

## *L'état de l'art sur l'efficacité thermique du patio*

« *La chose, terme transcendant d'une série ouverte d'expériences* »<sup>1</sup>.

**Maurice Merleau-Ponty**

### **Introduction :**

Avant d'entreprendre une analyse sur le comportement thermique du patio dans notre cas d'étude, il nous a paru utile d'analyser certaines expériences, en faisant appel à plusieurs paramètres relatifs à ce dispositif. Ce genre d'étude vise à améliorer la compréhension objective qui garantit une bonne conduite de la recherche à travers la lecture des exemples spécifiques et diversifiés.

Le patio et ses effets thermiques étaient traités par plusieurs chercheurs à savoir : Mohsen (1978), Etzion (1995), Cadima (2000)... toutes ces études recommandent la protection des surfaces exposées vis-à-vis des rayons solaires intenses et le vent de sable chaud (pour les climats chauds et arides). C'est-à-dire, ces études confirment que la performance du bâtiment à patio est en fonction de la quantité des radiations reçues par l'enveloppe, mais cela reste relatif pour des climats bien déterminés, car l'irradiation est en fonction de la latitude, les conditions climatiques, la période saisonnière et journalière et la configuration du patio lui-même.

Dans ces dernières années, le thème objet de notre recherche est évoqué dans plusieurs études, l'intérêt est d'avoir des conclusions plus précises et exactes sur l'efficacité thermique en analysant les paramètres géométriques et physiques sous plusieurs climats. Parmi les études nous citons l'exemple des travaux de recherche menés par Muhaisen S.A et Gadi B.M à l'aide de la simulation informatique. Aussi, on va présenter les recherches de Tablada.A et al et Rajapaksha.I et al sur des patios sous un climat tropical.

Dans ces recherches, on s'intéresse surtout à deux climats : celui de Rome, ce choix est justifié par sa position dans le bassin méditerranéen et celui de Havane et Sri Lanka, ces deux villes possèdent un climat tropical se caractérise principalement par le contraste en période estivale : température élevée avec un taux d'humidité important, ces deux climats bien similaires à celui de notre cas d'étude.

---

<sup>1</sup> Maurice Merleau-Ponty in CD-ROM 12 dictionnaires indispensables

### V.1- L'étude de Muhaisen.S A et Gadi.B M : l'effet de la proportion du patio sur les gains solaire et la demande énergétique dans le climat tempéré de Rome :

Muhaisen.S A et Gadi.B M dans ce travail traitent l'effet de la proportion du patio sur les gains de chaleur et la demande énergétique de chauffage et de refroidissement sous le climat de Rome.

#### V.1. 1-Présentation du climat de Rome :

Rome se bénéficie d'un climat méditerranéen caractérisé par des conditions climatiques modérées : des étés chauds et humides et des hivers froids et tempérés. Le ciel est généralement clair, une température modérée, le vent moyen. Les pluies tombent dans les deux saisons l'automne et l'hiver, avec un minimum en été. Sa position dans le bassin méditerranéen lui confère des températures annuelles modérées.



**Figure-V. 1: Situation de ville de Rome**  
Source : Muhaisen. S A et Gadi. B M, 2005

#### V.1. 2- Les moyens de modélisation thermique :

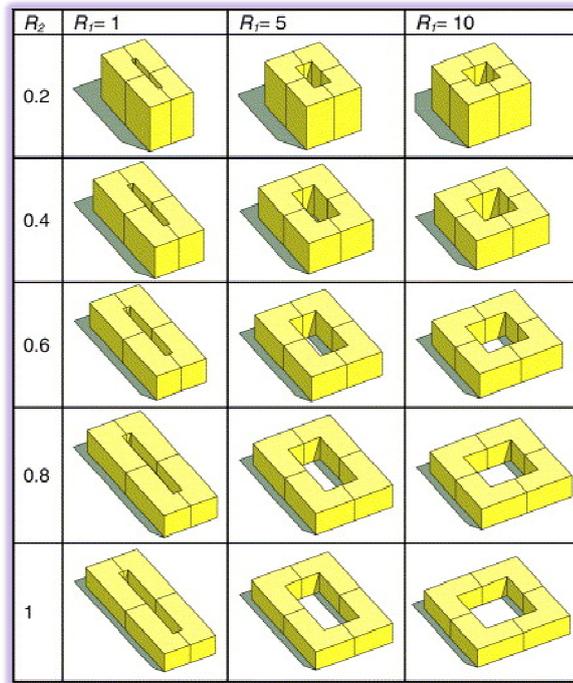
Les programmes utilisés dans cette investigation sont : "ModeleIT" pour introduire la base de données), "Apache-Sim" pour la simulation thermique et "SunCast" pour l'analyse de l'ombrage (l'ombre portée par les parois du patio).

#### V.1. 3- L'effet de la proportion du patio sur les gains solaire et la demande énergétique :

**V.1. 3.1- Présentation des cas d'étude :** Les cas étudiés sont présentés sur la figure V.2, R1 prend les valeurs de : 1, 5, 10 et R2 : 0.2, 1 avec un pas de 0.2.

Où :  $R1 = P/H$  avec : P : représente le périmètre et H : la hauteur du patio

$R2 = W/L$  avec : W : représente la largeur et L la longueur



**Figure-V. 2: Les formes rectangulaires simulées**  
 Source : Muhaisen.S A et Gadi. B M, 2005

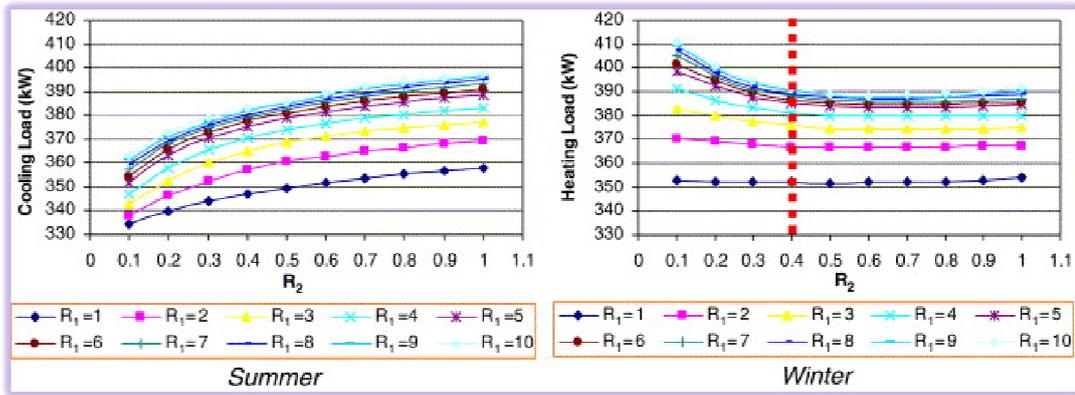
**V.1. 3.2- Les résultats :** La figure 2 représente les besoins en chauffage et refroidissement selon les différents types géométriques du patio

↻ **Le refroidissement :**

Plus ( $R_2$ ) est élevé plus le besoin en refroidissement augmente pour toutes les valeurs de ( $R_1$ ) en notant que ce besoin est maximale pour les formes superficielles (de petite hauteur), le rythme de cette augmentation sera plus petit lorsque  $R_1 > 5$ .

