



**HAL**  
open science

# Le traitement des espaces urbains dans les villes au climat chaud et sec pour diminuer leurs problèmes climatiques. Étude de cas : la ville du Caire

Ahmed El Hozayen

► **To cite this version:**

Ahmed El Hozayen. Le traitement des espaces urbains dans les villes au climat chaud et sec pour diminuer leurs problèmes climatiques. Étude de cas : la ville du Caire. Sciences agricoles. 2013. dumas-00907165

**HAL Id: dumas-00907165**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00907165v1>**

Submitted on 21 Nov 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**AGROCAMPUS OUEST**  
CFR Angers  
2 rue Le Nôtre  
49045 Angers cdx 01



Alexandria construction  
company

Mémoire de Fin d'Etudes

**Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques,  
Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage**

Année universitaire : 2012 \_ 2013

Spécialité : Paysage

Spécialisation ou option : MOI

**Le traitement des espaces urbains dans les villes au climat  
chaud et sec pour diminuer leurs problèmes climatiques**  
Etude de cas : La ville du Caire

Par : Ahmed ELHOZAYEN

*Illustration éventuelle*

*Volet à renseigner par l'enseignant responsable de la spécialisation/option  
ou son représentant*

Date : .../.../... Signature

Bon pour dépôt (version définitive)

Autorisation de diffusion : Oui  Non

**Devant le jury :**

Soutenu à Angers le 26/09/2013

Sous la présidence de : Mme Joséphine AUDEBERT

Maître de stage : Eng. Mahmoud hassan Zien

Enseignant référent : Mme Elise GEISLER

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

*"Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent  
que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST".*

## Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

### Cadre lié à la confidentialité :

Aucune confidentialité ne sera prise en compte si la durée n'en est pas précisée.

#### Préciser les limites de la confidentialité <sup>(2)</sup> :

➤ Confidentialité absolue :  oui  non

(ni consultation, ni prêt)

➤ Si oui  1 an  5 ans  10 ans

Le maître de stage <sup>(4)</sup>,

### Cadre lié à la diffusion du mémoire :

A l'issue de la période de confidentialité et/ou si le mémoire est validé diffusable sur la page de couverture, il sera diffusé sur les bases de données documentaires nationales et internationales selon les règles définies ci-dessous :

Diffusion de la version numérique **du mémoire** :  oui  non

Référence bibliographique diffusable <sup>(3)</sup> :  oui  non

Résumé diffusable :  oui  non

Mémoire papier consultable sur place :  oui  non

Reproduction autorisée du mémoire :  oui  non

Prêt autorisé du mémoire papier :  oui  non

.....  
Diffusion de la version numérique **du résumé** :  oui  non

↳ Si oui, l'auteur <sup>(1)</sup> complète l'autorisation suivante :

Je soussigné(e) *Ahmed El Hozayen*, propriétaire des droits de reproduction dudit résumé, autorise toutes les sources bibliographiques à le signaler et le publier.

Date : Signature :

Rennes/Angers, le

L'auteur <sup>(1)</sup>,

L'enseignant référent,

(1) auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(2) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(3) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé.

(4) Signature et cachet de l'organisme.

## **REMERCIEMENTS**

*J'exprime toute ma gratitude à ma tutrice de mémoire, Elise Geisler, pour l'effort fourni, les conseils prodigués, sa patience et sa persévérance dans le suivi du mémoire. J'adresse également mes remerciements à tous mes enseignants, qui m'ont donné les bases scientifiques. Je remercie très sincèrement les membres du jury d'avoir accepté de participer à ma soutenance. Je tiens à remercier aussi l'ensemble du personnel d'Agrocampus Ouest. Je remercie mes parents qui ont éclairé mon chemin et qui m'ont encouragé et soutenu toute au long de mes études, ma fiancée Nourhan, ma sœur Aya, ma belle famille et tout mes ami(e)s*

# Table des matières

Remerciements

<b>1 Introduction</b>	01
1.1 Changement climatique et prise de conscience environnementale	01
1.2 Objectif, questions de recherche et limites	02
1.3 Hypothèse de recherche	03
1.4 Les quartiers El Rehab et Héliopolis au Caire	03
1.5 Le climat égyptien : chaud et sec	04
1.6 Structure du mémoire	05
<b>2 Les concepts liés au traitement thermique des espaces urbains</b>	06
2.1 Le climat	06
2.2 Les facteurs climatiques	07
2.2.1 Le rayonnement solaire	07
2.2.2 La température ambiante	07
2.2.3 Le vent	08
2.2.4 L'humidité et les précipitations	08
2.2.5 L'état du ciel	08
2.3 Le microclimat	08
2.3.1 Le relief	09
2.3.2 Les plans d'eau	09
2.3.3 La végétation	09
2.3.4 La largeur de la rue et son orientation	12
2.4 Le confort thermique	12
2.5 L'effet de la pollution de l'air	13
<b>3 L'analyse de la performance thermique des nouveaux quartiers du Grand Caire</b>	14
3.1 Des nouveaux quartiers du Grand Caire	14
3.1.1 Héliopolis : un quartier public	15
3.1.2 La place Triomphe, une place publique typique du Caire	15
3.1.3 El Rehab, un quartier résidentiel fermé	16
3.1.4 La Place Food Court, une place collective privée	17
3.2 Une méthode d'analyse multidisciplinaire	17
3.2.1 Les entretiens directs	18
3.2.2 L'analyse du site	19
3.2.3 Les observations non participantes des comportements	19
<b>4 Résultats</b>	19
4.1 Les entretiens directs	19
4.1.1 Les activités des usagers et leur sensation thermique	19
4.1.2 Les conversations informelles	21
4.2 L'analyse du site	22
4.2.1 La place Triomphe	22
4.2.2 La place Food Court	23
4.3 Les observations non participantes des comportements	25
<b>5. Conclusion et Discussion</b>	25
5.1 Conclusion	25
5.2 Recommandations	26
5.2.1 Recommandations pour La place Triomphe	26
5.2.2 Recommandations pour La place Food Court	27
5.2.3 Recommandations générales pour les espaces urbaines au Caire	27
5.2.3.1 Le traitement urbain et architectural	27
5.2.3.2 L'augmentation de L'ombrage dans l'espace urbain	28

5.2.3.2.1 L'ombrage par les arbres.....	28
5.2.3.2.2 L'ombrage par des structures construites.....	28
5.2.3.3 L'augmentation des espaces verts.....	29
5.2.3.4 Le contrôle du vent.....	30
5.2.3.5 L'augmentation de l'humidité.....	31
5.2.3.6 La réduction de la pollution de l'air.....	32
5.2.3.7 La promulgation de nouvelles lois.....	32
5.3 Discussion.....	33
<b>Bibliographie</b> .....	34
<b>Sitographie</b> .....	38

## Liste des annexes

Annexe I - l'entretien

Annexe II - La température moyenne en été (juillet) en Egypte

Annexe III - Le pourcentage de réflectivité des différentes surfaces

## Liste des illustrations

1	La position du Caire. Adapté du Google maps.....	3
2	L'emplacement d'Héliopolis, El Rehab, et le centre ville du Caire. Source : Google maps. Modifié par l'auteur. ....	4
3	Les cinq zones climatiques de l'Egypte. Source : Abu-Haggag et al., 2003. ....	5
4	Le contrôle de la température par la végétation dans les variations saisonnières et diurnes. Source : Hassan, 2006. ....	10
5	Refroidissement dû au couvert arboré. Source : Brown & DeKay, 2001. ....	11
6	Photos de la place Triomphe. Source: El Hozayen, 2013. ....	16
7	La Place Triomphe. Source: Google maps. Modifié par l'auteur.....	16
8	Photos de la place de Food court à El Rehab. Source: El Hozayen, 2013.....	17
9	La Place Food Court. Source: Google maps. Modifié par l'auteur.....	17
10	La température maximum et minimum au Caire. Source : <a href="http://www.weatheronline.co.uk">http://www.weatheronline.co.uk</a> .....	18
11	Le pourcentage de la distribution de la sensation thermique dans les deux places. ....	19
12	Le pourcentage de la distribution de l'habitation ou le travail au quartier.....	20
13	Le pourcentage de la distribution du temps passé dans les deux places.....	20
14	La relation entre le temps passé dans les places et l'endroit de la personne dans une zone ombragé.....	21
15	L'ombre crée par les arbres sur les trottoirs. Source: L'auteur en juillet 2013.....	23
16	L'arbre au milieu de la rue ombrage la voiture garée. Source: El Hozayen, 2013.....	23
17	Le passage de l'air à travers les espaces entre les bâtiments. Source: Google maps. Modifié par l'auteur. ....	24
18	Les propriétaires des voitures dans les parkings ont choisi de laisser leur voiture au-dessous des arbres. Source: El Hozayen, 2013.....	24
19	La plantation des arbres à côté d'une allée pour créer d'ombre. Source : El Hozayen, 2013. ....	27
20	Des petites rues en forme de zigzags. Source : Golany, 1978. ....	28
21	L'utilisation de la végétation pour diminuer l'effet de rayonnement solaire. Source : Ibrahim, 1984.....	29
22	L'utilisation de la végétation pour protéger les espaces contre les effets néfastes du vent. Source : Ibrahim, 1984. ....	30
23	Un changement de relief avec les plantes peut contrôler le mouvement du vent. Source : Hassan, 2006. ....	31
24	La variation de contrôle du vent par végétation comme désiré. Source : Hassan, 2006. ....	31
25	Le vent est refroidi lors de son mouvement sur une masse d'eau. Source : Hassan, 2006. ....	32
26	L'utilisation de la végétation pour protéger les espaces contre les effets néfastes du vent. Source : Ibrahim, 1984.....	32



# 1 Introduction

## 1.1 Changement climatique et prise de conscience environnementale

L'environnement c'est tout ce qui nous entoure comme milieu physique, construit, naturel et humain ; incluant l'air, l'eau, le sol, le sous-sol, la faune, la flore, les autres organismes vivants, les êtres humains et leurs interrelations.

L'environnement sur la terre a son équilibre. Cet équilibre est le système qui régule tout sur la planète depuis des millions d'années. Les éléments vivants et non vivants interagissent étroitement entre eux dans un écosystème.

Mais cet écosystème n'est pas fixé, bien que les modifications apportées par chaque type d'organismes sur l'environnement, ainsi que les changements climatiques continus, changent la forme de l'écosystème, celui-ci est resté équilibré jusqu' à l'apparition de l'homme sur la terre. Après l'apparition de l'homme et « avec l'invention de l'agriculture et de l'élevage, l'homme est devenu capable de maîtriser le milieu naturel. De ces deux activités, vieilles de dix millénaires, découlent nombre de pratiques modifiant l'environnement de façon durable : la pâture des troupeaux, la culture sur brûlis » [1].

L'homme modifie l'environnement à travers l'incendie des forêts et l'exploitation forestière, la pêche intensive, l'élevage, l'agriculture, et enfin l'industrie, qui a causé la modification des milieux et les rend parfois impropres à la vie par ses déchets industriels rejetés par l'homme.

En raison de l'augmentation de la population urbaine, on a besoin de construire de nouveaux logements. Les travaux de terrassement sont augmentés, et donc les paysages sont totalement transformés.

L'urbanisation rapide entraîne souvent des impacts négatifs sur l'environnement, y compris les modifications sur le microclimat urbain. « Depuis que l'homme est une partie de la nature, la zone urbaine devrait également être considérée comme un système écologique, où l'équilibre urbain devrait être atteint. Mais depuis l'équilibre préexistant ne peut pas être conservé, il y aura un besoin de créer un nouvel équilibre aussi stable que l'ancien, mais mieux adapté à la finalité humaine » (Salem, 1984).

Ainsi l'idée de préservation de la nature est apparue, et la question de la gestion par l'homme des ressources naturelles et le développement durable sont devenus une préoccupation fondamentale, par la volonté de subvenir à nos besoins actuels sans porter atteinte ou préjudicier aux besoins des générations futures.

Au cours des dernières années, le développement urbain a reçu une attention considérable. On a donc commencé à penser à la façon d'atteindre le confort humain sans nuire à l'environnement.

Les premières réflexions sur le développement durable sont apparues dans les années 1970 et 1980 durant lesquelles les Nations Unies ont défini les stratégies futures pour les ressources comme un engagement moral et physique envers les générations à venir (Brundtland, 1989; Pezzoli, 1997).

Parmi les préoccupations du développement durable figure la volonté d'atteindre le confort thermique dans les espaces urbains de manière durable.

En raison du changement climatique, les températures de l'air mondiales devraient augmenter de 0,2 ° C par décennie au cours du prochain siècle. [2]

Ces dernières années, la « qualité du climat » de l'espace urbain ouvert est devenu un enjeu central, tant pour la climatologie, que pour l'aménagement urbain et l'architecture, comme en témoignent les manifestations scientifiques récentes (par exemple la PLEA, conférence sur l'architecture de l'énergie passive et basse, ou la ICUC, conférence

internationale sur le climat urbain) et la littérature axée sur la pratique (Ali-Toudert & Mayer, 2006).

Toutefois, en dépit de la préparation à l'ère du développement urbain durable dans les années 1980, jusqu'à présent, il ya un manque de convergence entre le modèle de conception urbaine durable et le modernisme urbain d'après la révolution en Egypte en 1952 basé sur des plans de logement socialistes et les valeurs théoriques de l'urbanisme post-moderniste dans un pays chaud comme l'Egypte (Ali, 2003; Dona, 1999; Fahmi & Sutton, 2008; Stewart et al., 2004; Sutton & Fahmi, 2001).

Afin de réduire les impacts climatiques négatifs dans nos villes, les acteurs impliqués dans le développement urbain, la planification et la conception doivent commencer à intégrer les connaissances climatiques dans les stratégies de planification et créer des liens entre le microclimat, le confort thermique, la conception et les règlements d'urbanisme.

Au cours de mon stage, j'ai supervisé quelques projets d'aménagement urbain parmi lesquels un ensemble résidentiel clos qui s'appelle Madinaty à New Cairo, près de la ville du Caire. Cet ensemble résidentiel se trouve dans une zone climatique qui se caractérise par des températures élevées. On remarque que la plupart des modèles et théories urbains en Egypte sont importés de l'étranger, et qu'ils sont le résultat de recherches menées sur la base d'un climat plus froid que celui de l'Egypte. Un énorme défi existe donc sur la façon de gérer ces espaces urbains existants pour s'adapter au climat chaud.

Ce mémoire s'intéresse à la performance environnementale, et en particulier thermique, dans les espaces urbains des pays chauds à partir les analyses d'ensembles résidentiels clos et d'espaces publics ouverts dans la ville du Caire, en République arabe d'Egypte.

Cette étude analyse les effets du design urbain et des éléments du paysage sur l'environnement thermique. Elle vise à souligner l'importance du microclimat et du confort thermique dans les processus de planification et de conception, et fournit des informations utiles qui peuvent atténuer les aspects négatifs du design urbain sur le microclimat et le confort thermique au Caire.

## **1.2 Objectif, questions de recherche et limites**

Pendant mon stage, je me demandais à quel point, dans la conception des espaces et le traitement des espaces urbains existants, on prenait en compte aujourd'hui les dimensions environnementales et le confort thermique pour les utilisateurs.

L'objectif de cette étude est de mieux comprendre la relation entre le microclimat et le paysage dans les espaces urbains de la ville chaude et sèche du Caire.

Cela s'est fait par l'étude et l'analyse de l'impact du design urbain et du paysage (des détails, de la végétation et des matériaux) sur le microclimat, dans différents espaces de conception urbaine du Caire. Cette étude aidera les paysagistes et les concepteurs à mieux prendre en compte le microclimat et les besoins de confort thermique dans la conception des espaces urbains.

Afin d'atteindre l'objectif de l'étude, les questions suivantes doivent être posées:

- *Quels sont les critères permettant d'évaluer la performance des espaces urbains dans les régions chaudes et sèches?*
- *Est-ce que les éléments de conception des espaces urbains étudiés, tels que leurs dimensions, leurs détails, leurs matériaux et leur végétation, sont-ils plus adaptés pour préserver l'environnement et assurer le confort des usagers, dans le contexte du climat chaud et sec du Caire?*

- *Quelles sont les meilleures solutions et modifications qui peuvent être mises en avant pour modifier et traiter les espaces urbains existants afin qu'ils soient adaptés à la protection de l'environnement et au confort des usagers?*

L'étude est centrée sur la ville chaude et sèche du Caire, en Égypte. Je me suis penché sur d'autres villes qui sont dans la même région chaude et sèche, mais les conclusions de cette étude ne peuvent être généralisées à toutes les villes chaudes et sèches, car il ya des différences considérables entre ces villes, en termes de taille, de principes de planification, de proximité de la mer, de topographie, etc.

### 1.3 Hypothèse de recherche

Le confort thermique des usagers dans un espace urbain existant dans la ville chaude et sèche du Caire peut être amélioré par une conception compatible et par la modification de ses éléments, sa végétation, ses matériaux, etc. cette modification peut diminuer la température, ainsi qu'augmenter le mouvement de l'air sur le site. Elle a aussi d'autres effets sur l'humidité et les rayonnements solaires.

### 1.4 Les quartiers El Rehab et Héliopolis au Caire

La ville du Caire, (Fig.1), N 30° 7', E 31° 23', capitale de l'Égypte, est située au niveau du nœud où le Nil se divise en deux branches. Elle y a été établie au 6<sup>ème</sup> siècle avant JC. Le Caire est développé selon quatre périodes d'évolution urbanistique, basées sur des changements politiques et économiques :

1 - La période Islamique (la décantation; 979 - l'occupation française, 1798), les constructions urbaines qui correspondent à cette période sont Al-Fostat, le Caire fatimide, la Citadelle ... etc.

2 - La période Impérialiste (l'occupation française; 1798 - la révolution de Juillet, 1952 les constructions urbaines qui correspondent à cette période sont le centre du Caire, Al-Zamalek, Garden City ... etc.

3 - La période Socialiste arabe (la révolution de Juillet, 1952 - transitoire; 1987), la construction urbaine qui correspond à cette période est le quartier Nasr City.

4 - La période capitaliste (transitoire; 1987 - aujourd'hui), caractéristiques principales urbaines sont les développements de la ville nouvelle (Stewart, 1999 ; Stewart et al., 2004 ; Yin et al., 2005).

Je me suis plus précisément intéressé à deux quartiers. Le premier, El Rehab, est un ensemble résidentiel fermé au Nouveau Caire. El Rehab est un nouveau quartier privé dans la banlieue du Caire qui a été rapidement occupé en raison de la bonne tenue des financements



Fig.1: La position du Caire. Adapté de Google maps

privés et la haute réputation du développement et des services. Le deuxième, le quartier d'Héliopolis (Misr Al-Gadida) situé au nord-est du Caire (Fig.2).

