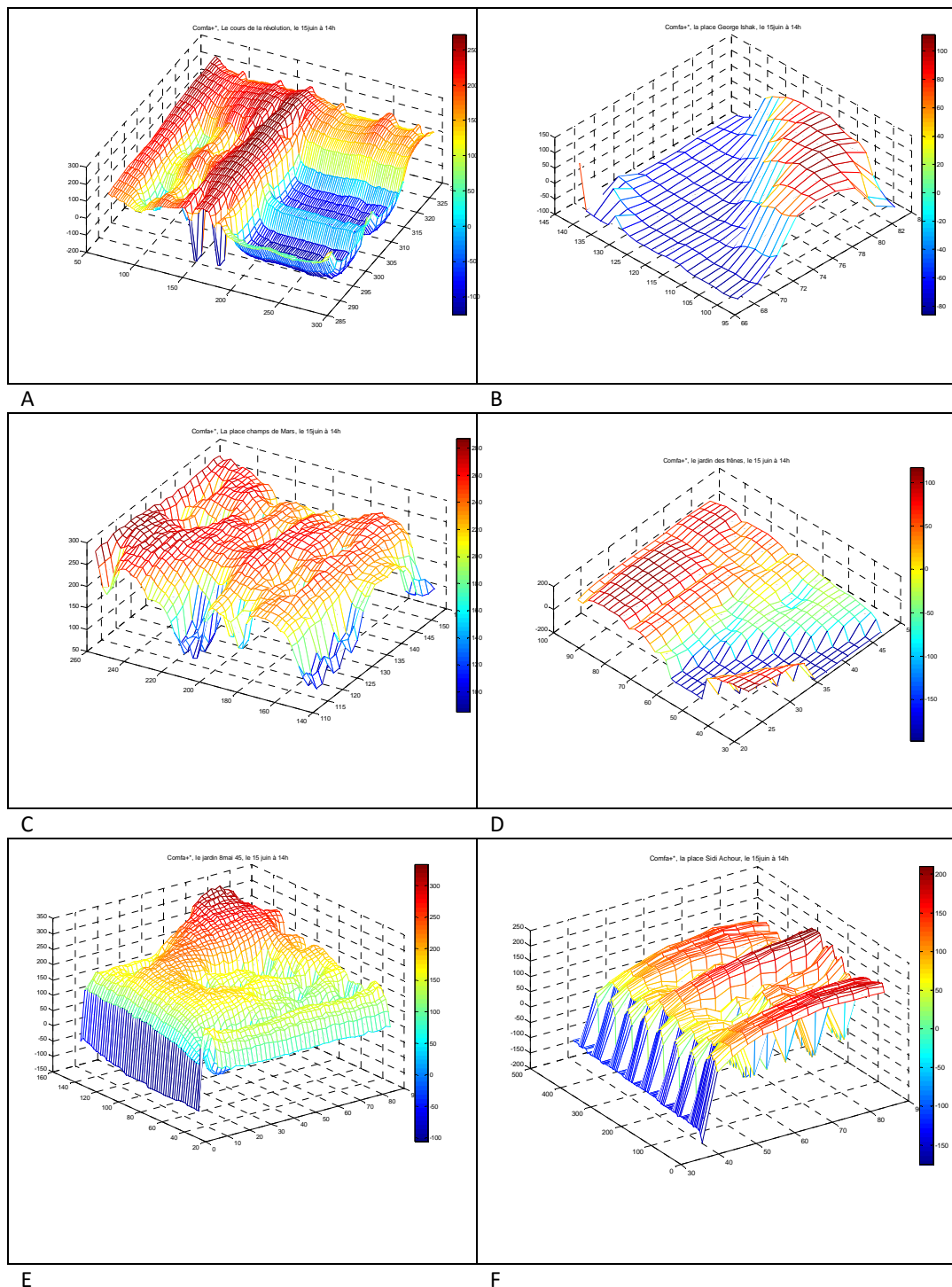
Les équations constituant la structure du modèle exploité dans l'étude représentent un fusionnement des trois modèles. Les grandeurs morphologiques étant calculées pour chaque point comme suit :

- a. Le facteur de vue du ciel calculé pour chaque point par townscape.
- b. Le facteur de forme est aussi calculé pour chaque point par Excel en fonction de l'algorithme de Cannistraro qui a été développé à partir des nomogrammes de Fanger [33] selon l'équation suivante [34]:

$$F_{P-A} = F_{satmax}(1-\exp[-(a/c)/\tau]) \times (1-\exp[-(b/c)/\gamma]) \quad (3)$$

où: F_{satmax} , τ et γ sont des coefficients qui varient en fonction de la position de l'utilisateur, a , b et c sont les coordonnées de l'utilisateur dans l'espace public.