↻ **Le chauffage :**

Les graphes en besoin de chauffage sont celles du refroidissement, mais d'une façon renversée. Lorsque ( $R_1=1$  et 2) et pour n'importe quelle valeur de ( $R_2$ ), ces valeurs ne provoquent pas une augmentation en besoin de chauffage, mais à partir de ( $R_1 > 2$ ) et ( $R_2$ ) inférieur à (0.4) on remarque un développement remarquable, Il est remarqué aussi pour n'importe quelle valeur de  $R_1$ , en augmentant  $R_2$  plus de 0,4 n'influe pas sur la demande énergétique en chauffage, la valeur maximale est signalée pour ( $R_1=10$  et  $R_2=0.1$ ) et qui représente. La lecture horizontale des graphes montre que pour des valeurs  $R_1 > 5$  on ne remarque pas une augmentation significative dans les besoins en chauffage.



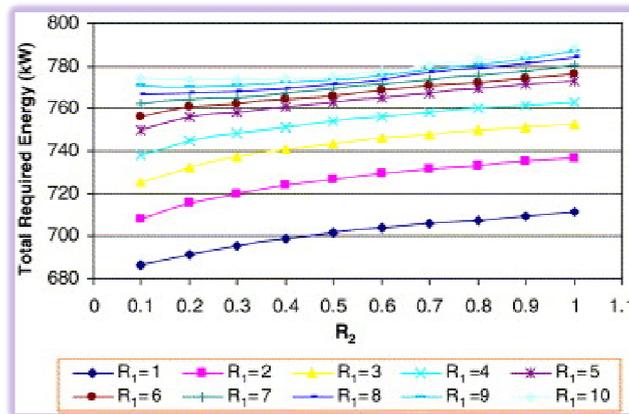
**Graphe-V. 1: Effet de changement des ratios du patio sur les besoins annuels de refroidissement et de chauffage.**

Source : Muhaisen.S A et Gadi. B M, 2005

**La demande énergétique globale annuelle :**

D'une manière générale, la forme la plus adéquate est celle qui assure moins de consommation énergétique pour les deux périodes (chaude et froide). Il est clair que le besoin annuel s'accroît en augmentant le ratio ( $R_2$ ) et cela pour toutes les valeurs de ( $R_1$ ), en signalant un minimum pour ( $R_1 = 1$ ) et le maximum pour ( $R_1 = 10$ ).

La forme optimale est celle qui possède ( $R_1 = 1$  et  $R_2 = 0.1$ ), mais cette forme est architecturalement non préférée ou irréalisable. Généralement, les besoins énergétiques sont maximaux pour  $R_2 = 1$  (forme carrée), tandis que le minimum est remarqué lorsque  $R_2 = 0.1$ .



**Graphe-V. 2: Le besoin énergétique annuel**

Source: Muhaisen.S A et Gadi. B M, 2005

**V.1. 4- L'effet de l'ombre sur les gains solaires et la demande énergétique :**

**V.1. 4.1- Présentation des cas d'étude :**

Dans cette partie les auteurs sont intéressés à l'effet de la l'ombre sur les besoins énergétique de chauffage et de refroidissement, avec ( $R_1$  entre 1 et 10,  $R_2 = 0.5$ ). Les formes simulées sont représentées sur la figure-V.3

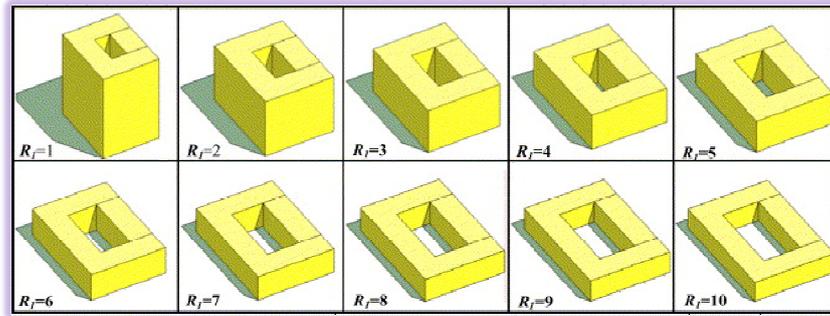


Figure-V. 3: Les formes rectangulaires simulées (effet combiné de la hauteur et l'ouverture au ciel)

Source : Muhaisen.S A et Gadi. B M, 2005

V.1. 4.2- Les résultats :

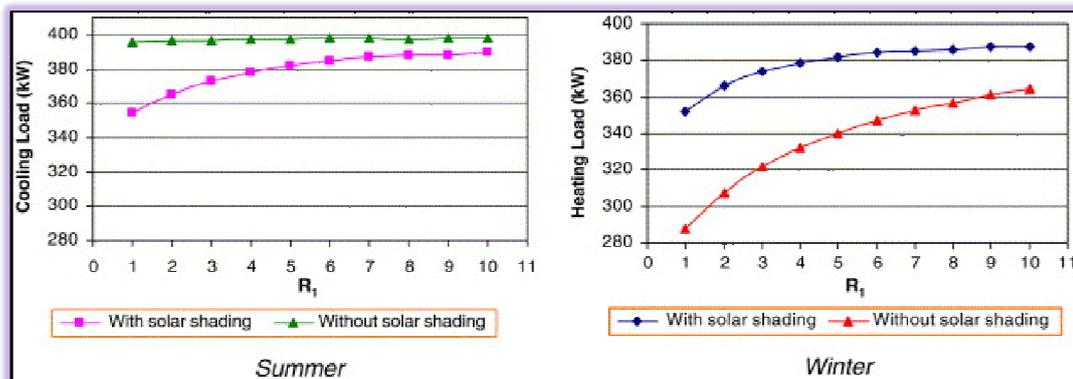
**Été** : La quantité d'énergie pour le refroidissement est influencée par l'ombre portée par les murs du patio surtout pour les valeurs  $R_1$  entre 1 et 5, c'est-à-dire plus la hauteur est élevée et le taux d'ouverture est petit, on aura moins de consommation énergétique pour le refroidissement.