Les différentes formes et les différents modèles urbains de ces deux quartiers ont affecté leurs performances thermiques, en raison des différentes utilisations du sol, des types de logements, de la densité de population, etc.

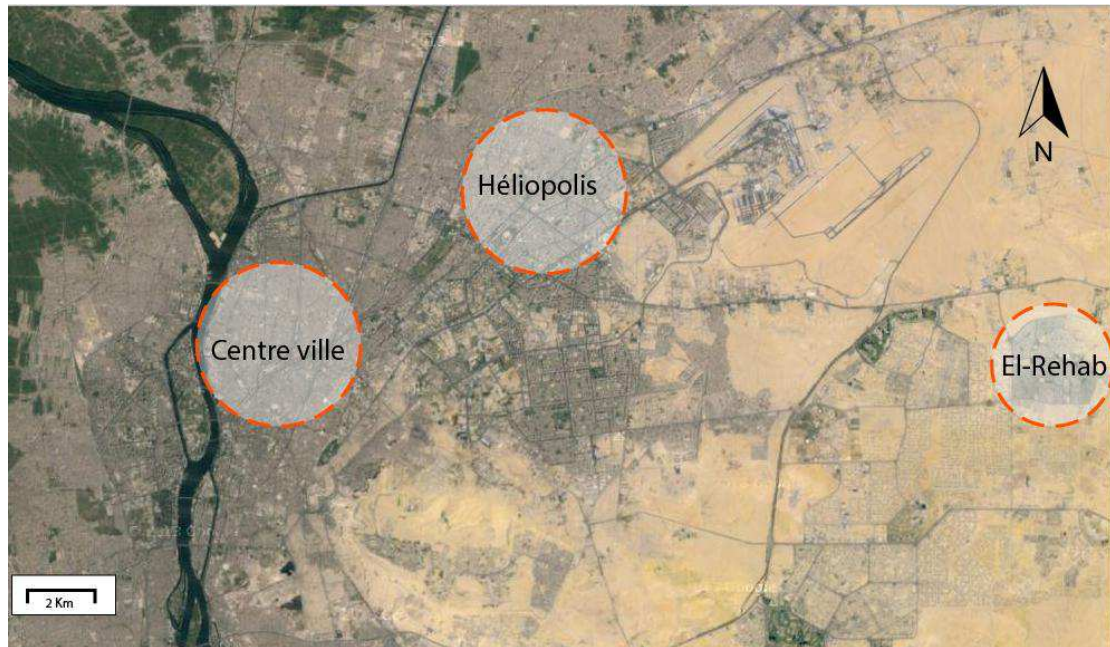


Fig.2 : L'emplacement d'Héliopolis, El Rehab, et le centre ville du Caire. Source : Google maps. Modifié par l'auteur.

### 1.5 Le climat égyptien : chaud et sec

Il y a plusieurs facteurs qui affectent le climat de l'Égypte, comme sa position entre les latitudes 22°C et 31,36°C de latitude nord, le tropique du Cancer passant à la limite sud du pays, cette position démontre que l'Égypte se trouve à l'intérieur de la zone tropicale chaude et sèche, où n'est connue que la région tropicale sèche (désert) située entre les latitudes 180°C, 30 °C nord et sud.

Ce site offre au territoire égyptien un important rayonnement solaire. Le soleil envoie des rayons verticaux, ou presque verticaux, sur le territoire de l'Égypte en été, à une force plus modérée pendant le printemps et l'automne et s'affaiblit pendant les mois d'hiver. En raison de cette position orbitale, la durée du jour augmente en été jusqu'à 14 heures, ce qui augmente la quantité de rayonnement solaire qui atteint la terre en cette période. La surface plane domine sur le territoire égyptien, surtout dans la vallée et le delta, et dans la plupart des régions du Sahara occidental.

En ce qui concerne les masses d'air, l'Égypte est touchée par tous les types connus, des masses d'air polaires à l'automne, en hiver et au printemps, comme continentales et maritimes.

Quant aux vents, en hiver, ceux du nord battent l'Égypte centrale et augmentent au printemps, et deviennent plus agréables et calmes en été, en portant des températures modérées. Le vent du nord diminue dans certains endroits à l'automne.

L'humidité augmente en Égypte pendant l'hiver, alors qu'elle diminue en été. Mais durant les saisons de printemps et d'automne, l'humidité relative est compromise. La température augmente pendant les mois d'été, variant entre 28°C ou 29°C au nord et 40°C à 42°C au Sud, et les températures chutent en hiver, on constate que la température moyenne en hiver dans la partie médiane de la République arabe d'Égypte est 12°C, tandis que ces moyennes s'élèvent à 15°C au nord de l'Égypte et à 18°C à l'extrême sud.

On sait également que le nombre de jours de pluie – où il tombe 0,1 millimètres de pluie, au moins - dans la ville d'Alexandrie s'élève à environ 40 jours par an, alors qu'il s'élève à moins de cinq jours par an en moyenne au Caire.

Au final, l'Egypte est divisée en cinq zones climatiques : la région nord de la côte, la région du delta, la région des hauteurs du Sinaï, la région du centre de l'Egypte et la région du sud de l'Egypte, (Fig.3). Nous nous concentrerons sur la région du centre de l'Egypte, en raison de la position de la ville du Caire dans cette région.

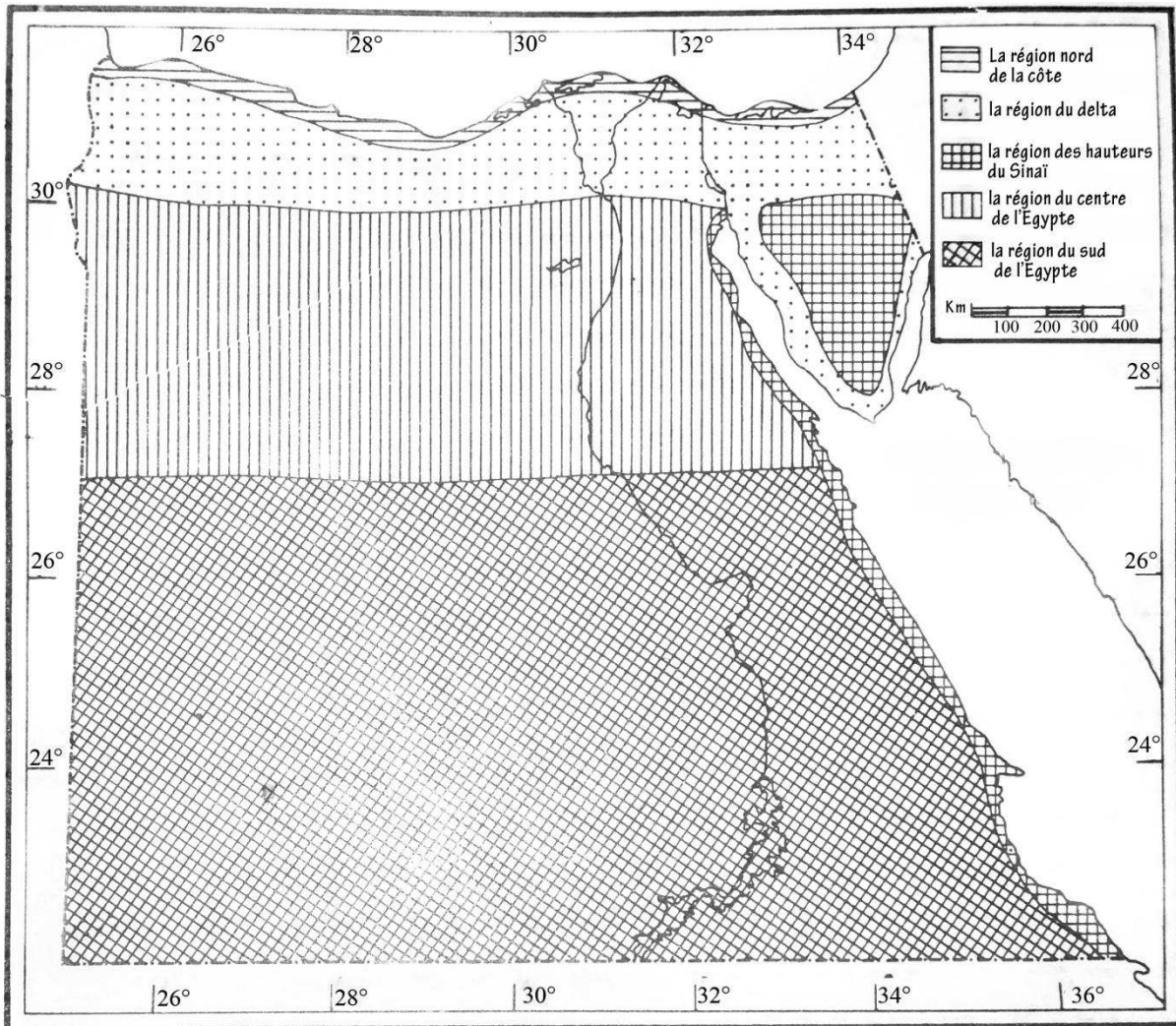


Fig.3 : Les cinq zones climatiques de l'Egypte. Source : Abu-Haggag et al., 2003.

La région du centre de l'Egypte se caractérise par son climat désertique extrême, Il fait chaud en été (moyenne des mois d'été d'environ 30°C) et très froid en hiver, parce que cette région centrale de l'Egypte ne bénéficie pas de l'effet modérateur de la chaleur méditerranéenne, car en raison de son éloignement de sa position par rapport aux latitudes. La pluie tombe en très faibles quantités (pluie annuelle à moins de 10 millimètres) sa durée est courte, et les temps de chute sont très limités (Abu-Haggag et al., 2003).

### 1.6 Structure du mémoire

Le mémoire contient quatre chapitres et annexes. Après l'introduction, le chapitre 1 contient la définition des concepts mobilisés : le microclimat urbain, le confort thermique extérieur dans les climats chauds et secs, l'effet de la géométrie urbaine sur le confort thermique, et l'effet de la végétation dans la ville. Le chapitre 2 passe en revue les différents

aspects du climat, et comprend une brève description des divers facteurs climatiques et des zones climatiques. Le chapitre 3 présente les méthodes de recherche qui ont été utilisées dans l'étude des quartiers et les résultats. Les méthodes de recherche sont l'analyse du site, les entretiens directifs, et l'observation non-participante. Le chapitre 4 présente les résultats, qui confirment la relation entre la durée du séjour des usagers et leurs activités dans un espace urbain, et le confort thermique dans cet espace. En outre, les résultats affirment l'importance de l'ombrage dans le climat estival des régions chaudes et sèches, ainsi que le rôle important de la végétation. Et enfin le chapitre 5 contient des conclusions et des propositions sur la prise en compte du changement climatique et du confort thermique dans le processus de design urbain dans les climats chauds et secs.

## **2 Les concepts liés au traitement thermique des espaces urbains**

Ce chapitre contient une revue de la littérature des thèmes centraux de ce mémoire. Les quatre premières parties traitent respectivement du climat, de ses facteurs, du microclimat urbain et du confort thermique extérieur. La cinquième partie présente l'effet de la géométrie urbaine sur le confort thermique. La sixième partie présente l'effet de la végétation dans la ville. Et en fin, L'effet de la pollution de l'air est présenté.

Des études antérieures sur le microclimat urbain et le confort thermique dans les espaces urbains extérieurs ont été menées dans divers climats : climat froid, climat chaud et humide, subtropical, les climats tempérés, et chauds et secs. La littérature examinée ci-dessous concerne le climat chaud et sec.

### **2.1 Le climat**

« L'importance de l'étude du climat est concentrée sur son effet sur le paysage sur deux niveaux : le premier niveau concernant le comportement des individus en fonction de leur activité et de leur circulation dans un espace ouvert. Le deuxième niveau est l'impact du climat sur d'autres facteurs dans l'espace comme la qualité des sols, le genre des plantes, et les installations existantes et de déterminer les facteurs et les composants et leurs proportions, et la perception visuelle, qui dépend de la quantité de l'éclairage, son orientation et le choix des matériaux. » (El-Gamal, 1995)

Le climat peut être défini comme l'ensemble des caractéristiques propres à chaque région en termes de température, vent, humidité, éclairage et autres facteurs.

Le climat concerne des changements qui se produisent dans des longues périodes de temps comme le mois, contrairement à la météo qui concerne des changements dans le temps plus court, à hauteur de quelques jours.

Au-delà de la définition du climat en termes de délais, la définition du climat implique différentes échelles géographiques.

Les chercheurs ont divisé le climat urbain horizontalement en :

1 – L'échelle du microclimat jusqu'à 1000m: il comprend des détails sur la végétation et les bâtiments.

2 – L'échelle du climat local, jusqu'à plusieurs kilomètres qui concerne notamment les quartiers.

3 – L'échelle méso climat qui s'étend jusqu'à des dizaines de kilomètres de la ville.

4 – L'échelle macroclimat qui concerne les zones régionales.

(Smart & Robinson, 1991; Griffiths, 1983)

## 2.2 Les facteurs climatiques

« La première étape vers l'ajustement de l'environnement est une enquête sur les éléments climatiques à un endroit donné » (Olgyay, 1963)

Pour comprendre le climat et son impact sur le confort de l'homme, il faut comprendre les principaux éléments naturels qui définissent le climat (Bansal & Minke, 1988) :

- (A) Le rayonnement solaire
- (B) La température ambiante
- (C) Le vent
- (D) L'humidité de l'air
- (E) Les précipitations
- (F) L'état du ciel

Chacun de ces éléments a un impact sur le climat et le confort humain dans l'espace et doit donc être examiné séparément afin de tenter de régler chaque problème indépendamment et de parvenir à la meilleure solution pour le site. Leurs caractéristiques et leur pertinence pour la construction dépendent largement de la situation géographique, mais aussi de la topographie, de l'altitude et des propriétés de la surface de la terre et de sa couverture.

### 2.2.1 Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est l'énergie de rayonnement reçu du soleil. C'est l'intensité des rayons du soleil tombant par unité de temps par unité de surface et généralement exprimée en watts par mètre carré (W/m<sup>2</sup>).

La terre reçoit presque toute son énergie thermique du soleil sous forme de rayonnement. Ainsi le soleil est le facteur dominant qui influe sur le climat.

L'importance de la chaleur du soleil comme on l'a vu d'après Olgyay (1963), dépend des régions et des saisons, que ce soit en hiver ou en été.

Dans des conditions climatiques froides, le froid, la demande des radiations solaires augmente, et le site devrait être planifié et conçu pour recevoir autant que possible la quantité requise de radiation, alors que dans des conditions chaudes, le rayonnement solaire absorbé doit être minimisé pour réduire la sensation de chaleur.

Le rayonnement solaire qui arrive sur la terre est divisé en deux fractions: les rayonnements absorbés par la surface et transformés en chaleur, et le rayonnement qui est réfléchi vers le ciel sans aucune influence sur les conditions de l'environnement. Les gens peuvent être gênés par une sensation de chaleur, non seulement en raison du rayonnement solaire direct, mais aussi du rayonnement réfléchi par les surfaces environnantes, horizontales ou verticales (Olgyay, 1963).

Selon Givoni (1998), la surface de la terre obtient la chaleur du rayonnement solaire qui touche le niveau du sol sous la forme d'ondes courtes. Ce processus se déroule au cours de la journée. Tant que la terre perd de la chaleur par rayonnement de grande longueur d'onde vers le ciel dans un processus qui se déroule le jour et la nuit. Il doit être pris en compte, que ces longues-ondes sont le facteur le plus responsable dans le processus de refroidissement de n'importe quel région.

### 2.2.2 La température ambiante

La température de l'air dans une enceinte ombragée (mais bien ventilée) est connue sous le nom de la température ambiante, Elle est généralement exprimée en degrés Celsius (°C). La température sur un site donné dépend du vent ainsi que des facteurs locaux tels que l'ombrage, la présence de plans d'eau, l'exposition au soleil, etc.

La variation de la température de l'air dépend de la variation de la température de la surface de la terre et des surfaces de contact avec l'air, selon la latitude, le moment de l'année,

la quantité de nuages couvrant le ciel dans cette zone, et la topographie (la température diminue plus on monte au-dessus du niveau de la mer).

Lorsque la vitesse du vent est faible, les facteurs locaux influent fortement sur la température de l'air à proximité du sol. Avec des vitesses de vent plus élevées, la température de l'air arrivant est

### **2.2.3 Le vent**

Le vent est le mouvement de l'air issu d'une différence de pression atmosphérique, provoquée par le réchauffement différentiel de la masse de terre et de l'eau sur la surface terrestre, par le rayonnement solaire et la rotation de la terre. (Bansal & Minke, 1988)

Les raisons du développement des vents sont multiples et très complexes. La raison principale, cependant, est la distribution inégale du rayonnement solaire dans le monde entier. Le rayonnement solaire fort provoque aussi des vents thermiques locaux irréguliers. Cela est dû à l'air qui est chauffé près du sol et monte de temps en temps sous la forme de bulles.

L'étude du mouvement des vents dans les zones urbaines ouvertes autour des bâtiments est l'une des études les plus complexes, car on manque de méthodes et d'outils qui prédisent le mouvement du vent sur un site, ainsi que les facteurs variables qui influent sur le mouvement et la direction du vent et de sa vitesse sur une base quotidienne. Ces facteurs incluent le changement des distributions saisonnières de pression, la rotation de la terre sur elle-même, et la variation quotidienne de la température du froid au chaud, et entre la terre et l'eau.

### **2.2.4 L'humidité et les précipitations**

L'humidité de l'air, soit la quantité d'humidité présente dans l'air, est généralement exprimée en termes d' «humidité relative». L'humidité relative est définie comme le rapport entre la masse de vapeur d'eau dans un certain volume d'air humide à une température donnée, et la masse de la vapeur d'eau dans le même volume d'air saturé à la même température, normalement exprimée en pourcentage.

L'humidité élevée accompagnée d'une température ambiante élevée provoque beaucoup d'inconfort.

Les précipitations comprennent l'eau sous toutes ses formes : la pluie, la neige, la grêle ou la rosée. Elle est généralement mesurée en millimètres (mm) à l'aide d'un pluviomètre.

L'Egypte est située dans le périmètre de la région aride où les précipitations sont inférieures à 500 mm par an (Abu-Haggag et al., 1994).