Fig.6 Visualisation des résultats du bilan d'énergie Comfa+* (en w/m^2) des six espaces publics calculés le 15 juin à 14h (A :Cours de la révolution, B : Laplace George Ishak, C :La place champs Mars, D :Le jardin des frênes, E :le jardin 8mai45, F :La place Sidi Achour).



7. Résultats et interprétations:

7.1. Calibrage de COMFA+*:

Les résultats obtenus du modèle de prévision du confort COMFA+* ont été corrélés avec ceux obtenus du STE afin de définir les limites du confort thermique propre à la ville d'Annaba.

Tableau 7 : Calibrage de l'indice du confort COMFA +* en fonction de l'indice statistique STE.

STE	Comfa*+(w/m2)	Interprétation
-4	<-150	Extrêmement froid
-3	-150 à -100	Très froid
-2	-100 à -50	Froid
-1	-50 à +50	Un peu froid
0	+50 à +120	Confort
1	+120 à +180	Un peu chaud
2	+180 à +220	Chaud
3	+220 à +260	Très chaud
4	>+260	Extrêmement chaud

7.2. Discussion :

Les résultats obtenus du modèle sont visualisés à travers une grille grâce au programme Matlab R2009a où l'indice du confort a été évalué pour chaque point de la grille. Cette visualisation nous a permis de discerner l'impact de chaque élément morphologique (bâtiment, surface minérale et végétale, matériaux...etc.) sur le confort extérieur. Les résultats présentés ci-dessous correspondent au 15 juin pendant l'heure la plus chaude de la journée (14h) et montrent ce qui suit :

- La place de Sidi Achour développe des zones de confort contrastées. Les parties proches des bâtiments présentent des valeurs qui ne dépassent pas +60 w/m². Elles correspondent à une sensation de confort (tableau.7). Pour les parties plutôt exposés, le bilan d'énergie peut atteindre +200 w/m². Cette valeur exprime une sensation de chaleur.

- Les résultats obtenus dans la place George Ishak montrent l'effet de la végétation sur le confort extérieur, on enregistre des valeurs qui varient de -50 w/m² à 0 w/m², ces résultats justifient le grand nombre des usagers dans cet espace urbain.

- Le cours de révolution illustre l'impact de la densité végétale sur le confort. La partie Sud implantée de plusieurs arbres de Ficus exploite un intervalle qui varie entre -100 w/m² et +25 w/m². Il correspond à une sensation de froid. Quant à la partie Nord marquée par des arbres moins denses l'intervalle obtenu varie de

+100 w/m² à +150 w/m², où on commence à sentir la chaleur.

- Le jardin des frênes reflète l'effet combiné de la présence de la végétation, l'ouverture au ciel ainsi que les couloirs de ventilation créés par des passages sous les bâtiments. Cet espace urbain jouit d'une ambiance thermique confortable traduite par les valeurs obtenues où on enregistre des valeurs de -100 w/m² à 0 w/m².

- Ayant une géométrie plus ou moins ouverte caractérisée par un SVF important, la place du champ de mars présente des zones de confort chaudes en s'éloignant des arbres.

- L'effet de l'orientation est distingué à travers le jardin du 8 mai 45, on enregistre des valeurs qui varient de +50 w/m² à +160 w/m² (sensation de confort), reflétant l'effet de l'ombre des bâtiments et des arbres.

8. Conclusion :

Les premiers résultats obtenus de cette étude affirment l'impact de la morphologie urbaine sur la variation temporelle et spatiale des zones de confort.

Comfa présente un très bon moyen de prédiction du confort extérieur, conçu sur une base mathématique, ce modèle permet au concepteur d'évaluer l'impact de chaque élément conçu sur l'ambiance thermique générée.

La bonne corrélation entre la sensation thermique effective et Comfa nous a permis d'améliorer la fiabilité de ce modèle de confort et son adaptation au contexte d'étude.

Une nette distinction de l'effet de la présence de la végétation sur le confort extérieur. Cet effet dépend du type de la végétation et de la disposition des arbres dans l'espace public.

L'impact des bâtiments sur le confort varie d'un espace à un autre, cet impact est relié au deux indicateurs SPO et SVF.