Par contre si on ne prend pas en considération l'effet de l'ombre on aura plus d'énergie et dans ce cas les deux indices cités au dessus n'ont pas un effet significatif sur la demande énergétique.

**Hiver** : Les deux graphes prennent presque la même allure (ils sont conditionnés par le ratio  $R_1$ ).

Si on tient compte de l'ombrage des parois du patio, la quantité d'énergie pour le chauffage est plus élevée, ce qui s'explique par le refroidissement des parois par l'effet de l'ombre. Lorsqu'on néglige ce dernier, l'énergie fournie pour le chauffage est moins élevée.

On a aussi, plus la hauteur est peu profonde avec un taux d'ouverture au ciel important, on aura plus d'énergie à consommer pour le chauffage, ce qui explique l'effet des déperditions thermiques sur la consommation énergétique pour les formes superficielles et ouvertes (c'est-à-dire l'ouverture du patio).



Graph-V. 3: Effet de changement de la hauteur et l'ouverture au ciel sur les besoins énergétique de refroidissement et de chauffage

Source: Muhaisen.S A et Gadi. B M, 2005

**V.1. 5- L'effet de l'élongation du patio sur les gains solaire et la demande énergétique :**

**V.1. 5.1- Présentation des cas d'étude :**

Pour montrer les effets de la largeur sur la demande énergétique une étude menée dans des patios presque similaires mais de largeurs différentes, ( $R_2$ ) qui se varie entre (0.1 et 1) et  $R_1=5$ .

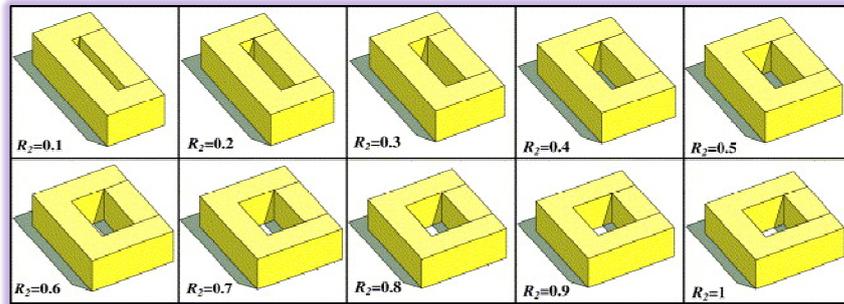


Figure-V. 4: Les formes rectangulaires simulées (élongation)

**V.1. 5.2- Les résultats :**

Source : Muhaisen.S A et Gadi. B M, 2005

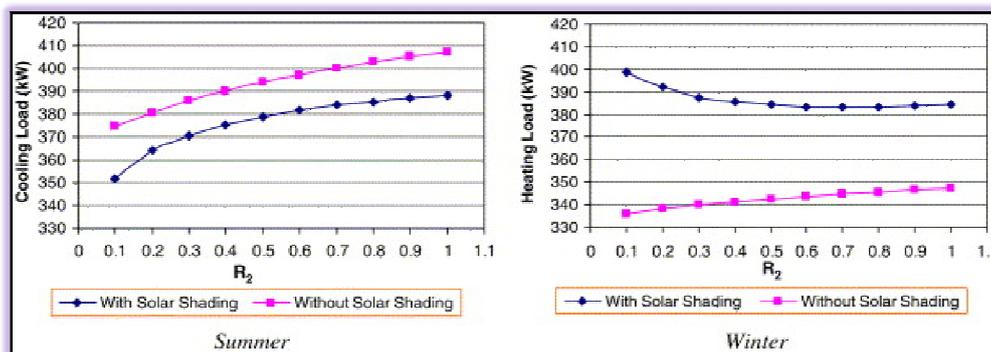
D'après les résultats représentés dans le graphe-V.4, on a les remarques suivantes :

**Été :** les deux courbes prennent une allure parallèle, la quantité d'énergie nécessaire pour rétablir le confort est très importante si on néglige l'effet de l'ombre.

La forme la plus allongée demande une énergie pour le refroidissement moins que la forme moins effilée avec un taux de 4% le cas où on prend en considération l'effet de l'ombre, le minimum et le maximum soient respectivement avec l'indice  $R_2 = 0.1$ ,  $R_2 = 1$

De la comparaison entre les résultats des simulations effectuées sur les dix configurations, il ressort que le patio étroit ( $R_2 = 0.1$ ) est consomme moins d'énergie par rapport à patio large ( $R_2 = 1$ ).

**Hiver :** si on prend en considération l'effet de l'ombrage sur des parois, la quantité d'énergie en chauffage diminue en augmentant le  $R_2$ . Lorsque  $R_2 > 0.5$  on remarque une stabilité dans le besoin en énergie. Avec la forme où  $R_2 = 0.1$  on aura le minimum dans la demande énergétique si on ne prend pas en considération l'effet de l'ombre. Mais si on tient compte ce dernier c'est complètement l'inverse, ce qui explique l'effet de l'ombre dans l'accentuation du refroidissement des espaces dans la période froide.



Graphe-V. 4 : L'effet de l'élongation du patio sur le besoin énergétique annuel (refroidissement et chauffage)

Source: Muhaisen.S A et Gadi. B M, 2005

**V.1. 3.3- Note importante N°1 :**

La forme géométrique du patio influe considérablement sur le besoin annuel en chauffage et en climatisation. La quantité des radiations reçues sur l'enveloppe intérieure du patio a un effet significatif sur la quantité des gains solaires donc sur les besoins en énergie.

Une forme profonde (soit avec une hauteur importante) est la plus satisfaisante pour les deux périodes, car cette forme donne plus d'ombre pour la période chaude (économiser l'énergie pour le refroidissement) et pendant la période froide cette forme assure moins de chaleur perdue et donc moins de besoin en chauffage. L'ombre portée par les parois du patio provoque une réduction en besoin de climatisation avec une moyenne de 4% tandis qu'en hiver, contribue à l'augmentation du chauffage avec un taux de 12%. Cela explique que pour un climat tempéré comme celui de Rome, la stratégie de conception bioclimatique se doit de favoriser beaucoup plus la période froide.