### **2.2.5 L'état du ciel**

L'état du ciel se rapporte généralement à la mesure de la couverture nuageuse dans le ciel ou la durée d'ensoleillement. Dans des conditions de ciel clair, l'intensité du rayonnement solaire augmente, alors qu'elle diminue dans la mousson en raison de la couverture nuageuse. Les pertes re-rayonnement des surfaces extérieures des bâtiments augmentent en faisant face un ciel clair qu'un ciel couvert. La mesure de la couverture nuageuse est exprimée en octas [3].

## **2.3 Le microclimat**

La microclimatologie traite spatialement de la couche d'air située au-dessus de la surface terrestre dans laquelle les effets de la surface (frictions, chauffage, refroidissement) se font ressentir directement sur une échelle de temps d'environ une heure, et dans laquelle d'importants flux de mouvement, de chaleur ou de matière sont générés par des mouvements turbulents (Garrat, 1992). Cette couche peut s'étendre jusqu'à 2 ou 3 km au-dessus de la surface et elle est connue comme la couche limite atmosphérique. Au-dessus de cette couche,



l'air est essentiellement influencée par les processus macro-échelle et réagit lentement aux changements à proximité du sol. Les zones urbaines telles que les rues et les places sont des exemples typiques de modifications climatiques locales profondes (Oke, 1987).

Al Hemaïdi (2001) a étudié le tissu urbain à Riyad, en Arabie saoudite à partir de perspectives culturelles et climatiques, dans le cadre des codes d'urbanisme actuels qui ont été importés dans le pays. L'auteur a indiqué que ces codes ne concernent ni l'environnement bâti traditionnel et la culture, ni le microclimat local dans la ville de Riyad. L'étude s'est concentrée sur les aspects négatifs des codes urbains importés qui ont clairement montré les problèmes climatiques et culturels de la ville chaude et sèche de Riyad. Afin d'établir les futurs codes d'urbanisme en harmonie avec le climat et la culture, l'auteur affirmait que l'orientation vers l'intérieur des habitations, des cours, et les hauts parapets sont des exemples de principes de planification dérivés de la culture. Les rues étroites, les bâtiments sans revers, les matériaux de construction, les textures et les couleurs sont aussi des lignes directrices qui répondent au climat local.

Baker et al. (2002) ont examiné les considérations relatives à l'atténuation de l'îlot de chaleur urbain dans le climat chaud et sec de Phoenix, en Arizona. L'étude a formulé notamment des recommandations visant à encourager la plantation d'arbres matures. Mais ces recommandations ne sont pas faciles à réaliser dans d'autres climats chauds et secs à cause du manque d'eau pour l'irrigation.

Bourbia et Awbi (2004) ont comparé les différences de températures entre un quartier traditionnel et un quartier contemporain dans la ville du désert chaud et sec d'El-Oued, en Algérie. Pour la période estivale, ils ont constaté que les rues dans le quartier traditionnel (où le rapport hauteur largeur des bâtiments (H/L), est de 1.5-2) sont légèrement plus chaudes la nuit, et 5-6 ° C plus froides le jour que les rues du quartier contemporain (où le rapport hauteur largeur des bâtiments est 0,5-0,6).

De même, l'importance de l'ombre pour la température de l'air a été étudiée par Nichol (1996) à Singapour. Elle a trouvé des différences significatives entre les endroits ombragés et ouverts où le sol est ombragé, soit par des immeubles de grande hauteur, soit par des arbres d'ombrage. La température de l'air pendant la journée était de 1,5 à 2°C inférieure à celle d'un terrain non ombragé en béton ou en herbe.

Le microclimat d'un site est affecté par le relief, la végétation, les plans d'eau, et la largeur et l'orientation de la rue (Markus & Morris, 1980 ; Nayak et al, 1999).

### **2.3.1 Le relief**

Le relief représente la topographie d'un site. Il peut être plat, vallonné ou en pente. Les reliefs majeurs qui affectent un site sont les montagnes, les vallées et les plaines. Il est important de comprendre le relief du site car la température varie avec l'altitude [3].

### **2.3.2 Les plans d'eau**

Les plans d'eau peuvent être sous la forme de mers, de lacs, de rivières, d'étangs, ou de fontaines. Puisque la chaleur latente de la vaporisation de l'eau est relativement élevée, il absorbe une grande quantité de chaleur à partir de l'air ambiant pour l'évaporation, qui soulève également le niveau d'humidité. Ceci est particulièrement utile dans les climats chauds et secs [3].

### **2.3.3 La végétation**

La végétation joue un rôle important dans l'évolution du climat de la ville, elle est également efficace dans le contrôle du microclimat. Les plantes, les arbustes et les arbres refroidissent l'environnement quand ils absorbent le rayonnement pour la photosynthèse dans

les variations saisonnières et diurnes (Fig.4). Ils sont utiles aussi pour l'ombrage des bâtiments et du sol pour réduire le gain de chaleur et de rayonnement réfléchi. En outre, elle contribue à élever le niveau d'humidité. La végétation crée également différents modèles de flux d'air en provoquant des différences mineures de la pression, et peut donc être utilisée pour diriger ou dévier l'avantage du vent dominant. [3]

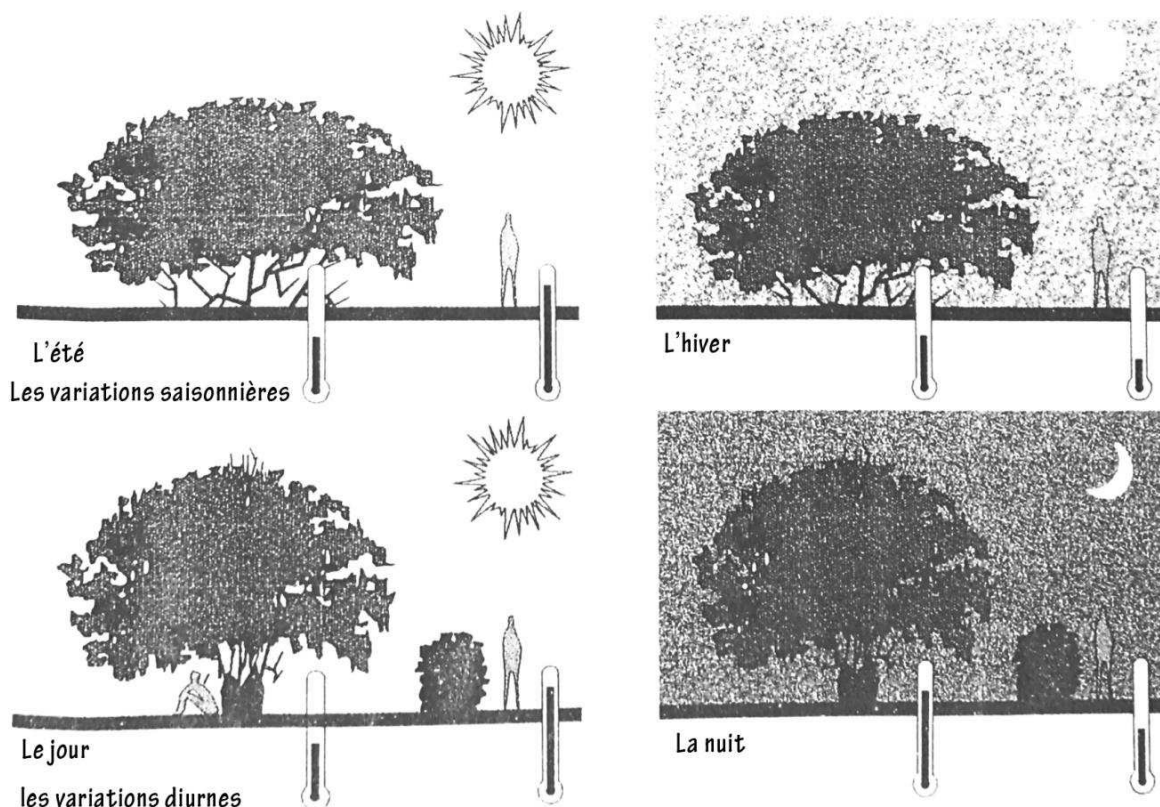


Fig.4. le contrôle de la température par la végétation dans les variations saisonnières et diurnes  
Source : Hassan, 2006.

Un certain nombre d'études sur les effets climatiques de la végétation urbaine est disponible et fournit des informations utiles pour les paysagistes et les urbanistes. On va remarquer dans les paragraphes suivants que la végétation est un facteur de modification du climat local, et que l'utilisation de la végétation pour atténuer la chaleur urbaine et améliorer le microclimat, a été largement soulignée. A côté du rôle climatique important de la végétation urbaine, il y a aussi d'autres avantages, par exemple, acoustiques, de réduction de la pollution, esthétique, sociaux, etc.

Le régime des vents locaux sont créés lorsque l'air chaud sur une zone bâtie dense s'élève et est remplacé par de l'air froid à partir de zones de végétation. Avoir beaucoup de petits espaces ouverts répartis uniformément va produire un effet de refroidissement supérieur à quelques grands parcs. Des études suggèrent que pour une ville avec une population d'environ un million, 10-20% de la superficie de la ville devrait être couverte par la végétation pour réduire efficacement les températures locales. Comme la couverture végétale dans la ville augmente de 20 à 50%, la température minimale de l'air diminue de 3-4 ° C, et la température maximale diminue d'environ 5 ° C. (Brown & DeKay, 2001). Figure 5 illustre la chute de température en fonction du couvert arboré dans la ville de Montréal. Des résultats similaires ont été rapportés dans une autre étude menée à Sacramento, Phoenix au Etats-Unis.

McPherson et Simpson (1995) ont évalué les effets de la végétation numériquement et ils ont constaté que:

Pour un seul arbre, l'effet d'ombrage est facilement estimé, tandis que le refroidissement par évapotranspiration est plus difficile à évaluer. C'est parce que l'air frais généré se diffuse rapidement.

Ils ont aussi trouvé que les effets de l'évapotranspiration et la réduction de la vitesse du vent peuvent être facilement évalués pour les arbres agrégés. Par exemple, l'effet de refroidissement dans un quartier résidentiel obtenu avec beaucoup d'arbres peut éprouver températures de l'air inférieures et une réduction de 50% de la vitesse du vent.

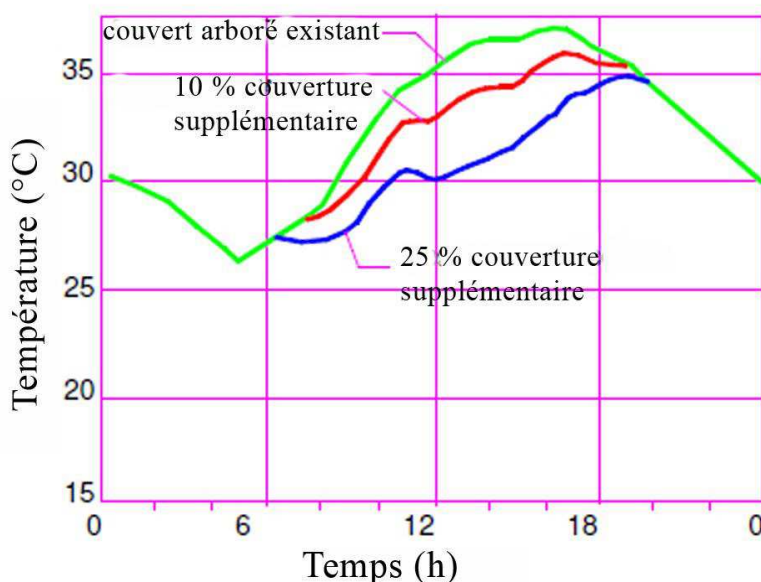


Fig.5 : Refroidissement dû au couvert arboré. Source : Brown & DeKay, 2001.

Au sein d'une structure urbaine, l'efficacité climatique de la végétation dépend du rapport de la zone verte et de la zone bâtie, ainsi que de la taille, de l'emplacement et des caractéristiques de la plante (espèce, densité, forme, taille, volume, âge, etc). Les avantages de la végétation augmentent avec ses proportions (Saito et al., 1990, Avissar, 1996). Par conséquent, il a été suggéré que plusieurs petites zones avec des intervalles suffisants sont plus efficace en terme de refroidissement qu'un grand espace vert (Honjo & Takakura, 1990, McPherson, 1992, McPherson et al., 1994a).

Les avantages climatiques de la végétation urbaine sont évalués soit en fonction de leurs effets sur les facteurs météorologiques, soit par leurs économies d'énergie induites dans les bâtiments en raison de moins de refroidissement et / ou des charges de chauffage. La végétation possède trois propriétés principales qui influent sur le climat : l'ombrage, l'humidification (évapotranspiration) et l'effet coupe-vent. (McPherson et al., 1994b).

McPherson (1994) et McPherson et al. (1994a) ont suggéré que dans les milieux densément construits, les arbres peuvent être situés dans les places, les zones de stationnement, les carrefours ou en rangées le long des rues (arbres d'alignement).

McPherson et Simpson (1995) ont évalué les propriétés de divers arbres sur les économies d'énergie. L'efficacité de l'arbre se trouve être dépendante de l'orientation. La forme et le volume de l'arbre peuvent être plus importants que sa densité par rapport à l'ombrage parce que la variabilité saisonnière du diamètre de la couronne est plus grande (4 à 16 m) que de sa densité (60 à 90%). Ils ont donc conclu que de grands arbres font de l'ombre plus de surface que des arbres étroits et denses, et que deux arbres sont environ cinq fois plus efficaces qu'un arbre.

Pour les climats chauds, la meilleure utilisation de la végétation devrait s'appuyer sur de sa propriété d'ombrage pour atténuer le rayonnement solaire intense en été, comme la surchauffe, qui est un résultat principal de la conservation de chaleur par les surfaces

ensoleillées. L'évapotranspiration est souvent faible en raison du manque d'eau dans le sol, à moins que l'irrigation soit fournie. Une végétation moins dense bien mélangée au sein de la structure urbaine qui produit autant que possible de l'ombre doit être préférée dans les climats chauds et secs (McPherson et al., 1994a).

Ayman Hassaan (2011) a enquêté sur le confort thermique dans les parcs urbains dans une région aride. L'étude a illustré les perceptions thermiques des visiteurs dans un parc urbain au Caire en neuf zones différentes représentant les différentes zones du paysage. Les résultats de cette étude contribuent à la pratique pour assurer le confort thermique approprié dans les parcs urbains pour attirer les visiteurs en été et en hiver. De grands plans d'eau (par exemple, les lacs et les étangs) sont souhaités parce que non seulement ils fonctionnent comme des réservoirs d'eau pour l'irrigation offrent des caractéristiques esthétiques pour les visiteurs, mais aussi parce qu'ils maintiennent le confort thermique dans les mois chauds et froids.

Fahmy (2010) a étudié la conception de la forme urbaine interactive au Caire et il a suggéré de contrôler l'échelle du climat local pour améliorer le confort extérieur, ainsi que de faire des économies d'énergie par la combinaison spécifique des outils de conception passive urbains (non seulement dans la conception du tissu urbain, mais aussi dans l'usage de la végétation. Il a noté aussi que l'effet de refroidissement de la végétation dans les climats chauds et secs vient essentiellement de l'évaporation, alors que dans les climats chauds et humides de l'effet d'ombrage est plus importante.

#### **2.3.4 La largeur de la rue et son orientation**

La quantité de rayonnement direct reçu par un bâtiment et une rue dans une zone urbaine, est déterminée par la largeur de la rue et de son orientation. Les bâtiments situés sur un côté de la rue jettent généralement une ombre sur la rue, et sur le bâtiment d'en face, en bloquant les rayons du soleil. Ainsi, la largeur de la route peut être relativement étroite ou large en fonction de si le rayonnement solaire est souhaitable ou pas (Gupta, 1984).

La conception des espaces urbains confortables doit prendre en compte l'interdépendance entre la géométrie urbaine et le climat pour le traduire en directives faciles à comprendre pour le concepteur, de sorte que la dimension climatique peut être incluse dans le processus de conception, de concert avec tous les autres impératifs de conception, qu'ils soient économiques, fonctionnels, socioculturels ou esthétiques.

Erik Johansson (2006) a constaté que le rapport hauteur-largeur et l'orientation de la rue se sont révélés être les éléments les plus déterminants qui affectent le microclimat de la rue en milieu urbain. Il a également constaté que les matériaux de construction des surfaces des bâtiments ont également été trouvés à influencer sur le taux d'accumulation de chaleur diurne de la rue ainsi que la vitesse de refroidissement nocturne.

Paul Gut (1993) a mentionné dans son livre « Bâtiment sensible du climat » que l'effet de la réflectivité et la masse thermique des surfaces se sont avérés étonnamment faibles. Ce n'est pas en accord avec plusieurs lignes directrices proposant couleurs claires de surfaces pour maintenir la température de surface faible pendant la saison chaude. Même si les matériaux hautement réfléchissants sont susceptibles d'avoir un effet positif sur le confort thermique, il peut être difficile de maintenir les couleurs claires en raison de la poussière dans les climats chauds et secs. En outre, des couleurs trop lumineuses peuvent causer des problèmes d'éblouissement.

### **2.4 Le confort thermique**

Le confort thermique peut être défini comme « l'état d'esprit qui se déclare satisfait de l'environnement thermique » (ASHRAE, 1981). Le confort urbain étant le fait d'atteindre cet état de satisfaction pour les piétons au sein de l'environnement extérieur (Fahmy, 2010).

Ali-Toudert et Mayer (2006) ont mené une étude de simulation sur les effets du rapport hauteur sur largeur (H/L) et de l'orientation de la rue en milieu urbain sur le confort thermique en plein air dans le climat chaud et sec de Ghar-daia en Algérie. Ils ont conclu que le confort thermique est très difficile à atteindre passivement dans des climats extrêmement chauds et secs, mais l'amélioration est possible. La température de l'air diminue légèrement lorsque le rapport H/L augmente, mais les flux de rayonnement exprimés par la température radiante moyenne sont bien plus décisifs.

La perception thermique et la présence dans une place publique dans une région chaude et humide a été étudié par Lin (2009) en utilisant des mesures de terrain, et un sondage pour étudier la sensation thermique. Les résultats ont montré un effet psychologique considérable ainsi que des facteurs de comportement qui jouent des rôles importants pour atteindre l'équilibre énergétique de l'homme dans le confort thermique extérieur.

Kruger et al. (2011) ont signalé l'importance du *Sky View Factor* (SVF) dans le climat urbain. Le SVF est un indicateur de la quantité de ciel visible à un moment donné. La valeur des gammes SVF va de 0 à 1, avec la valeur 1 représentant une zone sans aucun obstacle entre la position sélectionnée et le ciel.