Références

- [1] G. Escourrou, *Le climat et la ville*, Nathan, Paris (1991).
- [2] G. Pigeon et al *De l'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville*, *La Météorologie*-n 62 août 2008
- [3] T. R. OKE *Street Design and Urban Canopy Layer Climate Energy and Buildings*, 11 (1988) 103 - 113)
- [4] H. Swaid, *The role of radiative-convective interaction in creating the microclimate of urban street canyons*, *boundary-Layer Meteorology* 64: 231-259, 1993. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- [5] J. Arnfield, *Street Design and Urban Canyon Solar Access*, *Energy and Buildings*, 14 (1990) 117 – 131
- [6] Bourbia F., Awbi H.B. 2004: *Building cluster and shading in urban canyon for hot-dry climate. Part 2: Shading simulations*. *Renewable Energy* 29: 291-301.
- [7] 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* 41: 94-108.
- [8] Oke, T. R.: 1981, 'Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations', *J. Climatol.* 1,237-254.
- [9] Johnson, T. G. and Watson, I. D.: 1984, 'The Determination of View-Factors in Urban Canyon's', *J. Clim. Meteorol.* 23, 329-335.
- [10] C.S.B. Grimmond: *Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas*, *International journal of climatology*. 21: 903–913 (2001)
- [11] Matzarakis, A., F. Rutz, H. Mayer, 2007: *Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model*. *Int. J. Biometeorol.* 51, 323-334.
- [12] Akbari H., Rosenfeld A.H., Taha H. 1995: *Cool construction materials offer energy saving and help reduce smog*. *ASTM standardization news* 23, 11: 32 -37.
- [13] Darren Robinson, *Solar radiation modelling in the urban context*, *Solar Energy* 77 (2004) 295–309
- [14] R. Compagnon *Solar and daylight availability in the urban fabric*, *Energy and Buildings* 36 (2004) 321–328
- [15] Carlo Ratti, Dana Raydan, Koen Steemers *Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate*, *Energy and Buildings* 35 (2003) 49–59
- [16] Luc Adolphe, *Modelling the link between built environment and urban climate : towards simplified indicators of the city environment*. Seventh International IBPSA Conference Rio de Janeiro, Brazil, August 13-15, 2001
- [17] L. Tirraoui: *Propositions pour une analyse radiative thermique des espaces urbains*, thèse de doctorat, soutenue en 2000
- [18] K. Aït Ameur: *Vers une méthode multicritère de caractérisation du microclimat dans les espaces publics urbains : validation d'un système d'indicateurs "morpho-climatiques" et d'un indicateur de confort*, thèse de doctorat soutenue en 2002.
- [19] I. Knez . S. Thorsson, *Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square*, *Int J Biometeorol* (2006) 50: 258–268
- [20] M. Nikolopoulou et S. Lykoudis: *Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis cross different European countries*, *Building and Environment* 41 (2006) 1455–70, Science direct.
- [21] T. Oke, *Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning*, *Energy and Building*. 7 (1984) 1 - 10.
- [22] L. M. Monteiro et M.P. Alucci: *Outdoor thermal comfort : Comparison of results of empirical field research and predictive models simulation*, Windsor Conference 2008.
- [23] R. D. Brown, T. J. Gillespie, *microclimatic landscape design, creating thermal comfort and energy efficiency*, John Wiley and Son, Inc, 1995.
- [24] H. Mebirouk, *La fragmentation socio-spatiale à Annaba, un paradigme de crise urbaine*
- [25] Direction de l'urbanisme de la wilaya d'Annaba : *Plan directeur d'aménagement urbain PDEAU, 2004*
- [26] Rizwan, et al. *A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*. *Journal of environmental Sciences*, vol.20, 2008, p. 120-128.
- [27] M. Thitisawat et al, *Adaptative outdoor comfort model calibration for a Semitropical region*, PLEA 2011, louvain-la-neuve, Belgium (juillet 2011).
- [28] R. D. Brown, T. J. Gillespie, *Estimating Outdoor Thermal Comfort Using a Cylindrical Radiation thermometer and an Energy Budget Model*, *Int. J. Biometeorol.* 1986.
- [29] A. Angelotti, V. Dessi et G. Scuda: *The evaluation of thermal comfort conditions in simplified urban spaces: The COMFA+model*, 2nd PALENC conference on building low energy cooling and advanced ventilation, septembre 2007.
- [30] V. Dessi, *Use of simplified tools to evaluate thermal comfort in urban spaces in the teaching experience*, PLEA 2008, Dublin.
- [31] N.A. Kenny et al: *Part A: Assessing the performance of the COMFA outdoor thermal comfort model on subjects performing physical activity*, *Int J. Biometeorol* 2009.
- [32] N.A. Kenny et al: *Part B: Assessing the performance of the COMFA outdoor thermal comfort model on subjects performing physical activity*, *Int J. Biometeorol* 2009.
- [33] P.O. Fanger : *Thermal comfort*. Copenhagen, Danish Technical Press (1970).
- [34] Cannistraro G., Franzitta G., Giaconia C., Rizzo G.. *Algorithms for the calculation of the view factors between human body and rectangular surfaces in parallelepiped environments*, *Energy and Buildings*, 1992, vol. 19, pp. 51-60.