Pendant l'été, les charges de refroidissement sont plus importantes pour les formes les plus superficielles et allongées. De ce fait, la forme profonde et peu allongée est la plus adaptée pour la réduction des besoins en refroidissement

Pendant l'hiver, la quantité des radiations reçues surtout pour des valeurs élevées de R1 et R2, aide à chauffer le bâtiment et par conséquent réduire les charges de chauffage.

**V.2- L'étude de Muhaisen. S A : Simulation de l'ombrage pour différentes formes du patio dans différents latitudes :**

La performance thermique du patio est affectée par la pénétration des radiations solaires à l'enveloppe intérieure, alors que les irradiances sont conditionnées par la géométrie de cet espace et la position du soleil dans le ciel, la règle principale du confort thermique en été, c'est d'avoir un ombrage optimal, par contre en hiver c'est totalement le contraire.

Les bâtiments à patio sont conditionnés par la forme géométrique et l'aspect physique et la position sur la terre (la latitude).

Le logiciel utilisé dans cette investigation est CourtSun, ce programme prévoit la surface ombragée et ensoleillée dans n'importe quelle forme géométrique du patio.

**V.2.1- Objectifs de la recherche :**

Cette étude pour but de ressortir les éléments suivants :

- L'effet des conditions climatiques sur le choix de telle dimension pour avoir une raisonnable performance thermique.
- L'effet de la latitude et la course du soleil saisonnière et journalière sur le taux d'exposition et de protection de l'enveloppe intérieure.
- Chercher l'orientation optimale pour chaque latitude examinée.

## V.2.2- Simulation de l'ombrage pour différentes formes du patio:

### V.2.2.1- Présentation des cas d'étude :

Dans cette recherche, Muhasein. S.A a examiné plusieurs paramètres à savoir :

- A. Le champ spatial (la latitude).
- B. Le champ temporal
- C. Aspect géométrique (plusieurs formes rectangulaires).

#### ☛ Le champ spatial :

Les villes objet de cette recherche ont des latitudes et des conditions climatiques différentes, elles sont présentées dans le tableau suivant :

La ville	Latitude et longitude	climat
<b>Kuala Lumpur</b>	3°N, 101°E	Chaud et humide
<b>Caire</b>	30°N, 31°E	Chaud et sec
<b>Rome</b>	41°N, 12°E	tempéré
<b>Stockholm</b>	59°N, 18°E	froid

Tableau-V.1 : les villes choisies pour la simulation  
(Kuala Lumpur, Caire, Rome, Stockholm)

Source : Muhaisen, S A 2005 reproduit par l'auteur, 2009

#### ☛ Le champ temporal :

La simulation est faite dans deux mois extrêmes : Juin et Décembre, où la hauteur du soleil est la plus haute pour le 21 juin et la plus basse pour 21 décembre. Les résultats sont relevés à 14 :00h

#### ☛ Aspect géométrique:

Les formes simulées ont deux principales caractéristiques : la hauteur et l'ouverture au ciel qui sont respectivement : R1, R2. Où :  $R1=P/H$  avec :

P : représente le périmètre et H la hauteur du patio, ce ratio se varie de 1 jusqu'à 10.

$R2=W/L$  avec :

W : représente la largeur et L : la longueur, Ce ratio se varie de 0,1 jusqu'à 1.

On distingue dans ce tableau deux dispositions des formes du patio : horizontale et verticale

Horizontalement : ces formes se varient de très étroites vers la plus prolongée  $R2=0,1$  à 1

Verticalement : les formes se dégradent de la forme la plus profonde ( $R1=1$ ) jusqu'à la forme la plus superficielle ( $R1=10$ ).