Djenane et al. (2008) ont étudié le comportement microclimatique des formes urbaines dans la ville chaude et sèche de Béni-Isguen en Algérie. Ils ont également montré que le comportement thermique au niveau de la rue est liée à la fois à l'exposition solaire et à l'effet de la vitesse du vent.

Al Jawabra et Nikolopoulou (2009) ont étudié le confort thermique extérieur en fonction du milieu socio-économique et des différences culturelles dans le climat chaud et sec de Marrakech en Afrique du Nord et de Phoenix en Amérique du Nord. Les auteurs ont fait valoir que, particulièrement en été, le nombre de personnes et d'activités extérieur sont influencées par le rayonnement solaire. Et les gens de différents milieux sociaux dans les climats chauds et arides ont des approches différentes à l'utilisation des espaces extérieurs. L'étude a également conclu que la conception est un outil important qui peut améliorer significativement les conditions microclimatiques dans le contexte climatique spécifique.

Shashua-Bar et al. (2011) ont étudié l'influence des arbres et de l'herbe sur le stress thermique humaine dans un climat aride. L'étude a révélé que, avec l'ombrage, soit par des arbres de l'ombrage ou des mailles, l'inconfort a été réduit lorsque le soleil a été placé au-dessus d'une allée. Lorsqu'ils sont combinés avec de l'herbe, les deux systèmes d'ombrage ont donné des conditions confortables à toutes les heures de la journée. L'étude fait valoir que l'effet des arbres a été plus marqué que celui de la maille.

Swaid et al. (1993) ont été parmi les premiers chercheurs qui ont enquêté le confort thermique extérieur et sa relation à la conception des rues. Ils ont considéré les rues en fonction du rapport d'aspect H/L de 0,5 et 1, orientée nord-sud et est-ouest, et situés dans le climat méditerranéen à Tel-Aviv. Les auteurs ont constaté que les conditions de confort sont plus sensibles au rapport H/L qu'à l'orientation de la rue. Le confort est meilleur pour H/L = 0,5 que pour 1. L'orientation nord-sud des rues est toujours plus confortable indépendamment des rapports d'aspect des rues pendant toute la journée.

Coronel et Alvarez (2001) ont étudié les propriétés thermiques en été des espaces urbains confinés à Santa Cruz en Espagne. Ils ont constaté que la limitation et la réduction des dimensions d'une rue sont très importantes dans le comportement thermique final de ces espaces.

## 2.5 L'effet de la pollution de l'air

La chaleur libérée par la combustion de combustibles et les activités humaines, s'ajoute à la température ambiante de la ville. La pollution atmosphérique réduit le rayonnement de grande longueur d'onde vers le ciel ce qui rend les nuits sont plus chaudes. Rayonnement

solaire global pendant la journée est également réduite due à l'augmentation de la diffusion et de l'absorption par l'air pollué. La pollution affecte également la visibilité, les précipitations et la couverture nuageuse. [3]

Ce chapitre fait état de la littérature sur le microclimat urbain et le confort thermique extérieure dans les climats chauds et secs. Les conclusions principales de cette revue sont qu'il n'y a pas beaucoup d'études dans les régions chaudes et sèches sur le microclimat urbain et le confort thermique extérieur. Ainsi, il est nécessaire de mener d'autres recherches, qui étudient la relation entre le design urbain et le confort thermique. L'aménagement urbain et le paysage urbain ont un impact considérable sur le microclimat urbain dans le climat chaud et sec. Or, Le climat est rarement pris en compte dans la planification et la conception urbaines, ce qui entraîne une mauvaise adaptation des codes et des règlements aux conditions climatiques locales.

On a aussi vu que stress thermique diminue avec l'augmentation des rapports H/L en raison de l'augmentation de l'ombre, au moins pour un rapport H/L au-dessus d'environ 1, et que le stress thermique est plus faible pour les rues orientées nord-sud que les rues est-ouest. Le rapport de H / L et l'orientation solaire sont des éléments majeurs d'un microclimat d'une rue, mais les détails de la conception de la rue sont essentiels. Il s'agit notamment de prêter attention à l'utilisation de galeries, de la végétation, de façades texturées et de différentes hauteurs de construction pour un meilleur contrôle solaire.

En outre, l'avantage principal des arbres urbains comme élément de design bioclimatique réside dans la production de l'ombre, alors que son principal inconvénient est le blocage du vent.

Les grandes plans d'eau comme les lacs et les étangs, sont conseillés, car ils fonctionnent comme des réservoirs d'eau pour l'irrigation et parce qu'ils maintiennent le confort thermique dans les mois chauds et froids.

Des traitements paysagers contribuent clairement à améliorer le confort, et réduire le stress thermique en milieu de journée fournie comme les arbres d'ombrage et l'herbe. La végétation peut apporter une contribution substantielle au confort thermique humain, même si son effet sur la température de l'air est négligeable (Shashua-Bar et al., 2009).

### **3 L'analyse de la performance thermique des nouveaux quartiers du Grand Caire**

L'objectif principal de cette étude est de comprendre comment les caractéristiques physiques des traits du paysage présenté au chapitre précédent influencent le microclimat et le confort thermique dans les zones urbaines au climat chaud et sec. L'étude examine également comment les questions liées au climat sont prises en compte dans la conception urbaine.

Afin d'apporter des réponses aux questions présentées dans l'introduction, il était nécessaire de centrer notre recherche sur une zone d'étude permettant d'analyser ces problèmes et de faire des recommandations.

#### **3.1 Des nouveaux quartiers du Grand Caire**

Les nouvelles villes du Grand Caire ont été développées dans le désert de l'est et de l'ouest qui est considéré comme une région aride. Ces nouvelles villes - en zone aride - ont des particularités liées à leur climat et la forme du sol. Là où il y a une durée moyenne élevée d'ensoleillement, de faibles précipitations, un niveau élevé du rayonnement solaire, une

température trop élevée, une rareté de l'eau et une insuffisance de terres propices à l'agriculture. (El-Zamly, 1994)

Les deux quartiers choisis pour cette étude sont considérés comme des nouvelles villes du Grand Caire. Nous les avons choisis pour deux raisons. L'objectif était de sélectionner un quartier public et un ensemble résidentiel fermé au sein de la même ville d'un pays en développement. Nous avons choisi la ville du Caire en fonction de sa population. Les très grandes villes telles que les méga-villes peuvent avoir des niveaux élevés de chaleur anthropique qui influencent le climat urbain. Notre choix a aussi été orienté par notre présence dans la ville au cours de notre stage, ce qui a facilité la mise en œuvre de l'étude.

Les deux quartiers sont Héliopolis (Misr Al-Gadida) et un ensemble résidentiel fermé (El Rehab). L'intention n'a pas été de comparer les deux quartiers, mais plutôt de représenter deux niveaux de planification urbaine basés sur deux budgets différents, et deux types de populations, densités et activités.

Les deux quartiers sont situés dans une région aride chaude, leur planification urbaine et les éléments architecturaux sont de type occidental (une combinaison de la forme urbaine entre les types compacts, linéaires et points non attachés, et l'architecture néoclassique européenne), et tous les deux sont considérés comme des banlieues du Caire.

Dans cette étude, le microclimat urbain et le confort thermique extérieur ont été étudiés en détail dans deux places urbaines : la place *Triomphe*, dans le quartier d'Héliopolis (à titre d'exemple d'une place publique typique au Caire) ; et la Place *Food Court*, dans le quartier d'El Rehab (à titre d'exemple d'une place collective privée typique dans une résidence fermée au Caire).

### **3.1.1 Héliopolis : développement nord-est du Caire**

Héliopolis a été construit au début du 20<sup>ème</sup> siècle à la suite de la formation des chemins de fer électriques du Caire et de l'oasis Héliopolis Société. L'avantage principal de ce chemin de fer a été la construction et le développement des logements de la banlieue au nord-est du Caire métropolitain.

La morphologie urbaine d'Héliopolis est issue de la politique de planification de l'impérialisme, son tissu de logements étant mélangé entre cours et longues tours d'habitation qui ont été construites comme une extension du noyau d'Héliopolis dans la période de planification socialiste arabe (1952-1970). Héliopolis a d'abord été conçu comme un développement nord-est du Caire, essentiellement résidentiel pour attirer et renouveler la population à l'époque. [4]

### **3.1.2 La place Triomphe, une place publique typique du Caire**

La place Triomphe est située au cœur du quartier d'Héliopolis, c'est un lieu vital entouré par des bâtiments résidentiels et commerciaux, et à proximité de quelques écoles et établissements. Quelques photos de la zone sont visibles sur la figure 6. La place a une forme circulaire, on peut la diviser en plusieurs parties: les rues enrobé pour les véhicules, les trottoirs pour les piétons.

La zone circulaire au milieu plantée de l'herbe contient des arbres, des fresques, des colonnes romaines et une fontaine ne fonctionne pas, et une voie du tramway. La zone d'étude contient arbres, à la fois sur les trottoirs ou dans la zone herbée, qui ajoutent un peu d'ombrage qui en discutera plus tard. La zone d'étude est marquée par une ligne pointillée rouge sur la figure 7.



Fig.6: Photos de la place Triomphe. Source: El Hozayen, 2013

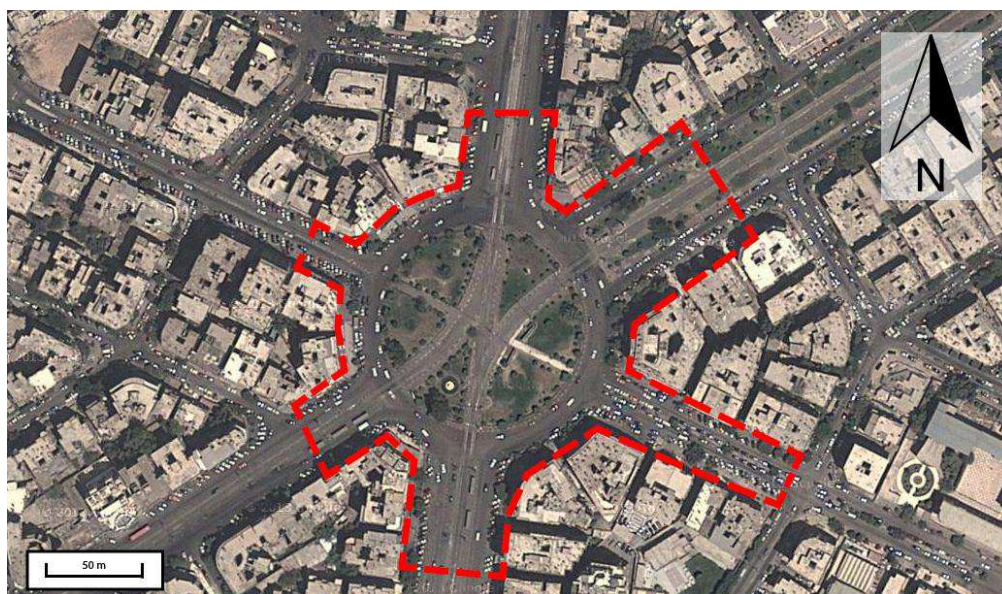


Fig.7: La Place Triomphe. Source: Google maps. Modifié par l'auteur

### 3.1.3 El Rehab, un quartier résidentiel fermé

La ville de El Rehab est une énorme communauté résidentielle fermée au Nouveau Caire, sur une superficie de 10 millions m<sup>2</sup>, El Rehab a été développé et construit par un promoteur immobilier en Egypte. Sa mise en œuvre a commencé en Octobre 1997.

« Les ensembles résidentiels fermés ont connu un développement à tous les niveaux locaux, arabes et internationaux. L'expansion de ces ensembles résidentiels en Egypte a commencé au début des années 1980, le long des plages de la côte Nord-Ouest. Depuis le milieu des années 1990, un développement similaire a été observé autour du Caire. Les ensembles résidentiels fermés en Egypte sont devenus une tendance de l'évolution urbaine dans les nouvelles villes. Les recherches ont documenté plus de 450 ensembles résidentiels fermés jusqu'en 2010, qui sont situés dans différentes parties des nouvelles villes du Grand Caire »\* (Ghonimi Et Al., 2011).

La caractéristique commune des logements au Nouveau Caire est la villa familiale (où la villa ou le bâtiment appartient à une seule famille). Le nouveau Caire a été conçu comme une série

---

(\*) « Gated Communities witnessed a wide spread in all local, Arabia and international levels. The expansion of Gated Communities in Egypt began in the early 1980s along the beaches of the Northwest coast. Since the mid-1990s a similar development has been observed around Cairo. Gated Communities in Egypt become a mass trend in new towns urban developments, The research documented more than 450 Gated Communities until 2010, which are located in different parts of GCR new towns » (Ghonimi Et Al., 2011).



de nouvelles villes autour du Caire censées attirer la population en dehors des zones métropolitaines.

### 3.1.4 La Place Food Court, une place collective privée

Le terrain d'étude, situé au centre de El Rehab, est considéré comme la plus importante et la plus grande zone vitale urbaine, entourée par de nombreux restaurants et cafés, parkings, des espaces verts (Fig.8). Le site est caractérisé par son lac artificiel -qu'on ne le voit pas en général dans les autres espaces publics-, qui s'étend le long des restaurants, le site aussi est entouré par des arbres et des palmiers. La zone d'étude est marquée par une ligne pointillée rouge dans la figure 9.

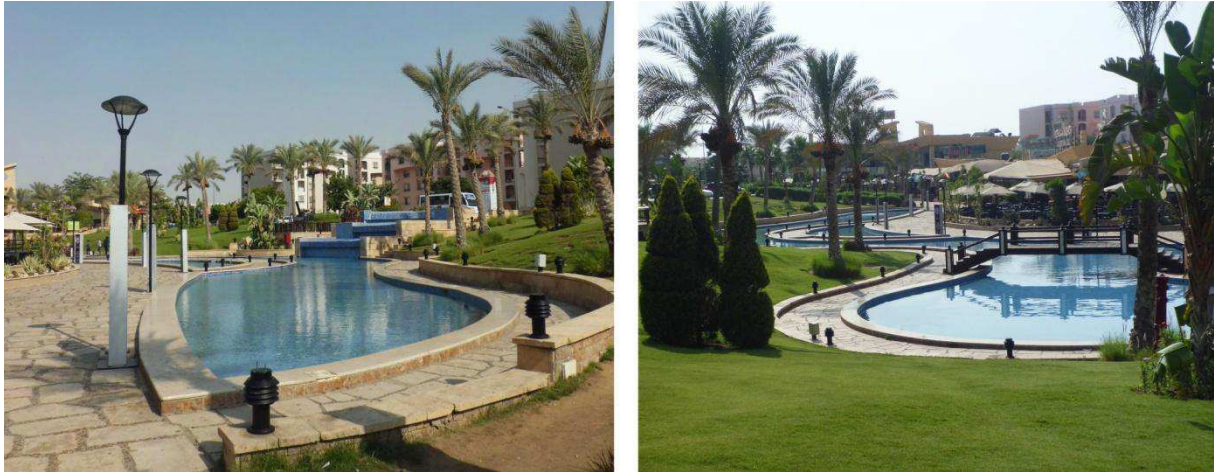


Fig.8: Photos de la place de Food court à El Rehab. Source: El Hozayen, 2013



Fig.9: La Place Food Court. Source: Google maps. Modifié par l'auteur

## 3.2 Une méthode d'analyse multidisciplinaire

Cette étude est de nature multidisciplinaire, elle emprunte aux domaines de l'urbanisme, du paysage, du design urbain, de l'architecture, de la climatologie urbaine et de la psychologie de l'environnement. Son objectif est de développer une meilleure

compréhension de la relation entre le microclimat et le design urbain dans la ville chaude et sèche du Caire. Pour atteindre cet objectif, un ensemble de méthodes ont été appliquées :

- Des entretiens directifs, réalisés afin d'étudier la sensation thermique réelle des gens et comment ils perçoivent l'environnement thermique dans des lieux différents.
- Des observations et une analyse qualitative des détails de design urbain et de la performance thermique

Les entretiens et les observations ont été réalisés les 5, 6, 12 et 13 juillet 2013. En juillet, la température maximale quotidienne moyenne est de 34°C, comme indiqué sur la Figure 9. L'étude a été réalisée en juillet car il s'agit du mois le plus chaud en été, l'été étant la saison problématique.

Les enquêtes sur le terrain se sont déroulées entre 11h et 15h. A ce moment de la journée, à la fois la température ambiante (Ta) et le rayonnement solaire atteignent leur maximum de la journée (Fig.10). Les enquêtes de terrain ont été effectuées les jours sans précipitations. Les entretiens structurés et les observations discrètes du comportement naturel ont été réalisés à Héliopolis, puis à El Rehab en deux jours consécutifs du week-end, puis ils ont été répétés le week-end suivant.

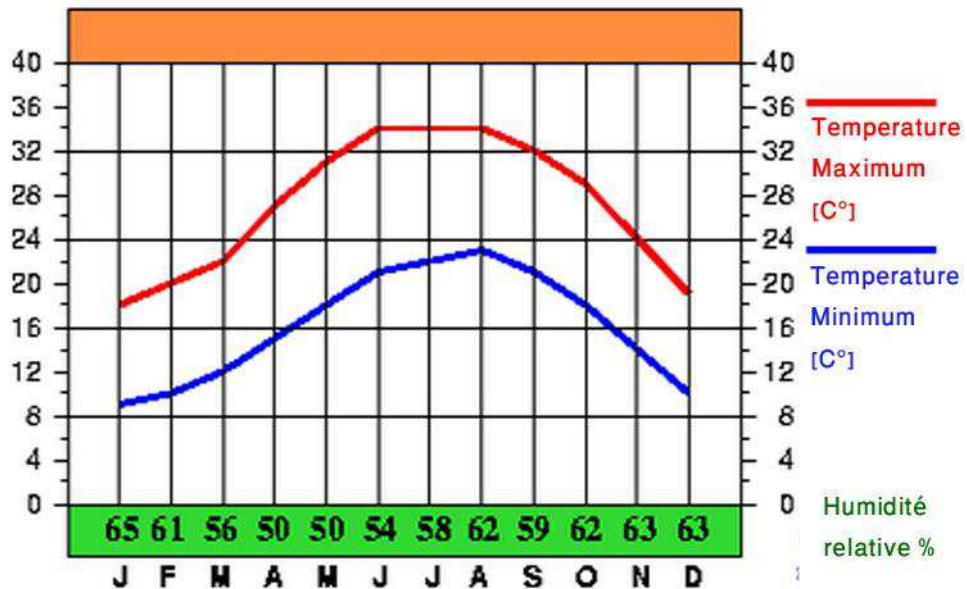


Fig.10 : La température maximum et minimum au Caire. Source : <http://www.weatheronline.co.uk>

### 3.2.1 Les entretiens directifs

La perception thermique de la population, les préférences climatiques et esthétiques, et l'état émotionnel ont été étudiés à travers des entretiens directifs. L'enquête a porté sur un échantillon aléatoire dans les deux endroits. Les personnes ont été interrogées par l'auteur. L'entretien a été réalisé en langue arabe (égyptien) et a couvert des questions sur (a) l'âge, le vêtement, la vie ou le travail dans la ville ; (b) la(les) raison(s) d'être dans les places ; (c) le temps passé à l'extérieur dans ces lieux ; et (d) l'évaluation des qualités du microclimat du lieu et l'état émotionnel (cf. annexe D). Et enfin une brève description de l'emplacement de l'entretien pour chaque personne interrogée a été faite.