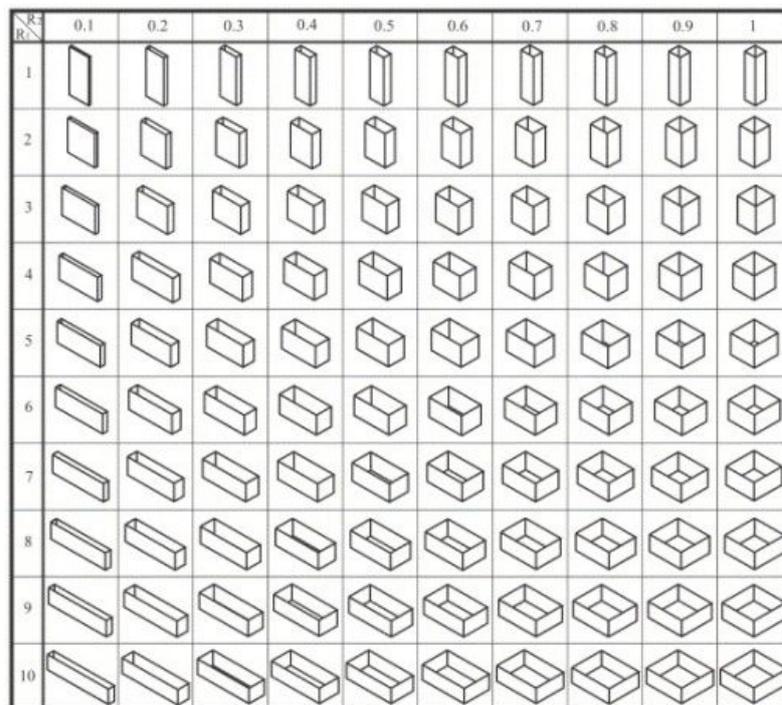


Figure-V. 5: Les formes rectangulaires simulées

Source : Muhaisen A, 2005

#### V.2.2.2- Les résultats :

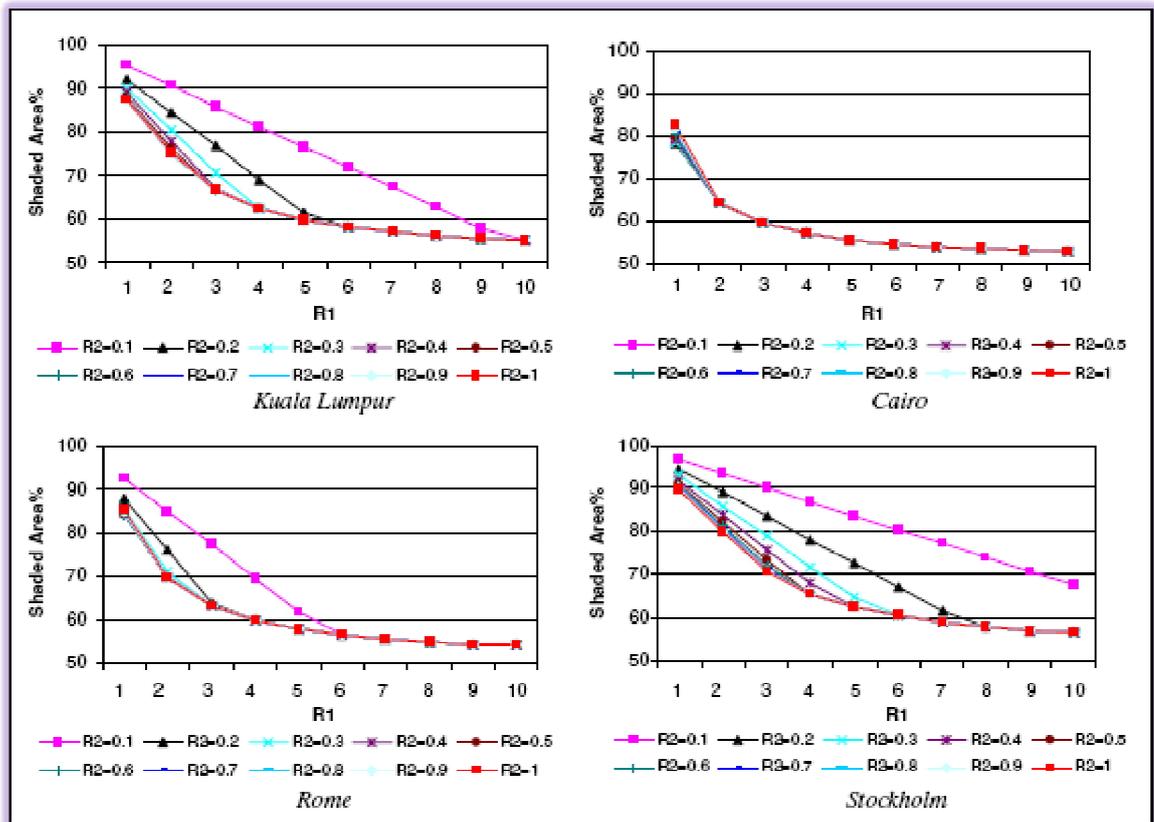
Pour bien comprendre l'effet de la forme sur la protection ou l'exposition au soleil de l'enveloppe intérieure une série de combinaisons des deux ratios ( $R_1$ ,  $R_2$ ) était faite dans les deux saisons.

##### ✦ Les résultats de l'été :

Le graphe V.5 présente l'effet de changement de  $R_1$  sur la surface ombragée pour toutes les valeurs de  $R_2$  en examinant toute les villes.

Il est clair que la surface ombragée diminue lorsque  $R_1$  approche de 10 (la forme peu profonde), et  $R_2$  n'a pas d'importante influence surtout pour la ville de Rome et le Caire. A Stockholm et Kuala Lumpur on n'observe une légère variation dans le cas où ( $R_2 = 0,1$  ou  $0,2$ ).

Généralement, pour avoir une protection maximale il faut élever la hauteur du patio, c'est-à-dire ( $R_1 = 1$ ), le pourcentage obtenue pour le Caire et Stockholm sont respectivement (82%) et (90% ). Avec ( $R_1 = 10$ ) on obtient un minimum au Caire (52%) et (56%) à Kuala Lumpur. On remarque aussi une décente rapide du pourcentage de la surface protégée lorsque ( $R_1 = 1$  jusqu'à 5), le résultat est insignifiant lorsque ( $R_1 = 5$ ).



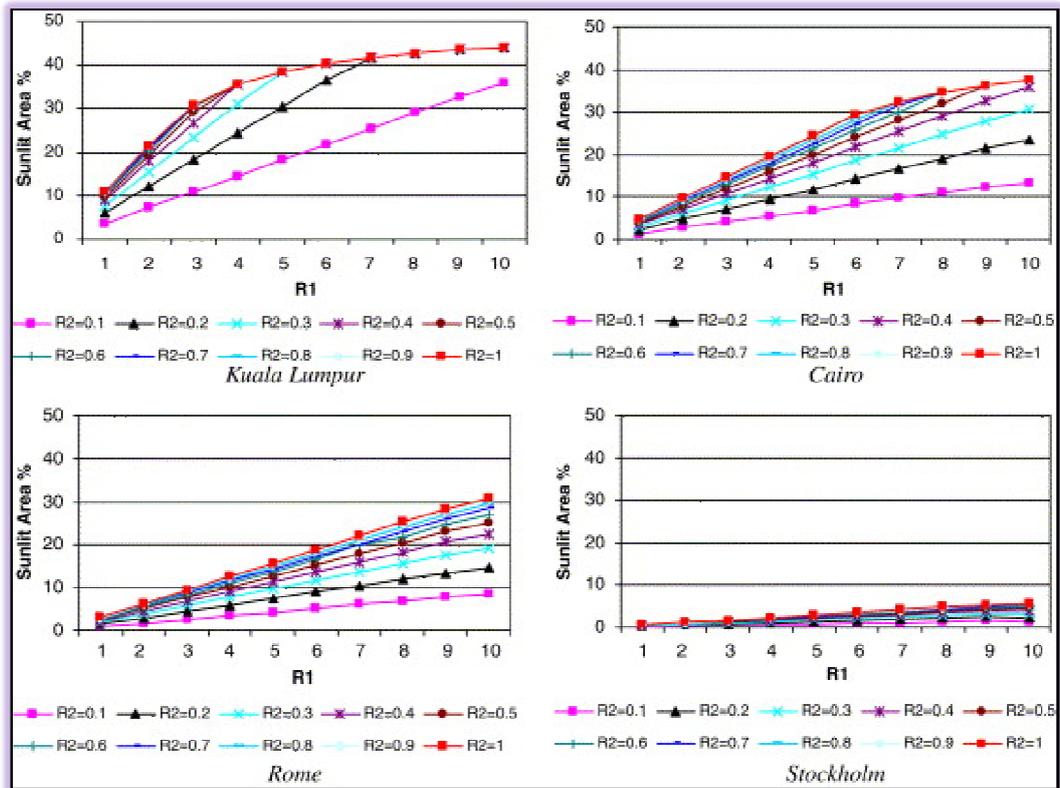
**Graphe-V.5 : le pourcentage de la surface ombragée en modifiant les proportions du patio-été-**  
 Source : Muhaisen A, 2005

**Les résultants de l'hiver :**

Pendant l'hiver les radiations sont souhaitables afin d'avoir une surface performante exposée au soleil, de ce fait, la forme peu profonde (R1 est grand) répond positivement à cette objectif hivernal. Pour les trois villes : Rome, Caire et Stockholm l'effet de changer R2 est clairement remarquable, la surface exposé au soleil est grande en augmentant R2 pour n'importe quelle valeur de R1. Le rythme est encore grand lorsque R1 approche de 10. Le changement de R2 dans la ville de Kuala Lumpur n'a pas un effet important sauf pour (R2 = 0,1 ou 0,2) et cela revient à son rapprochement de l'équateur (le soleil est très élevé dans le ciel).