Les sujets ont été invités à signaler leur préférence climatique sur une échelle de 5 degrés et leur perception thermique sur une échelle de 7 points : froid, frais, légèrement frais, confortable, un peu chaud, chaud et très chaud. Chaque interview a duré en moyenne 8 min. Environ 40 entretiens ont été menés dans chaque terrain d'étude. En outre, au delà du questionnaire de l'enquête, des petites conversations informelles ont eu lieu.

### 3.2.2 L'analyse du site

L'analyse du site a porté sur les proportions de l'espace, son orientation, sa relation à l'environnement, les hauteurs des bâtiments, les matériaux, la finition, la végétation, les zones d'ombre, les distances de marche, les aires de repos et d'autres détails.

### 3.2.3 Les observations non participantes des comportements

Les usages et les activités des usagers ont été examinés dans les zones d'étude par observation non participante pendant 1 heure tous les jours de l'étude. Des activités diverses des usagers ont été notées : assis et debout, marchant sous le soleil, discutant, parlant au téléphone, les gens qui fument, mangent ou boivent, et les personnes ne faisant que traverser les lieux.

## 4 Résultats

Les résultats de la collecte de données (entretiens et observations) pendant 4 jours en juillet 2013 sont présentés ci-dessous.

### 4.1 Les entretiens directs

Un total de 78 personnes ont été interviewées (41 à Héliopolis et 37 à El Rehab). La majorité (86,6%) des personnes interrogées avait entre 21 et 65 ans, dont 42,4% étaient des femmes et 57,6% étaient des hommes.

#### 4.1.1 Les activités des usagers et leur sensation thermique

Les personnes interrogées ont été invitées à rendre compte de leurs perceptions thermiques, selon une échelle de 7 points par rapport à leur localisation dans le site. A Héliopolis, environ 20% des personnes interrogées ont estimé que les conditions thermiques dans la place étaient confortables ; 58% ont estimé que les conditions étaient un peu chaudes ou chaudes. Et 22% estiment qu'elles étaient très chaudes. A El-Rehab environ 24% des personnes interrogées ont estimé que les conditions thermiques dans la place étaient confortables ; 60% ont senti que le climat était un peu chaud ou chaud. Et 16% estiment qu'il faisait très chaud comme présenté en Fig.11.

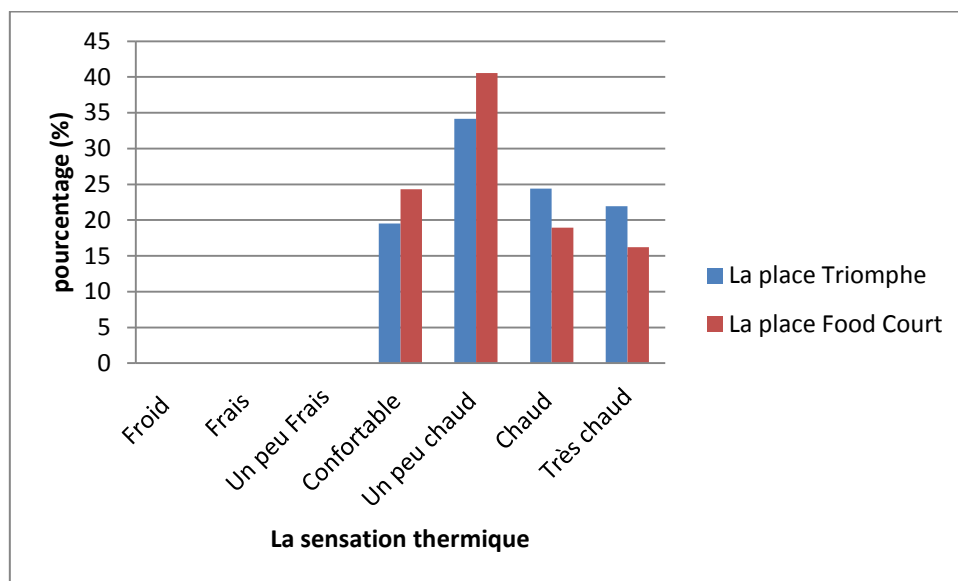


Fig.11 : Le pourcentage de la distribution de la sensation thermique dans les deux places.

Les résultats ont montré que 68% des personnes interrogées habitent dans le quartier d'Héliopolis, 20% travaillaient dans le quartier, et 12% n'habitent et ne travaillaient pas dans le quartier. Pour El-Rehab, 78% des personnes interrogées habitent dans le quartier, 14% travaillaient dans le quartier, et 8% ni habitent ni travaillent dans le quartier comme représenté sur la figure 12.

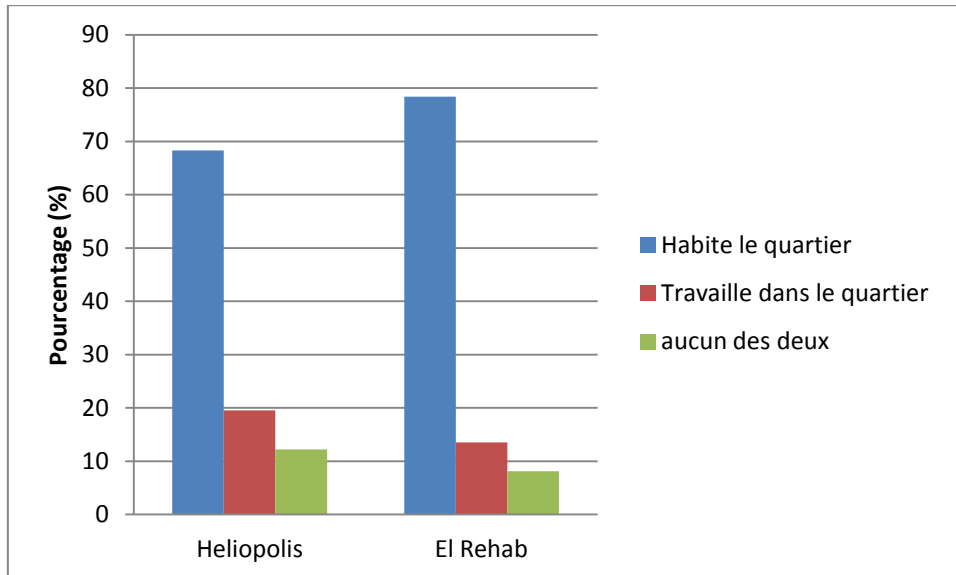


Fig.12 : Le pourcentage de la distribution de l'habitation ou le travail au quartier

Les résultats présentent aussi le temps passé dans les deux endroits. La plupart des personnes ont passé 5 minutes ou moins dans les deux endroits. Cependant, plus de gens ont passé plus de 10 minutes dans la place Food Court (30%) que dans la place Triomphe (7%), comme illustré à la figure 13.

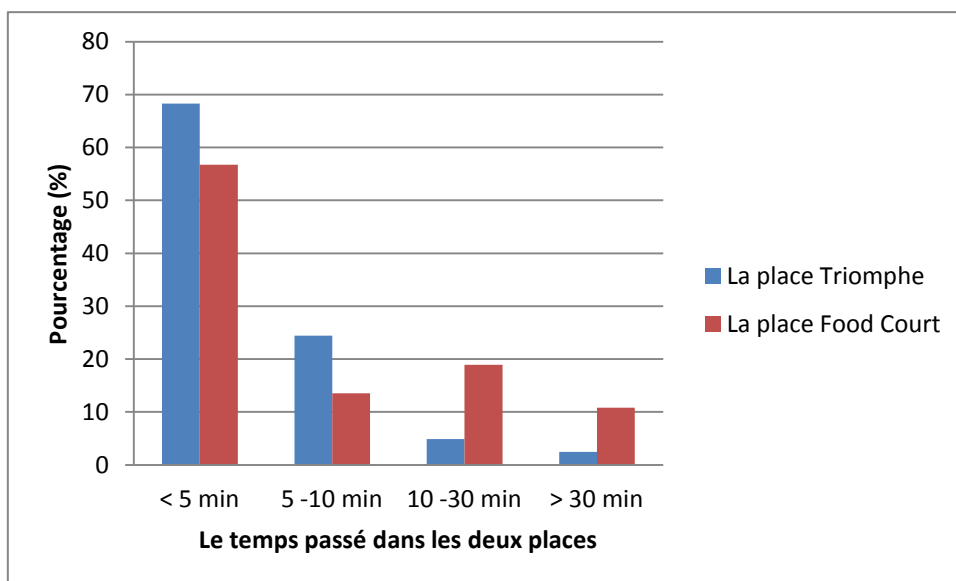


Fig.13 : Le pourcentage de la distribution du temps passé dans les deux places

La figure 14 montre le temps passé dans les deux places par rapport à l'endroit de la personne interrogée soit dans l'ombre ou pas. On trouve qu'il y a une relation entre le temps passé dans l'espace et la place de la personne interrogée dans une zone ombragée ou non ombragée. La plupart des personnes ont passé 5 min ou moins dans les deux endroits étaient assis dans une zone non ombragée. Cependant, la plupart des gens ont dépensé plus de 5 min étaient assis dans une zone ombragée.

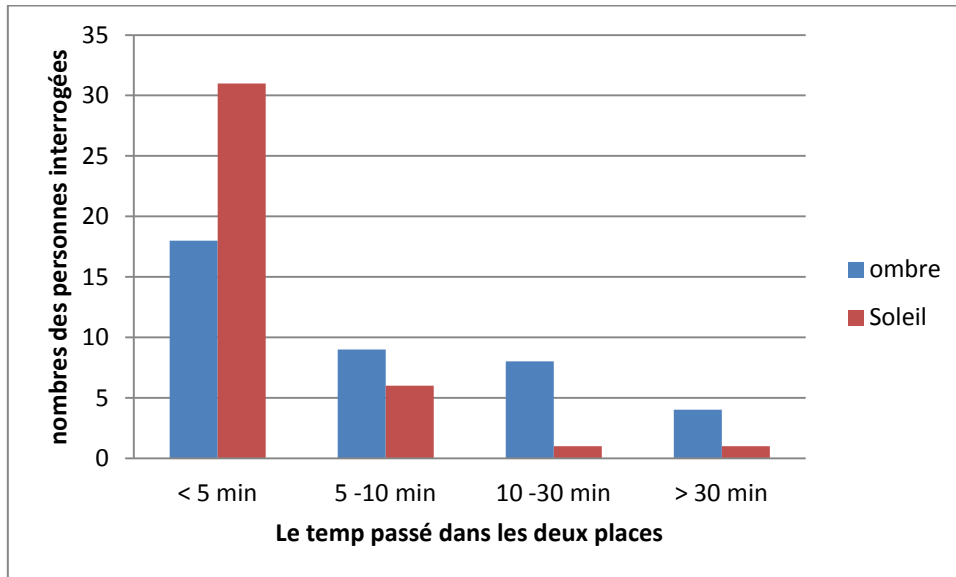


Fig.14 : La relation entre le temps passé dans les places et l'endroit de la personne dans une zone ombragée

#### 4.1.2 Les conversations informelles

Au delà du questionnaire de l'enquête, des petites conversations informelles ont eu lieu. Selon les personnes interrogées, les problèmes climatiques ne sont pas explicitement pris en compte dans la conception du paysage. Il y a très peu de projets où les paysagistes et les architectes ont considéré les aspects climatiques dans les quartiers urbains, où même dans la conception des bâtiments. D'autre part, les questions environnementales semblent pour eux de plus en plus prioritaires.

Une raison pour laquelle le climat n'est pas considéré est mentionnée par plusieurs participants : les gens eux-mêmes ne pensaient pas auparavant que les concepteurs urbains pouvaient améliorer le confort thermique, et peut-être que les paysagistes et les concepteurs ne le savaient pas non plus. Aucun des participants n'a reçu d'instruction particulière concernant la préoccupation du contrôle du climat dans l'aménagement urbain, et l'accès aux outils est susceptible d'être limité.

Plusieurs personnes interrogées ont également souligné que le gouvernement ne construit que des projets à faible budget, parce que dans les zones à faible revenu, l'objectif principal est de maintenir les coûts au minimum. Par conséquent, il est très difficile d'introduire des mesures qui augmenteraient les coûts, tels que l'amélioration des conditions de confort.

Les habitants des deux quartiers ont montré qu'ils sont prêts à payer pour être satisfaits, notamment en termes esthétiques : par exemple pour cultiver des fleurs, ou des légumes et herbes. Cependant, personne ne montre une volonté de payer pour des raisons climatiques, en justifiant que le développement des espaces publics est de la responsabilité du gouvernement.

Une personne interrogée à Héliopolis mentionne que les espaces urbains publics au Caire ne sont pas conçus pour être un lieu pour s'asseoir et se détendre, et les Egyptiens n'ont

pas l'habitude de s'asseoir dans un espace public en raison de l'absence de bancs ou des zones ombragées, et également en raison de la pollution et du bruit. En outre, il a soutenu que le rôle des autorités est d'interpréter les textes réglementaires par rapport à chaque situation. Ainsi, l'urbaniste (ou le développeur) est en mesure de réaliser un quartier individuellement s'il peut convaincre les autorités.

Il faut aussi mentionner que l'une des personnes interrogées m'a dit qu'elle habitait dans la région depuis longtemps, mais elle n'avait remarqué avant que récemment, l'existence d'une fontaine négligée sur la place, et elle ne la voyait pas marcher avant.

## 4.2 L'analyse du site

### 4.2.1 La place Triomphe

La place est un grand espace urbain, qui peut être positive si elle est exploitée dans le bon sens, et à mon avis, l'échelle de cette place n'est pas intime. En d'autres termes, l'utilisateur ne se sent pas à l'aise en raison de sa grande taille. Il n'y a aucune orientation ou allée, ce qui donne à l'utilisateur un sentiment de perte dans l'espace. La place est utilisée uniquement dans le but de passer d'une rue à l'autre et rarement utilisée comme un espace de loisir.

Le rapport H/L dans la place ne fournit presque pas d'ombrage. Mais si on regarde le rapport H/L dans les rues qui entourent la place, on trouve qu'elles offrent un espace d'ombrage sous une taille appropriée en comparant par la place. Le rapport H/L dans les rues est de 0.5 à 0.8.

La place a une forme circulaire qui ne nous donne pas une idée de son orientation, mais on peut définir l'orientation de la rue principale passant par la place, qui est Nord-Sud, qui est le meilleur en termes d'orientation comme confirmé dans les recherches précédentes. Cette orientation permet un bon mouvement des vents doux venant du nord, mais la distribution des arbres dans l'espace manque d'organisation pour diriger ce vent convenablement, ou pour bloquer le vent qui porte de la poussière.

Quant aux matériaux au sol, on trouve un enrobé pour la zone dédiée aux véhicules, des dalles en béton de pavage pour les trottoirs, et une grande zone enherbée au milieu.

Les matériaux des façades des bâtiments qui entourent la place sont de la brique, avec des couleurs claires, dont la réflexion peut aller jusqu'à 48% (cf. annexe III).

La distribution des arbres sur les trottoirs dans de nombreux endroits n'est pas claire. Parfois, ils sont distribués comme des arbres d'alignement, et ils apparaissent parfois de manière aléatoire, en particulier dans la zone enherbée. Ce qui conduit à des endroits réussis en termes d'ombrage, tandis qu'il y a d'autres endroits qui, ne sont ombragés ni par des arbres ni par des structures construites (Fig. 15).

Les allées au milieu de la place ne sont pas ombragées, et les trottoirs souffrent d'un ombrage irrégulier. Il a également été noté que les arbres plantés sur le trottoir au milieu de la rue créent de l'ombre sur stationnées en-dessous de ces arbres (Fig. 16).

En général, les plantes de la place Triomphe ne sont pas vraiment entretenues en négligeant la coupe des branches et la taille des arbustes. Les structures construites ne sont pas entretenues : pas de remplacement des pièces cassées, de nettoyage du pavage. En outre, les grandes distances de marche entre les différents services dans des voies non ombragées posent un problème surtout durant les jours chauds d'été.



Fig.15 : l'ombre créée par les arbres sur les trottoirs. Source: L'auteur en juillet 2013



Fig.16: l'arbre au milieu de la rue ombrage la voiture garée. Source: El Hozayen, 2013

#### 4.2.1 La place Food Court

La forme de la place Food Court à El Rehab, a la forme d'un rectangle, orientée Est - Ouest. La place **se compose de plusieurs niveaux** : la zone piétonne est située à un niveau inférieur de celui de la rue et du parking, ce qui favorise une vie privée pour les usagers, et les isolée du bruit et de la pollution des voitures. La zone piétonne se caractérise aussi par un grand lac artificiel, qui augmente l'humidité de l'air et réduit la température. La zone piétonne a une échelle appropriée, que l'on peut considérer comme intime. Les bâtiments qui entourent la place sont des bâtiments de services, des restaurants et des cafés. Ces bâtiments ont une

petite hauteur, et ne donnent donc pas une grande surface d'ombrage. La plupart des restaurants ont mis des parasols à l'extérieur, mais les allées piétonnes restent non ombragées.

Les espaces entre les bâtiments permettent le passage d'un vent doux venant du nord à l'intérieur de la zone piétonne (Fig.17).

La place est entourée par des espaces verts bien distribués, mais on note une contradiction entre la plantation de beaucoup de palmiers appropriés pour le climat sec au Caïre, et grandes surfaces engazonnées qui ont besoin de beaucoup d'eau.

Il a également été noté que les propriétaires des voitures dans les parkings ont choisi de laisser leur voiture au-dessous des arbres (Fig.18).

Tous les services et les restaurants sur la place se trouvent au même endroit, ce qui diminue les distances de marche.