La surface maximale exposée au soleil est produite lorsque R1 =10 et R2 =1, avec les rapports suivants 44%, 37.55%, 30.8% et 5.6% dans les villes examinées respectivement, Kuala Lumpur, Caire, Rome et Stockholm.

Cependant, le minimum est remarqué R1 of 1 (la forme la plus profonde) et R2 = 0.1 (la forme la plus allongée), ce qui implique que la forme superficielle avec une valeur élevée de R2, est la forme la plus convenable pour la saison d'hiver.



Graph-V. 6 : le pourcentage de la surface ensoleillée en modifiant les proportions du patio-hiver-

Source : Muhaisen A, 2005

**V.2.3- L'effet de la hauteur du patio sur le taux de la surface ombragée dans les quatre villes :**

Généralement le choix de la hauteur du patio est relatif aux conditions climatiques. Pour n'importe quels ratios des patios, le plus profond provoque un ombrage important.

Dans les climats chauds, la hauteur du soleil est toujours élevée dans le ciel, il donc est préférable d'avoir des patios profonds pour permettre un ombrage performant. Par contre, les climats froids optent pour des patios de petite hauteur pour laisser la pénétration des rayons solaires à l'espace intérieur de ce dispositif.

**V.2.3.1- Présentation des cas d'étude :**

Dans cette investigation, les données de la simulation sont : forme du patio : rectangulaire où H de l'étage=3m, R2=0,5, les hauteurs simulées : RDC, R+1, R+2, R+3, R+4. Voir Figure-V.6

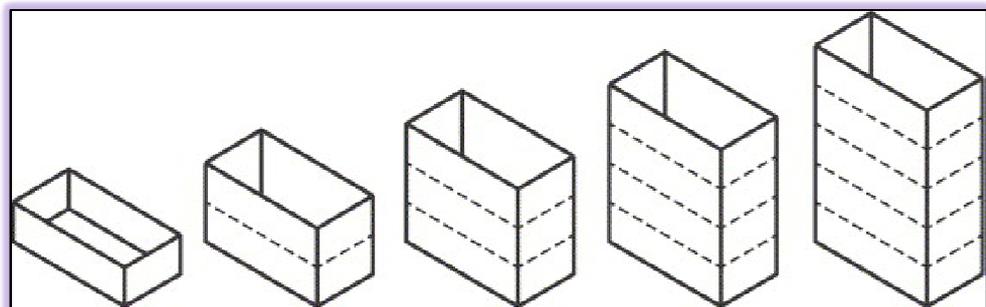


Figure-V. 6: les hauteurs simulées

Source : Muhaisen. A, 2005

**V.2.3.2- Les résultats :** les résultats obtenus sont représentés par la surface ombragée et exposée au soleil à 14h00.

✿ **Les résultats d'été :**

La protection au soleil est plus grande en augmentant la hauteur du patio pour toutes les villes. Le minimum est observé avec un patio composé d'un seul niveau avec un intervalle de 50-60% dans les quatre régions testées. Alors que le maximum de la surface protégée est assuré avec une forme composée de 5 niveaux, en soulignant que ce pourcentage se varie d'une ville à une autre. Voir tableau-V.2

La ville	Pourcentage de la surface ombragée	Latitude et longitude
Kuala Lumpur	73%	3°N, 101°E
Caire	65%	30°N, 31°E
Rome	67%	41°N, 12°E
Stockholm	77%	59°N, 18°E

**Tableau-V.2 : le taux maximal de la surface ombragée**

Source : Muhaisen. A, 2005

✿ **Les résultats d'hiver :**

Le développement de l'allure d'exposition au soleil prend un sens inverse par rapport à celui de l'été, la surface exposée au soleil se diminue au fur et à mesure en augmentant la hauteur, où on remarque le maximum avec un seul niveau et le minimum avec le patio à cinq niveaux. Voir tableau-V.3

La ville	Pourcentage de la surface exposée (R+4)	Pourcentage de la surface exposée (RDC)
Kuala Lumpur	50%	25%
Caire	40%	10%
Rome	32%	7%
Stockholm	7%	1%

**Tableau-V.3 : le taux maximal et le minimal de la surface exposée au soleil**

Source : Muhaisen. A, 2005

Pour une performance efficace, les niveaux sont les suivants :

Kuala Lumpur —————> 3 niveaux

Caire et Rome —————> 2 niveaux cette forme est performante pour les deux périodes

Stockholm —————> un seul niveau (il est performant surtout pour la période d'hiver)

Pour maximiser la surface protégée pendant l'été au Caire et Rome il est préférable de retenir une forme avec 3 niveaux (et cela ne provoque pas un déséquilibre sur le bilan thermique d'hiver).

### V.2.4-Effet de la course journalière du soleil sur la surface ombragée :

Le parcours du soleil dans le ciel dépend de plusieurs facteurs : la latitude, la saison, le jour de l'année. Ce mouvement est généralement symétrique par rapport à midi dans n'importe quel jour de l'année. Le soleil est très basse en hiver et très élevé au ciel pendant l'été.

L'enveloppe intérieure du patio est influencée par la séquence journalière du soleil.

L'investigation du chercheur est dictée par les données suivantes :  $R1= 5$ ,  $R2=0,5$ . La simulation est de 7h00 du matin jusqu'à 17h00 du soir.

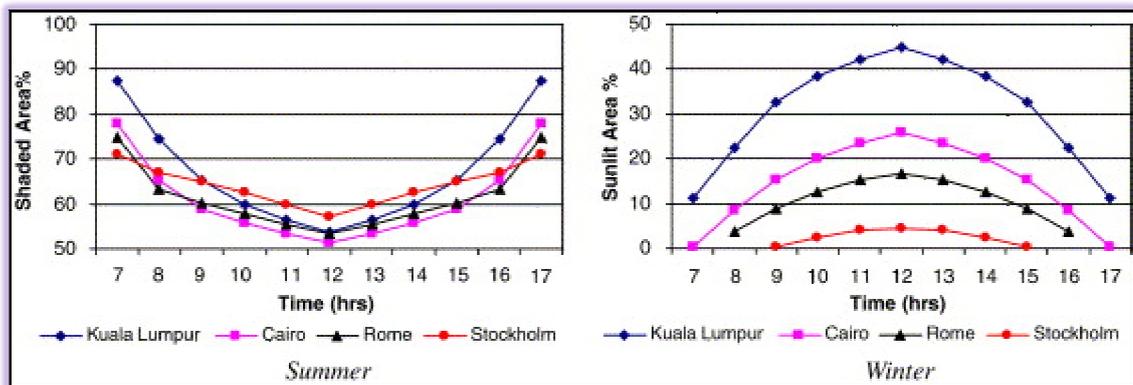


Figure-IV.7 : le pourcentage de la surface exposée et protégée selon le temps (été et hivers)  
Source : Muhaisen A, 2005

#### V.2.4.1-Les résultats :

La lecture des graphes montre que le pourcentage de la surface ombragée ou ensoleillée prend une forme symétrique, concave en été et convexe en hiver. Pendant l'été, le pourcentage de la surface ombragée se décroît lorsque le temps s'approche de 12h00, car le soleil est très élevé dans le ciel, au lever et au coucher du soleil l'ombrage atteint son maximum, parce que le soleil cette fois est très bas. On signalant la présence d'une différence entre les quatre villes, À midi, le pourcentage maximum de l'ombrage est observe à Stockholm (58%) tandis que le minimum est signalé au Caire (51.5%). Pour Kuala Lumpur and Rome, ce pourcentage est égal à une valeur de 54%. Cependant, si on examine d'autre temps, ces taux ne sont pas par cet ordre. Par exemple, à 7h00 le maximum est signalé à Kuala Lumpur (88%), bien que le minimum soit de (71%) pour la ville de Stockholm.

Dans une journée d'hiver : l'allure des graphes est reversée par rapport à l'été, la surface maximale ensoleillée est marquée à midi car le soleil est plus haut, après se décroît graduellement de part et d'autre. On remarque toujours une différence entre les régions étudiées, en hivers, la tendance montre clairement l'effet de la latitude sur la surface ensoleillée, les hautes latitudes ont un indice d'exposition minimum par rapport aux celles qui sont basses pendant l'hiver. Le taux maximum de la surface exposée au soleil est remarqué à

midi avec les valeurs 45%, 26%, 17% et 4.5% respectivement pour les villes Kuala Lumpur, le Caire, Rome et Stockholm.. Voir tableau V.4

La ville	Pourcentage de la surface ombragée	Pourcentage de la surface ensoleillée
Kuala Lumpur	54%	45%
Caire	51,5%	26%
Rome	54%	17%
Stockholm	58%	4,5%

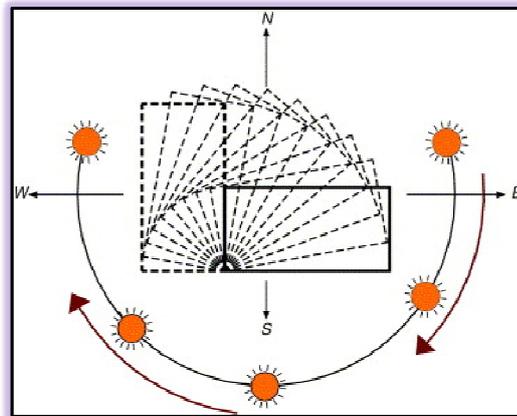
**Figure-V.4 : le pourcentage de la surface ombragée et ensoleillée dans les différentes villes**

Source : Muhaisen A, 2005

### V.2.5-L'effet de l'orientation :

L'orientation du patio joue un rôle primordial dans leur comportement thermique et automatiquement sur les espaces entourés par celui-ci.

Les conditions de l'investigation sont les même que celles de l'effet de la course journalière du soleil, le changement se réside seulement dans l'angle du patio de 0 à 90° avec un pas de 10°. Les résultats de la simulation sont synthétisés dans le graphe-V.8



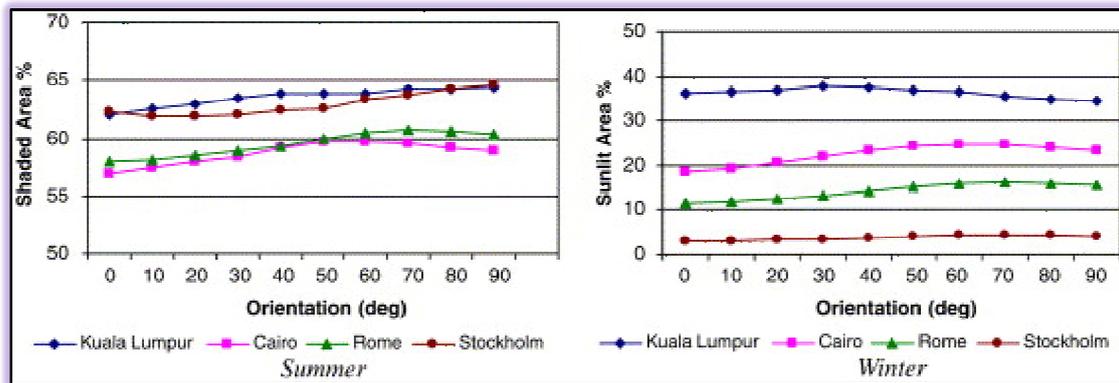
**Figure-V. 7: les orientations simulées**

Source : Muhaisen A, 2005

➤ **Été** : le pourcentage de la surface ombragée maximale est important avec un angle de 60° à 70° respectivement pour les deux villes le Caire et Rome. Et avec un angle de 90° pour Kuala Lumpur et Stockholm où le taux maximal est obtenu lorsque la forme est allongée selon l'axe nord-Sud. Alors que le pourcentage de la surface protégée minimale est remarqué avec une orientation Est-Ouest (0°) pour toutes les régions étudiées, après, elle augmente au fur et à mesure en augmentant l'angle mais avec une cadence légère, alors que pour le Caire et Rome on signale une diminution légère.

➤ **Hiver** : la différence entre les villes dans cette période est plus claire, l'exposition au soleil sera plus grande lorsqu'on rapproche vers l'angle 30° pour la ville de Kuala Lumpur, au delà de cet angle on remarque une réduction de la surface ensoleillée (c'est l'angle optimal).

Alors que les autres régions, la surface ensoleillée est grande entre l'angle 70°-80°, ces angles se sont presque les angles qui produisent le maximum de protection dans la période estivale.