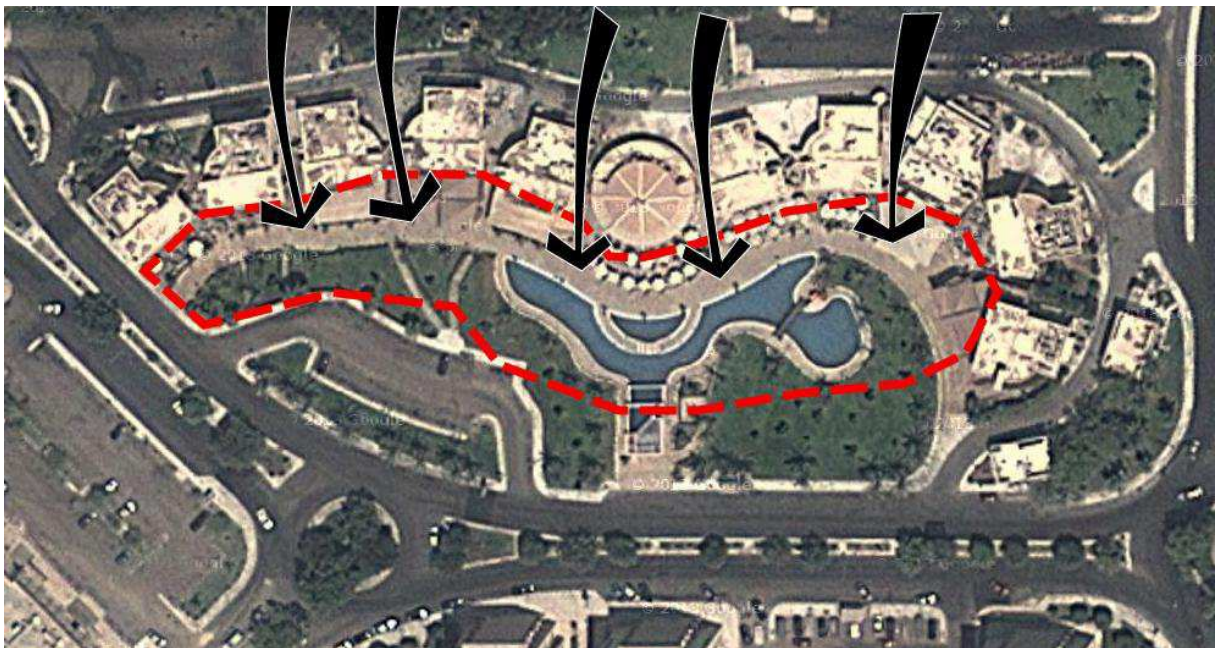


Fig.17 : le passage de l'air à travers les espaces entre les bâtiments. Source: Google maps. Modifié par l'auteur.



Fig.18 : les propriétaires des voitures dans les parkings ont choisi de laisser leur voiture au-dessous des arbres.  
Source: El Hozayen, 2013



### 4.3 Les observations non participantes des comportements

L'analyse des pratiques et des usages de l'espace dans les différents lieux étudiés a été obtenue par des observations non participantes des comportements.

La place à Héliopolis est principalement utilisée comme un lieu de passage, où beaucoup de personnes y passent pendant la journée. La plupart des usagers de la place ne passent que quelques minutes pour fumer une cigarette, pour acheter quelque chose, ou de faire un appel téléphonique court. Un grand nombre de piétons préfèrent traverser la place comme raccourci. Cependant, on n'observe personne s'arrêter dans la zone enherbée de la place.

Quelques jeunes assis sur le capot d'une voiture garée sous un arbre montrent la nécessité pour les usagers de trouver des sièges situés dans des zones ombragées des espaces publics, ce qui est malheureusement inexistant actuellement.

## 5 Conclusion et discussion

### 5.1 Conclusion

Il a été confirmé que l'orientation de l'espace urbain et son rapport H/L sont les facteurs les plus influents sur la performance climatique dans les espaces urbains. Cependant, il y a des mesures de conception qui peuvent être prises pour avoir un meilleur contrôle pour diminuer les problèmes climatiques et améliorer ainsi la qualité de vie dans les espaces urbains existants, dont on ne peut plus changer son orientation ou son rapport H/L. Ces mesures incluent le contrôle du vent, le rayonnement solaire, l'humidité, la température, et la pollution de l'air.

L'inconfort thermique des usagers des deux places étudiées, et l'absence des zones ombragées peuvent être des raisons de ne pas rester trop longtemps à l'extérieur.

Le manque de conscience quant à l'amélioration de la performance thermique des espaces est un problème majeur en Egypte. Ce problème a beaucoup de causes. L'une de ces raisons réside dans le fait que le client et l'architecte sont plus souvent préoccupés par la construction individuelle que la conception urbaine. Il y a eu une tendance au cours des dernières décennies pour construire des bâtiments spectaculaires isolés plutôt que de considérer un design urbain uniforme.

Le placement des allées pédestres et des lieux de repos en plein air peut être mis en relation avec les facteurs microclimatiques spécifiques de chaque lieu. Le microclimat varie dans un site donné en raison de la couverture végétale, de l'eau, de la topographie, des modifications artificielles comme l'arrangement et l'orientation des espaces selon le soleil et les vents dominants, les nuances et les constructions.

C'est pourquoi l'une des raisons les plus importantes pour la réussite de la performance thermique des espaces publics réside pour le concepteur dans le respect de ces facteurs, sa capacité aussi à prendre en compte les besoins des usagers de la place (par exemple, de tels espaces sont généralement utilisés dans la journée seulement). En conséquence, la conception doit être optimisée de manière à fournir des conditions favorables dans la journée.

L'ombrage est particulièrement efficace dans le climat estival des régions chaudes et sèches, car le rayonnement solaire est dominé par la composante directe. Afin d'obtenir des ombres suffisantes, on doit connaître la meilleure proportion des espaces dans les lieux publics. Il faut noter que dans les espaces urbains, on peut difficilement contrôler les éléments environnementaux à grande échelle, en raison de l'exposition au rayonnement solaire direct et les difficultés pour créer un climat confortable. Par contre, il y a plus de zones ombragées

dans les espaces de taille moyenne et de petite taille où l'exposition du rayonnement solaire direct est moindre.

Les éléments végétaux jouent aussi un rôle important et essentiel dans l'équilibre environnemental. Ils ont beaucoup d'importance, en raison de leur diversité fonctionnelle et grâce à leurs différentes qualités et caractéristiques, ils absorbent les rayonnements solaires, augmentent l'humidité, filtrent les vents du sable et de la poussière, etc. On peut même dire que les zones où l'équilibre écologique est perturbé - ou en d'autres termes l'environnement est pollué -, la concentration sur les éléments végétaux est nécessaire éliminer cette pollution.

Le phénomène de transpiration représente un élément important dans le cycle de l'eau parce que la montée de la vapeur d'eau dans le processus de formation de nuages. Le phénomène de transpiration qui est effectué par les plantes est donc un élément favorable dans le cycle naturel de l'eau.

Néanmoins, il ne faut pas ignorer quelques problèmes rencontrés dans les zones résidentielles comme le fait de mettre des nouvelles plantations à proximité de bâtiments existants avec des fondations superficielles, ou l'obstruction de la lumière par des branches. On peut éviter ces problèmes par un choix d'arbres qui consomment peu d'eau, et en gardant une distance suffisante entre l'arbre et la fenêtre, que ce soit en le plantant à une distance suffisante ou en élaguant les branches incriminées.

Les villes souffrent généralement de l'urbanisation croissante, du taux d'industrialisation et de la pollution du climat urbain, ce qui conduit à une température élevée. A ce la s'ajoutent la présence de vapeurs produites par les véhicules à moteur, la poussière des rues négligées, les vapeurs industrielles, la fumée et la suie. Il faut donc étudier la pollution de l'environnement dans les villes et essayer de limiter sa propagation afin de la contrôler par différents moyens pour obtenir des conditions environnementales appropriées dans la ville, écrire de nouvelles lois sanitaires et assurer leur application.

## **5.2 Recommandations**

Pour aménager un environnement urbain confortable, on doit contrôler les conditions climatiques qui affectent directement la sensation de confort thermique tels que : la température, l'humidité, le rayonnement solaire et le mouvement de l'air.

### **5.2.1 Recommandations pour La place Triomphe**

On propose quelques recommandations pour améliorer la performance thermique de la place Triomphe :

- Aménager des espaces ombragés, pour s'asseoir, que ce soit grâce à des arbres ou des structures construites
  
- Créer de nouveaux usages dans la partie négligée au milieu de la place, et créer des zones isolées de la pollution et du bruit des voitures.
- Augmenter la largeur du trottoir et enlever tout les résidus afin de permettre à plus de piétons de l'utiliser, trottoir pouvant être ombragé par l'immeuble voisin.
- Clarifier les chemins de circulation existants sur la place et les marquer grâce à des points d'appel pour encourager les piétons à les utiliser. Ces chemins peuvent être signalés par des éléments paysagers esthétiques, et des arbres.
- Créer des nouvelles allées, et diviser le grand espace circulaire au milieu de la place en plusieurs petites zones, pour faciliter le contrôle environnemental, puisque c'est difficile de contrôler les grandes surfaces.
- Planter des arbres de part et d'autre des nouvelles voies pour créer de l'ombre pour les piétons lors de la marche (Fig.19).

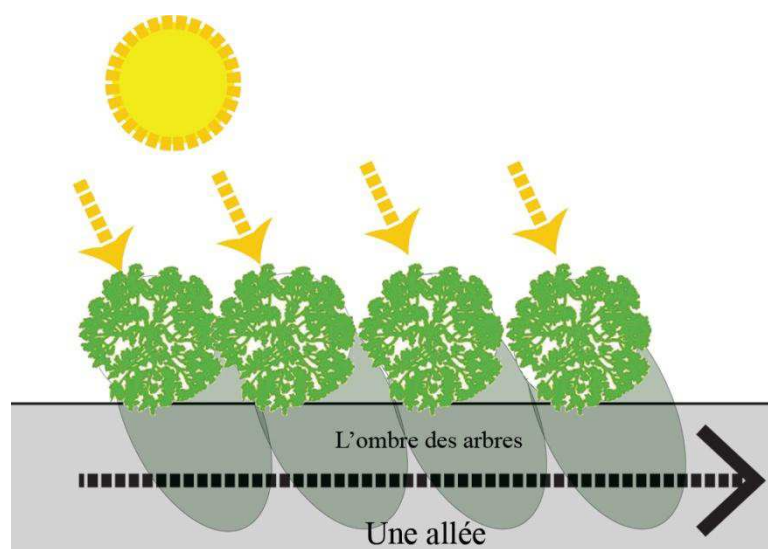


Fig.19.La plantation des arbres à côté d'une allée pour créer d'ombre. Source : El Hozayen, 2013.

- Contrôler les mouvements d'air sur la place par l'arrangement des arbres et la modification du relief, en le dirigeant vers les sièges
- Garder la zone enherbée et la maintenir.
- Planter des arbres d'alignement sur les trottoirs.
- Planter des arbres de taille moyenne, pour créer de l'ombre sur les voitures garées.
- Réparer la fontaine existante et mettre une nouvelle fontaine de l'autre côté de la place.
- Sensibiliser les citoyens à préserver la place Triomphe.
- Obliger le gouvernement à faire les travaux d'entretien nécessaires pour maintenir la place.

### 5.2.2 Recommandations pour La place Food Court

Voici quelques recommandations pour améliorer la performance technique de la place Food Court :

- Planter des arbres dans le parking, pour apporter de l'ombre aux voitures.
- Mettre des bancs et des chaises à l'extérieur à côté du lac.
- Utiliser d'autres plantes couvre-sol qui consomment moins d'eau que la pelouse existante.
- Ombrager les allées piétonnes, autant que possible.

### 5.2.3 Recommandations générales pour les espaces urbains au Caire

#### 5.2.3.1 Le traitement urbain et architectural

Les études ont montré que les rues avec des rapports élevés H/L, où les bâtiments offrent de l'ombre, représentent un avantage dans des conditions estivales. D'autre part, en hiver, une forme dispersée en milieu urbain, avec des rues avec un faible rapport H/L, est préférable. Cependant, comme la saison estivale est plus longue que l'hiver et qu'il est plus difficile d'adapter le comportement et l'habillement dans des conditions chaudes, la majorité des rues devraient être conçues de manière à être confortables l'été. Cela nécessiterait de nouvelles zones urbaines étant beaucoup plus compactes que celles d'aujourd'hui pour améliorer les conditions micro-climatiques pendant la saison chaude (Johansson, 2006).

En ce qui concerne la morphologie et l'orientation de la rue, les suggestions faites par Golany (1996) sont appropriées aux villes du désert. Il suggère des tracés étroits, sinueux, zigzaguant, afin de créer un ombrage mutuel maximal des bâtiments. Ces rues profondes doivent fournir une protection solaire pendant la journée et rester au chaud pendant la nuit. Les petites rues en forme de zigzags augmentent la vitesse du vent, ce qui est souhaitable dans les rues de climats chauds pour refroidir l'air ambiant et enlever l'excès de chaleur dans les

rues (Fig.20). Il peut aussi aider à la ventilation transversale des bâtiments. Ceci est important la nuit dans ces climats arides.

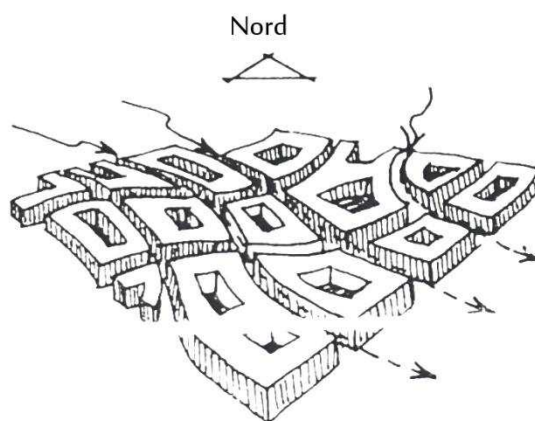


Fig.20. Des petites rues en forme de zigzags. Source : Golany, 1978.

Il est aussi préférable de réduire les distances de marche entre les services urbains en mixant les activités et de fournir des chemins ombragés courts.

Nous proposons l'utilisation de couleurs aussi claires que possible pour les façades et les toits, pour réduire l'absorption solaire des surfaces urbaines, et un traitement architectural des surfaces exposées au rayonnement solaire direct (murs et toitures) afin de réduire la chaleur absorbée et émise, pour atteindre le niveau de confort thermique nécessaire dans les espaces intérieurs et extérieurs.

### 5.2.3.2 L'augmentation de L'ombrage dans l'espace urbain

Il est important d'augmenter l'ombrage pour diminuer l'effet du rayonnement solaire en été. Pour les zones qui ont montré des pourcentages plus élevés d'insatisfaction tels que les sièges et les allées, des installations qui respectent le climat local et les besoins thermiques des visiteurs devraient être aménagés. Ces installations peuvent comprendre des grands arbres d'ombrage dans les zones où l'on s'assoit, des abris couverts ou des plantes d'ombrage le long des allées. En outre, la connaissance des angles du soleil en été et en hiver (car ils sont différents) est essentielle pour ombrager les espaces contre le soleil en été, tout en permettant à la chaleur du soleil d'atteindre ces mêmes espaces en hiver.

#### 5.2.3.2.1 L'ombrage par les arbres

Sur la base de l'exigence d'un climat confortable, un type approprié d'arbre peut être sélectionné, à savoir des arbres à feuilles caduques comme le mûrier. En été, ils fournissent de l'ombre. D'autre part, les arbres à feuilles caduques perdent leurs feuilles en hiver et permettent au rayonnement solaire de chauffer les bâtiments.

Parmi les facteurs qui déterminent le choix de l'arbre de l'ombrage, on compte :

- la densité : les plantes denses empêchent l'énergie radiante d'atteindre l'espace.
- la hauteur : les espèces à croissance haute devraient être choisies pour ombrager les toits et les murs. Les petits arbres utilisés pour l'ombrage doivent être placés le long d'un chemin ou à côté d'un banc pour être proches de la zone ayant besoin d'ombre.

#### 5.2.3.2.2 L'ombrage par des structures construites

On peut créer de l'ombre en installant des treillis en bois léger, ou grâce à un toit en surplomb avec des panneaux amovibles, de façon à pouvoir les basculer en cas de besoin, afin de se protéger du soleil d'été et de laisser le soleil en hiver. Des dispositifs d'ombrage

horizontaux au-dessus des trottoirs ou des colonnades sous les étages supérieurs peuvent aussi être installés.

Il est recommandé que les bâtiments n'aient pas de marge à l'avant, afin d'augmenter les possibilités de l'ombre aux piétons.

Une approche plus conventionnelle est faite par Swaid (1992), qui suggère des écrans d'ombrage au niveau du toit sous la forme d'écrans verticaux (pour augmenter la hauteur des bâtiments), et des volets. Ces écrans sont destinés à être utilisés le matin pour augmenter l'ombre et être enlevés pendant la nuit afin d'augmenter le *Sky View Factor* et stimuler le refroidissement nocturne.

### 5.2.3.3 L'augmentation des espaces verts

Les arbres peuvent être utilisés comme brises-vent pour protéger les bâtiments et les zones extérieures (comme les pelouses et terrasses) des vents chauds et froids. La réduction de la vitesse du vent derrière le brise-vent dépend de leur taille, densité, de la forme de la coupe transversale, de la largeur et de la longueur, les deux premiers étant les facteurs les plus importants. Quand le vent ne souffle pas perpendiculairement au brise-vent, la zone protégée est augmentée. C'est pour cela qu'il est plus important de concevoir des brises-vent pour la réduction de la vitesse maximale du vent dans des climats extrêmes (Brown & DeKay, 2001).

Les matières végétales absorbent également le rayonnement solaire qui, à son tour maintient la température du sol et élimine une grande partie de la chaleur et de la lumière réfléchie dans les espaces adjacents (Gregory 1989). C'est pour cela qu'il faut réduire les surfaces planes qui ne contiennent aucun élément végétal, en utilisant des systèmes de pavage combinés avec des éléments végétaux, et de la végétation comme alternative à des éléments physiques dans le paysage comme des murailles et des murs (Fig.21).

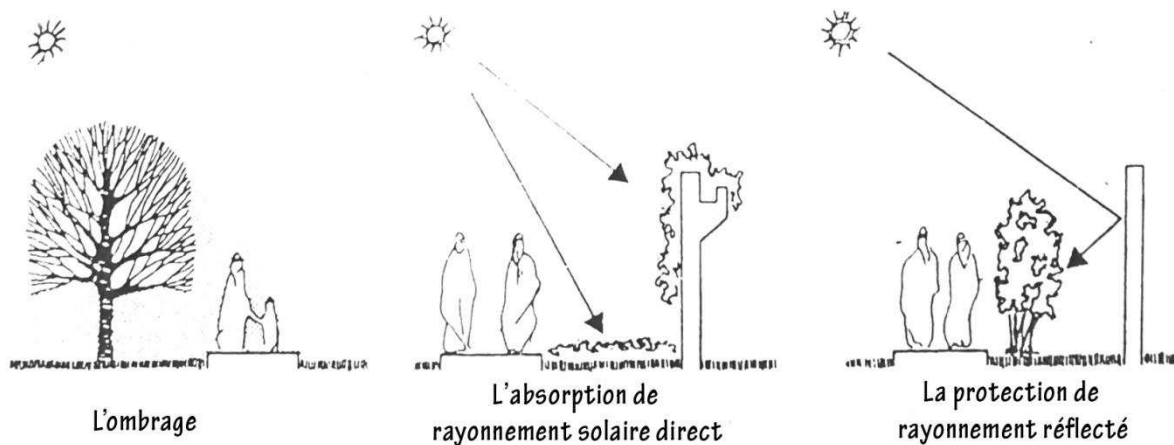


Fig.21.L'utilisation de la végétation pour diminuer l'effet de rayonnement solaire. Source : Ibrahim, 1984

Un système de voies vertes linéaires ou de boulevards qui convergent vers le centre-ville aiderait à maintenir le mouvement de l'air frais. À condition que le sol soit suffisamment humide, un seul arbre isolé peut transpirer jusqu'à 400 litres d'eau par jour. Cette transpiration, avec la protection du rayonnement solaire, crée un environnement plus frais autour de l'arbre. Pendant une chaude journée d'été, la température peut chuter de manière significative sous les arbres en raison de brises fraîches produites par les courants convectifs et par l'ombrage du soleil direct. Les superficiesensemencées peuvent être jusqu'à 5-8 ° C plus froides que les zones bâties, en raison d'une combinaison de l'évapotranspiration, de la réflexion, de l'ombrage, et du stockage de froid. (Brown & DeKay 2001)

Pour optimiser les espaces verts existants, plusieurs actions sont possibles :

- La détermination des espaces verts prioritaires pour les maintenir.

- Des opérations de conservation et de développement pour l'embellissement.
- L'utilisation des espaces verts existants pour améliorer le climat en se servant des éléments climatiques favorables, tels que faire une nouvelle conception des allées de manière qu'ils passent sous les arbres pour exploiter leurs ombres.
- L'exploitation des possibilités actuelles des espaces verts dans les plans futurs et relier tous les espaces verts afin d'éviter de faire des îlots isolés des espaces verts qui ne travaillent pas ensemble sur l'amélioration du climat.
- La protection de la croissance de la végétation urbains qui entourent le quartier et la maintenir.
- La plantation des palmiers qui adaptent les conditions climatiques des zones au climat aride.
- La réduction des besoins en irrigation par une conception multi-usages des espaces verts.
- La sélection d'arbres offrant une plus grande surface d'ombrage, et nécessitant peu d'entretien et d'eau, comme *Albizia julibrissin*, *Eucalyptus*, *Pinus pinea*, *Mûrier*, *Acer rubrum*, et *Quercus phellos*.
- La prise en compte de la végétation avant la construction.
- Aménager de nouveaux espaces verts dans les zones qui sont détruites à cause de la négligence ou du vandalisme.
- L'incitation aux populations à planter leurs toits et leurs espaces ouverts privés.
- L'étude de la croissance des plantes pour sélectionner celles qui s'adaptent le mieux à l'emplacement donné, sans trop de soins à fournir, et qui auront suffisamment de place pour atteindre leur taille adulte. Les plantes sont destinées à être appréciées par les citoyens et ne doivent pas devenir un problème de maintenance, à cause d'un mauvais emplacement, de maladies et / ou d'un élagage nécessaire (Eckbo 1978).

#### 5.2.3.4 Le contrôle du vent

Il est souhaitable d'augmenter le mouvement de l'air frais et de bloquer le vent chaud ou celui qui porte la poussière dans les espaces ouverts par plusieurs types d'actions :

- Augmenter les surfaces vertes à l'intérieur et autour des blocs urbains.
- Faire une ceinture des larges arbres à feuilles caduques pour filtrer le vent et résister au phénomène des tempêtes de poussière (Fig.22).

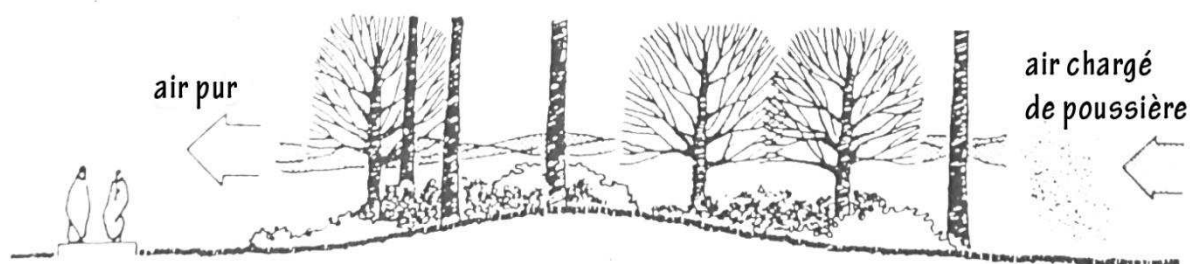


Fig.22 : L'utilisation de la végétation pour protéger les espaces contre les effets néfastes du vent.

Source : Ibrahim, 1984.

- Aménager le paysage en utilisant des arbustes et des arbres du désert qui diminuent l'effet des tempêtes de sable, par exemple les *Pinus elderica*, *Fraxinus pennsylvanica* et *Eucalyptus*.
- Essayer de guider le mouvement du vent dans les espaces urbains en ouvrant les voies aux vents frais qui sont passés sur des plans d'eau avant d'atteindre la masse urbaine.
- Déflexion de plantes peuvent être utilisés en conjonction avec les reliefs et les matériaux architecturaux pour modifier le flux d'air sur le paysage, et autour ou à travers les bâtiments (Fig.23).

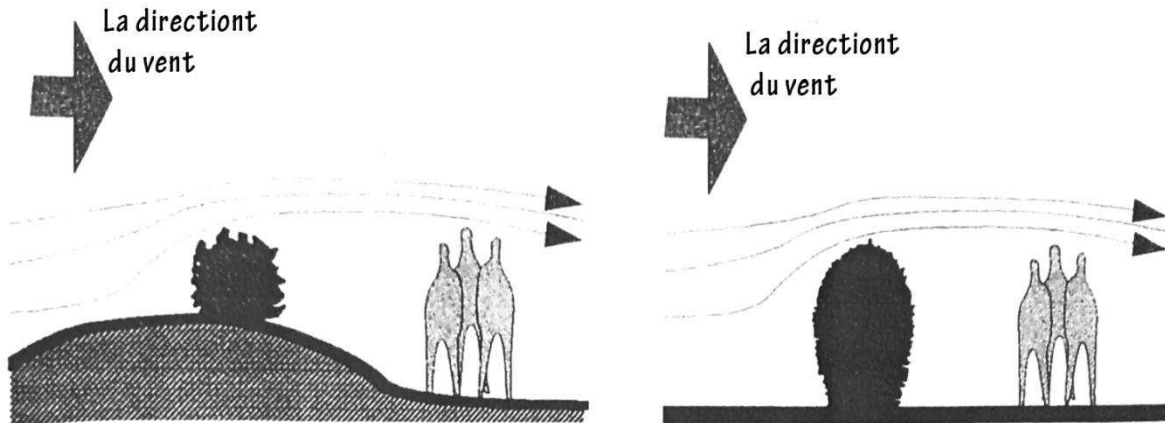


Fig.23 : un changement de relief avec les plantes peut contrôler le mouvement du vent. Source : Hassan, 2006.

- Poser des brises-vent perpendiculairement à la direction des vents devant être contrôlés.
- Utiliser des brises-vent suffisamment denses pour former une barrière solide.
- Ménager des ouvertures entre les plantes afin de permettre un mouvement de l'air à partir de la zone de haute pression vers la zone de basse pression pour créer une circulation positive à travers ces espaces.
- Arranger les plantes pour contrôler le mouvement du vent (Fig.24).

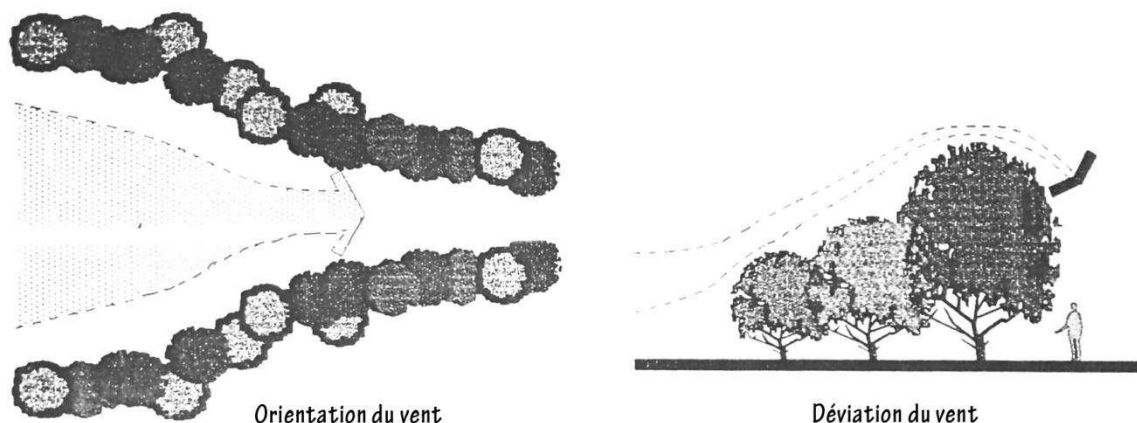


Fig.24 : La variation de contrôle du vent par végétation comme désiré. Source : Hassan, 2006.

### 5.2.3.5 L'augmentation de l'humidité

La présence d'une masse d'eau sur ou à proximité d'un site contribue à atténuer le microclimat de ce site. Une fontaine ou un lac industriel, agit comme un réservoir de chaleur, réchauffant progressivement au cours du printemps et restant à une température relativement constante tout au long de la saison chaude. Lorsque la température de l'air est très élevée, même la moindre brise sur l'eau va produire le refroidissement par évaporation et rendre le climat plus supportable (Todd, 1985) (Fig.25).

Les plantes offrent des surfaces dont les vents peuvent attirer l'humidité par évaporation, ce qui refroidit le site. Elles fournissent également de l'humidité à travers le processus naturel de transpiration (mécanismes de refroidissement par évaporation en plein air), qui offre un confort intérieur et extérieur en abaissant la température de l'air qui entoure le bâtiment (Gregory 1989) (Fig. 26).

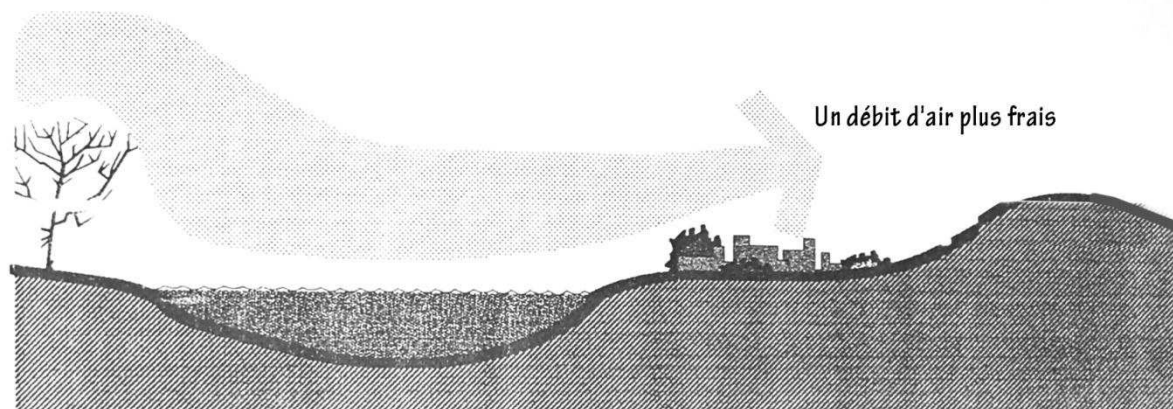


Fig.25 : le vent est refroidi lors de son mouvement sur une masse d'eau. Source : Hassan, 2006.



Fig.26 : L'utilisation de la végétation pour protéger les espaces contre les effets néfastes du vent.  
Source : Ibrahim, 1984

L'eau peut être présente dans l'espace de manières différentes : arroseurs de pelouse, tuyau de jardin perforé placé au sommet de la barrière autour du site, ou des zones de micro-pulvérisation, peuvent refroidir une grande masse d'air instantanément.

### 5.2.3.6 La réduction de la pollution de l'air

L'utilisation des sols de manière efficace pour décongestionner les villes, et la fourniture d'une végétation adéquate permettraient d'atténuer les effets de la pollution.

L'air est nettoyé par l'effet de la photosynthèse, où l'agent polluant est dilué avec de l'air riche en oxygène. Aussi, les plantes enlèvent la poussière, la fumée, le pollen et les produits chimiques de l'air (les plantes recueillent leurs particules) par précipitation, dans laquelle les plantes transpirent de grandes quantités d'eau dans l'atmosphère, ce qui a pour conséquence la formation d'eau sur leurs feuilles, lavant les feuilles des particules et les faisant tomber par terre.

En général, il est également important d'utiliser des combustibles plus propres et des véhicules plus efficaces.

### 5.2.3.7 La promulgation de nouvelles lois

La promulgation de nouvelles lois pour inclure les aspects climatiques dans les règlements de paysage est incontournable afin de créer de meilleures conditions climatiques dans les espaces urbains. L'organisation générale de la planification et de l'autorité centrale de développement devraient préparer des projets législatifs de planification urbaine durable dans les différentes zones climatiques égyptiennes avec de nouveaux codes d'urbanisme basés sur le climat, pouvant être inclus dans les lois égyptiennes.

En outre, l'Agence centrale pour la mobilisation publique et les statistiques devrait mettre en place un scénario de croissance intelligente, en combinaison avec la promotion des sources d'énergie renouvelables.



Et enfin, mener des recherches dans un contexte pratique et éducatif sur l'importance de prendre en compte le confort thermique lors de la planification urbaine. C'est dans l'objectif de relier la conception et la connaissance du climat dans la pratique opérationnelle qu'il faut penser la ville durablement, plutôt que de construire des communautés étalées uniquement pour accommoder les gens.

### 5.3 Discussion

Cette étude a été limitée à une étude qualitative, et les recommandations faites précédemment sont basées sur nos lectures et notre propre analyse. Les mesures de terrain ont manqué, mais nous n'avons pas pu en faire en raison de la difficulté à obtenir les instruments adaptés et des contraintes de temps.

Il y a des exigences en terme de conception des espaces urbains qui sont liées à leurs fonctions, mais aussi à la prise en compte d'éléments thermiques. Ainsi, les questions suivantes devraient être posées lors d'une opération d'aménagement :

- Quels types d'activités et de fonctions seront effectués dans l'espace?
- Quand ces activités ont lieu au cours de la journée?
- Quels sont les changements saisonniers prévus pour ces fonctions?

L'optimisation de la durée d'exposition solaire pour les piétons pourrait être étudiée dans une autre étude à travers des simulations qui déterminent la vitesse de la marche des piétons, la distance minimale en étant exposé, le temps d'exposition, et les déplacements des piétons en milieu urbain, afin de déterminer le meilleur chemin à prendre (ceci en se basant sur les ombres au sol en période d'exposition au soleil maximale).

Des études météorologiques et de télédétection par satellites pourraient être utilisées pour déterminer des changements drastiques dans le climat, l'utilisation des terres et les types de couverture des arbres. La télédétection peut également être utilisée pour cartographier les zones chaudes et froides d'une ville en utilisant des outils SIG (Système d'Information Géographique).

D'autres recherches doivent être faites sur les changements climatiques dans le futur en Egypte pour estimer l'adaptation et la performance thermique des espaces publics en Egypte.

Enfin, on peut noter aucune solution technique et économique, puisqu'il est difficile d'aménager des espaces qui répondent aux exigences climatiques de tous les habitants, dans toutes les conditions climatiques et tout au long de l'année.

## Bibliographie

Abu-Haggag, Y., Elsayed, N., Elsayed, M. & Abd el Hakim, M. (1994). *The Geography of Egypt*. General Egyptian book organization, Cairo, 551 p.

Al-Hemaidi, W.K. (2001). *The metamorphosis of the urban fabric in an Arab-Muslim city: Riyadh, Saudi Arabia*. *Journal of Housing and the Built Environment* 16: 179–201.

Ali, E A.(2003). *Evaluation of the Egyptian Experiment in Establishment the new Towns in the Desert Areas*. *Journal of Engineering Sciences, Assiut University of Egypt*, 31(1).

Ali-Toudert, F. & Mayer, H. (2006). *Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate*. *Building and Environment* 41: 94–108.

Al Jawabra, F & Nikolopoulou, M. (2009). *Outdoor Thermal Comfort in the Hot Arid Climate, the effect of socio-economic background and cultural differences*. 26<sup>th</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture PLEA, Quebec City.

ASHRAE.(1981). *ASHRAE Standard 55-1981; Thermal Environmental Conditions For Human Occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, refrigerating, and Air-Conditioning Engineers Inc.

Avissar, R. (1996). *Potential effects of vegetation on urban thermal environment*. *Atmos. Envir.* 30: 437-448.

Baker, L.A., Brazel, A.J., Selover, N., Martin, C., McIntyre, N., Steiner, F.R., Nelson A & L.Musacchio. (2002). *Urbanization and warming of Phoenix (Arizona, USA): impacts, feedbacks and mitigation*. *Urban Ecosystems* 6: 183–203

Bansal, N.K., & Minke, G. (1988). *Climatic zones and rural housing in India*, Kernforschungsanlage, Juelich, Germany.

Bourbia, F. & Awbi, H.B. (2004). *Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part 1: Air and surface temperature measurements*. *Renewable Energy* 29: 249–262.

Brown, G. Z. & DeKay, M. (2001). *Sun, wind and light – architectural design strategies*, 2nd Ed. John Wiley and Sons Inc, New York, 400 p.

Brundtland, G H. (1989). *Global change and our common future*. *Environment* 31(5): 16-20, 40-42.

Coronel, J.F. & Alvarez, S. (2001). *Experimental work and analysis of confined urban spaces*. *Solar Energy* 70: 263-273.

Djenane, M., Farhi, A., Benzerzour, M. & Musy, M. (2008). *Microclimatic behaviour of urban forms in hot dry regions, towards a definition of adapted indicators*. 25th International Conference on Passive and Low Energy Architecture PLEA, Dublin.

Dona, J. S. (1999). Changing Cairo: the political economy of urban form. *International Journal of Urban and Regional Research*, 23(1): 103-127.

Eckbo, G. (1978). *Public Landscape: Six Essays on Government and Environmental Design in the San Francisco Bay Area*. Institute of Governmental Studies, University of California. 135 p.

El-Gamal, W.M.M. (1995). *Towards an Approach for the Identification of Landscape Components*. Thesis of master in urban studies. Faculty of engineering, Department of Architecture, Cairo University.

El-Zamly, H.A. (1994). *Arid Zones: A New Trend in Planning Education*. PhD thesis in urban studies. Cairo University Cairo-Egypt.

Fahmi, W & Sutton, K. (2008). Greater Cairo's housing crisis: Contested spaces from inner city areas to new communities. *Cities*, 25(5): 277-297.

Fahmy, M. (2010). *Interactive urban form design of local climate scale in hot semi-arid zone*. PhD thesis in urban environment. The University of Sheffield, School of Architecture.

Garrat J.R. (1992). *The atmospheric boundary layer*. Cambridge University Press. Cambridge. xviii + 316 p.

Ghonimi, I., Alzamly H., Khairy, M. & Soliman, M. (2011). *The Contribution Of Gated Communities To Urban Development in Greater Cairo Region, New Towns*. *Journal of Al Azhar university - Engineering Sector*

Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. John Wiley & Sons Inc, New York, 480 p.

Golany, G. (1978). *Urban Planning for Arid Zones: American Experiences and Directions* John Wiley & Sons, New York, 27 p.

Golany, G. (1996 ). *Urban design morphology and thermal performance*. *Atmospheric Environment* 30(3): 455–465.

Gregory, M. P. (1984). *Residential Landscapes: Graphics, Planning, and Design*. Reston publishing company, INC. Virginia, 468 p.

Griffiths, J. F. (1983). *Climatic classification*. *International Journal of Environmental Studies* 20(2): 115-125.

Gupta, V. (1984). *Energy and habitat town planning and building design for energy conservation*. Wiley Eastern Ltd., New Delhi, 96 p.

Gut, P. (1993). *Climate responsive building: Appropriate building construction in tropical and subtropical regions*. Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management, St.Gallen, 324 p.

Hassan, B. (2006). The improvement of residential areas through a successful landscape for urban open spaces. Thesis of master in urban development and community design. Faculty of engineering, Department of Architecture, Cairo University.

Honjo, T. & Takakura, T. (1990). Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas. *Energy and Buildings* 15: 457-463.

Ibrahim, R. (1984). The design of urban spaces in hot climate regions: the impact of the climate on the design of the urban spaces in the Egyptian environment. Thesis of master in urban planning, Faculty of engineering, Department of Architecture, Cairo University.

Johansson, E. (2006). Urban Design and Outdoor Thermal Comfort in Warm Climates: Studies in Fez and Colombo. PhD thesis in environmental sciences. Lund University, Housing development & management.

Kruger, E.L.; Minela, F.O.; Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment* 46: 621-655.

Lin, T.P. (2009). Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment* 44: 2017-2034.

Mahmoud, A. H. A. (2011). Analysis of the Microclimatic and Human Comfort Conditions in an Urban Park in Hot and Arid Regions. *Build Environ.* 46: 2641-2656

Markus, T.A. & Morris, E.N. (1980). Buildings, climate and energy, Pitman Publishing Limited, London, 540 p.

McPherson, E.G. (1992). Shading urban heat islands in U.S. desert cities. *Wetter und Leben* 44: 107-123

McPherson, E.G. (1994). Energy-saving potential of trees in Chicago. Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project. USDA forest service, General technical report NE-186: 95-113.

McPherson, E.G., Nowak, D.J. & Rowntree, R.A. (1994a). Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project. USDA forest service. General Technical report NE-186.

McPherson, E.G., Rowntree, R.A. & Wagar, J.A. (1994b). Energy efficient landscapes. *Urban Forest Landscapes: integrating multidisciplinary perspectives.* University of Washington Press. Seattle: 150-160.

McPherson, E.G. & Simpson J.R. (1995). Shade trees as a demand - side resource, *Home energy* 2: 11-17.

Nayak, J.K., Hazra, R. & Prajapati, J. (1999). Manual on solar passive architecture, Solar Energy Centre, MNES, Govt. of India, New Delhi.

- Nichol, J.E. (1996). High-resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a Tropical city: a satellite-based study. *Journal of Applied Meteorology* 35: 135–146.
- Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Methuen, London, 435 p.
- Olgay, V. (1963). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press, Princeton N.J., 190 p.
- Pezzoli, K. (1997). Sustainable Development: A Transdisciplinary Overview of the Literature. *Journal of Environmental Planning and Management* 40(5): 549 – 602.
- 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.
- Salem, R. (1984). *The design of urban spaces in hot regions: The impact of climate on the design of urban spaces in the Egyptian environment*. Thesis of master in urban planning, Faculty of engineering, Department of Architecture, Cairo University.
- Shashua-Bar, L., Erell, E. & Pearlmutter, D. (2009). Microscale vegetation effects on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *The 7th International Conference on Urban Climate (ICUC-7)*, Yokohama, Japan, July 3-6 2009.
- Shashua-Bar, L., Erell, E. & Pearlmutter, D. (2011). The influence of trees and grass on outdoor thermal com-fort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology* 31: 1498–1506.
- Smart, R. & Robinson, M. (1991). *Sunlight into wine: A handbook for wine grape canopy management*. Winetitles Pty Ltd, South Australia, 88 p.
- Stewart, D. J., Yin, Z.-Y., Bullard, S. M. & MacLachlan, J. T. (2004). Assessing the Spatial Structure of Urban and Population Growth in the Greater Cairo Area, Egypt: A GIS and Imagery Analysis Approach. *Urban Stud* 41(1): 95-116.
- Stewart, J. (1999). Changing Cairo: The Political Economy of Urban Form. *International Journal of Urban and Regional Research* 23(1): 103-127.
- Sutton, K & Fahmi, W. (2001). Cairo's urban growth and strategic master plans in the light of Egypt's 1996 population census results. *Cities* 18(3): 135-149.
- Swaid, H. (1992 ). Intelligent urban forms (IUF); A new climate-concerned, urban planning strategy. *Theoretical and Applied Climatology* 46:179–191.
- Swaid, H., Bar-El, M. & Hoffman, M. E. (1993). A bioclimatic design methodology for urban outdoor spaces. *Theoretical and Applied Climatology* 48: 49-61.
- Todd, K. W. (1985). *Site, Space and Structure*. Van Nostrand Reinhold, New York, 192 p.
- Yin, Z., Stewart, J., Bullard, S. & MacLachlan, T. (2005). Changes in Urban Built-up Surface and Population Distribution Patterns During 1986-1999: A Case Study of Cairo, Egypt. *Computers, Environment and Urban Systems* 29(5): 595-616.

## Sitographie

- [1] Guilaine, J. (2011). L'homme transforme son environnement depuis plus de 10 000 ans. [http://www.scienceshumaines.com/l-homme-transforme-son-environnement-depuis-plus-de-10-000-ans\\_fr\\_13863.html](http://www.scienceshumaines.com/l-homme-transforme-son-environnement-depuis-plus-de-10-000-ans_fr_13863.html) (Consulté le 09/07/2013).
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC report. (2007). <http://www.wunderground.com/resources/climate/ipcc2007.asp> (Consulté le 09/07/2013).
- [3] Nayak, J.K. & Prajapati, J. (2006). Handbook on energy conscious building. <http://mnre.gov.in/solar-energy/startpage.pdf> (consulté le 28/8/2013).
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Heliopolis\\_\(Cairo\\_suburb\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Heliopolis_(Cairo_suburb)) (Consulté le 12/8/2013).



## Annexes



**AGROCAMPUS OUEST**  
CFR Angers  
2 rue Le Nôtre  
49045 Angers cdx 01

Alexandria construction  
company

Mémoire de Fin d'Etudes

### **Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage**

Année universitaire : 2012 \_ 2013

Spécialité : Paysage

Spécialisation ou option : MOI

**Le traitement des espaces urbains dans les villes au climat  
chaud et sec pour diminuer leurs problèmes climatiques**  
Etude de cas : La ville du Caire

Par : Ahmed ELHOZAYEN

*Illustration éventuelle*

*Volet à renseigner par l'enseignant responsable de la spécialisation/option  
ou son représentant*

Date : .../.../... Signature

Bon pour dépôt (version définitive)

Autorisation de diffusion : Oui  Non

**Devant le jury :**

Soutenu à Angers le 26/09/2013

Sous la présidence de : Mme Joséphine AUDEBERT

Maître de stage : Eng. Mahmoud hassan Zien

Enseignant référent : Mme Elise GEISLER

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

*"Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent  
que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST".*

Annexe I

### L'entretien

Lieu: \_\_\_\_\_ sous lieu: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_ Temps: \_\_\_\_\_

**L'activité (avant l'entretien):**  couché  assis  debout  marche soleil/ombre

**Les vêtements:** pantalon ou jupe : (long/ moyen/ court) pull ou veste: (épais / mince)

Chemise ou t-shirt (long/court)

**Informations personnels:**

**Sexe:**  M  F

**Age:**  ≤20  21-35  36-50  51-65  66-80  >80

Habite au quartier  Travail au quartier  aucun d'entre eux

1. Combien de fois vous passez ou de s'attarder sur cet endroit?

- Quotidiennement  Plusieurs fois/semaine  Quelques fois/semaine  
 Quelques fois /mois  Rarement  La première fois

2. Quelle est la raison la plus importante pour être dans cet endroit?

- Je suis sur mon chemin du retour ou de travail, l'école, un magasin ou autre lieu  
 Je suis sorti pour prendre d'air frais, voir d'autres personnes, ou se détendre  
 Les deux

3. Combien de temps avez-vous été à l'extérieur? \_\_\_\_\_ A cet endroit? \_\_\_\_\_

4. Comment vous sentez-vous la météo actuelle aujourd'hui?

- |                                |                          |                          |                          |                          |                          |  |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| Calme                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | venteux                                |
| Froid                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | chaud                                  |
| Bon pour activités extérieures | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Mauvais pour les activités extérieures |

5. Comment vous sentez-vous la place maintenant?

- |             |                          |                          |                          |                          |                          |          |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|
| Laide       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Jolie    |
| Désagréable | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Agréable |
| Ventoux     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | calme    |
| Froide      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | chaude   |

6. Comment vous sentez-vous en ce moment dans ce lieu?

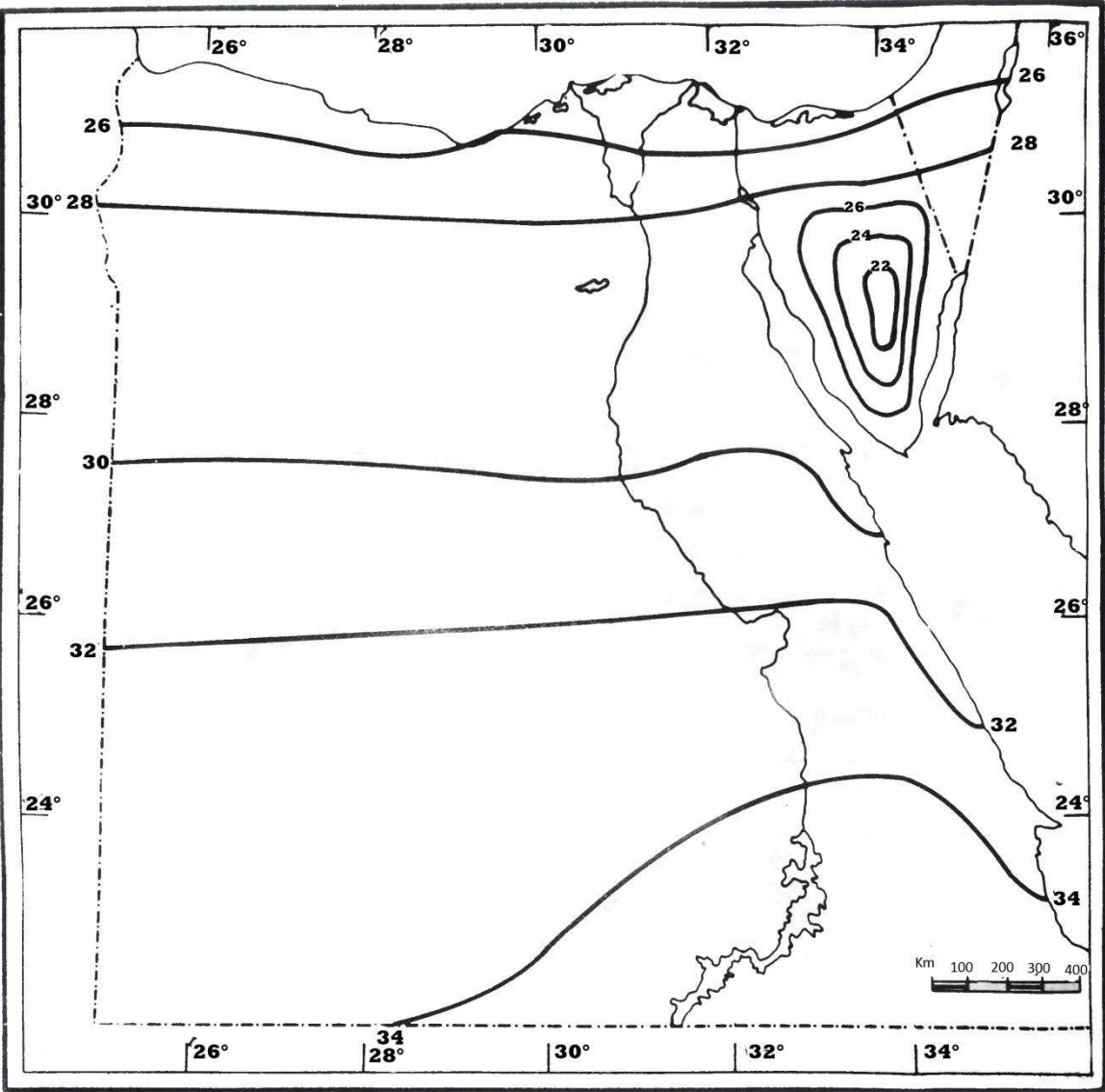
- |              |                          |                          |                          |                          |                          |         |
|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|
| Enthousiasmé | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | ennuyé  |
| Heureux      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | lugubre |
| Calme        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | nerveux |
| Active       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Passive |

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Froid	Frais	Un peu Frais	Confortable	Un peu chaud	Chaud	Très chaud



Annexe II

La température moyenne en été (juillet) en Egypte. Source : Abu-Haggag et al., 2003.



Annexe III

Le pourcentage de réflectivité des différentes surfaces. Source: Olgyay, 1963.

Nature of surface	Estimate % reflected
Bare ground, dry	10% - 25%
Bare ground, wet	8% - 9%
Sand, dry	18% - 30%
Sand, wet	9% - 18%
Mold, black, dry	14%
Mold, black, wet	8%
Rock	12% - 15%
Dry grass	32%
Green fields	3% - 15%
Green leaves	25% - 32%
Dark forest	5%
Desert	24% - 28%
Salt flats	42%
Brick, depending on color	23% - 48%
Asphalt	15%
City area	10%



Diplôme : Diplôme d'ingénieur  
Spécialité : Paysage  
Spécialisation / option : MOI  
Enseignant référent : Mme. Elise GEISLER

Auteur(s) : Ahmed ELHOZAYEN

Organisme d'accueil : Alexandria Construction Co.

Adresse : Elmabna el edary no.2 - RI Rehab city  
- Nouveau Caire- Le Caire - Egypte

Date de naissance : 8/12/1987

Nb pages : 38      Annexe(s) : 3

Année de soutenance : 2013

Maître de stage : Eng. Mahmoud Hassan Zein

**Titre français :** Le traitement des espaces urbains dans les villes au climat chaud et sec pour diminuer leurs problèmes climatiques: Etude de cas, la ville du Caire.

**Titre anglais :** The treatment of urban space in cities in hot and dry climate to reduce their climate problems: case study, the city of Cairo.

#### Résumé :

L'urbanisation rapide dans les grandes villes, comme Le Caire, entraîne souvent des impacts négatifs sur l'environnement, y compris les modifications sur le microclimat urbain. Cependant, il ya une manque d'intégration des connaissances climatiques dans les stratégies de planification, et il n'y a pas des liens entre le microclimat, le confort thermique, la conception et les règlements d'urbanisme. La plupart des modèles et théories urbains en Egypte sont importés de l'étranger. Un énorme défi existe donc sur la façon de gérer les espaces urbains existants pour s'adapter au climat chaud. Cette étude analyse les effets du design urbain et des éléments du paysage sur l'environnement thermique des espaces urbains dans la ville chaude et sèche du Caire. La sensation thermique réelle des usagers des deux places publics au Caire, et comment ils perçoivent l'environnement thermique dans des lieux différents sont étudiés par des entretiens directifs. Des observations non participantes des comportements des usagers, et une analyse qualitative de la performance thermique des places étudiées, ont été appliqués. Les résultats affirment l'importance de l'ombrage dans le climat estival des régions chaudes et sèches, ainsi que le rôle important de la végétation.

#### Abstract :

The rapid urbanization in big cities, such as Cairo, often has negative impacts on the environment, including changes in the urban microclimate. However, there is a lack of integration of climate knowledge in planning strategies, as well as there is no link between the microclimate, thermal comfort, design and planning regulations. Most urban models and theories in Egypt are imported from abroad. We face therefore a big challenge to manage the existing urban spaces to adapt to the hot climate. This study analyzes the effects of urban design and landscape elements on the thermal environment of urban spaces in the hot and dry city of Cairo. The thermal sensation of the users of two public squares in Cairo, and how they perceive the thermal environment in different places are studied by structured interviews. Non-participant observation of the behavior of the users, and a qualitative analysis of the thermal performance of the squares, were applied. The results affirm the importance of shade in the summer climate of hot and dry regions, as well as the important role of vegetation.

**Mots-clés :** Le microclimat urbain, le confort thermique extérieur, le paysage urbain, Le climat chaud et sec.

**Key Words:** Urban microclimate, Outdoor thermal comfort, Urban landscape, Hot and dry climat.