Graph-V. 8 : l'effet de l'orientation sur la surface ensoleillée

Source : Muhaisen.A et Gadi.M , 2006

V.2.6-Les ratios optimaux :

Il n'est pratique de supposer un ratio spécifique, mais plutôt, il s'agit de donner un intervalle de R1 et R2 pour obtenir une performance pour les deux saisons les localisations testées, une protection optimale pour la période d'été et une exposition au soleil encore optimale pour la période d'hiver.

-Un ratio optimal pour la saison chaude : est celui qui produit un pourcentage maximum des surfaces ombragées.

-Un ratio optimal pour la saison froide : est celui qui produit un pourcentage maximum des surfaces ensoleillées. Le tableau suivant donne les ratios optimaux pour chaque ville :

Location	Été		hiver		Acceptable réduction	
	Optimum ratio	Valeur Maximal (%)	Optimum ratio	Valeur Maximal (%)	Été (%)	hiver (%)
<b>Kuala Lumpur</b>	$R_1=1, R_2=0.1$	95.3	$R_1=10, R_2=1$	44	40	40
<b>Caire</b>	$R_1=1, R_2=1$	82.6	$R_1=10, R_2=1$	37.5	35	50
<b>Rome</b>	$R_1=1, R_2=0.1$	92.4	$R_1=10, R_2=1$	30.8	40	40
<b>Stockholm</b>	$R_1=1, R_2=0.1$	96.7	$R_1=10, R_2=1$	5.6	50	40

Tableau-V.5 : les ratios optimaux pour les deux périodes

Source : Muhaisen, S A, 2005

D'une manière générale, le rang recommandé des ratios pour avoir la protection et l'exposition optimales se diverse selon la localisation et bien sure les conditions climatiques de chaque ville :

*Kuala Lumpur* : R1 entre 3 et 7 avec des formes de profondeur moyenne et presque toutes les valeurs de R2 sont autorisées. *Caire* : R1 entre 4 et 8 avec des formes peu profonds.

*Rome et Stockholm* : R1 avec des valeurs importantes et même pour R2 aussi, généralement, il est recommandé des formes de petite profondeur. A cause de la faible hauteur du soleil presque pendant dans toute l'année.

### **V.1. 7- Note importante N°2 :**

Les conditions climatiques ont un rôle déterminant sur la performance du patio et par conséquent sur les ratios recommandés dans chaque région. La position du soleil a une relation directe pour régénérer l'ombre dans les formes choisis (considérés). Généralement, on obtient un ombrage minimum sur les surfaces internes du patio lorsque le soleil est plus haut dans le ciel.

Pendant l'été, le taux de la surface protégée se diminue graduellement dans n'importe quelle situation, lorsque la forme du patio sera superficielle (peu profonde). En hiver, le patio peu profond offre la possibilité d'augmenter la surface ensoleillée. Et cela est dû à la capacité des rayons solaires d'entrer à l'enveloppe intérieure du patio.

Donc, la hauteur du patio joue un rôle très important dans la demande énergétique, son rôle est déterminant essentiellement pendant la période hivernale. Une forme plus haute demande moins d'énergie pour le chauffage par rapport à une forme basse, R1=10 (une différence de 35KW), et cela revient à sa capacité de minimiser les déperditions.

Dans le climat chaud et humide, il est recommandé d'avoir un patio avec R1 entre 3 et 7, avec R2 n'importe. Pour le climat chaud et sec, on choisit de préférence des formes qui tendent à être légèrement peu profond (légèrement superficielle) R1 entre 4 et 8, avec R2 n'importe.

Pour le climat tempéré et froid, il est utile de prévoir des formes superficielles pour permettre aux rayons solaires d'accéder aux murs et sols de l'enveloppe interne du patio. La hauteur optimale est :

3 niveaux : climat chaud et humide (Kuala Lumpur)

2 niveaux : climat chaud et sec et climat tempéré (Caire, Rome)

Un seul niveau : climat froid (Stockholm)

Changer l'élongation des formes rectangulaires n'a pas d'influence sur l'ombre portée Sur l'enveloppe interne du patio, cela à cause de la grande hauteur du soleil. (Spécialement pour le climat chaud et tempéré), ce qui donne des surfaces ombragées égales pour différent valeurs de R2.

L'un des paramètres que l'architecte est sensé manipuler au tout début du projet concerne l'orientation du bâtiment. De celle-ci vont dépendre les conditions d'ensoleillement des parois internes du patio. Pour le climat chaud et humide, on a remarqué que l'orientation du patio selon l'axe Nord-est/sud-ouest est désirable pour atteindre une performance

raisonnable, tandis que, dans le climat tempéré et froid, il est souhaitable d'orienter le patio selon l'axe : Nord/Sud.

Une orientation entre Nord-est/Sud-ouest et Nord/ Sud pour le climat chaud et sec assure une performance efficace dans les deux saisons. L'auteur montre que des expositions différentes d'ensoleillement peuvent conduire à une différence des surfaces ombragées ou ensoleillées d'une orientation à une autre.

### V.3- L'étude de Rajapaksha. I et al : la cour ventilée comme stratégie passive pour le refroidissement dans le climat chaud et humide (climat tropical) :

Le climat tropical chaud et humide est caractérisé principalement des hautes températures et la présence des hauts niveaux de l'hygrométrie, l'utilisation de la ventilation naturelle est recommandée comme option de refroidissement appropriée pour la prévention de la modification de climat surchauffant et d'intérieur

Cette étude vise à illustrer une approche de refroidissement passive qui a été employée pour exploiter l'utilisation optimal de la ventilation naturelle en empêchant les surchauffes intérieur et en abaissant la température au-dessous du niveau ambiant. L'illustration est concentrée sur un type particulier de bâtiment qui a une cour interne en étudiant l'exécution et l'efficacité des stratégies de conception utilisées dans une maison à un seul niveau avec cour dans le banlieue de Colombo, Sri Lanka.

**V.3.1- Présentation des cas d'étude :** Cette recherche étudie le potentiel d'une cour pour le refroidissement passif dans un bâtiment composé d'un seul étage avec cour (elle occupe le centre de la masse), avec une forme rectangulaire d'une surface de 230m<sup>2</sup>. Le contact avec l'extérieur se fait à travers la cour est les quatre ouvertures (Op1, Op2, Op3 et Op4), voir figure (V.8). Bien qu'il y ait d'autres ouvertures sur l'enveloppe de bâtiment (des portes et des fenêtres), ils sont restés fermer au cours de la période d'étude.

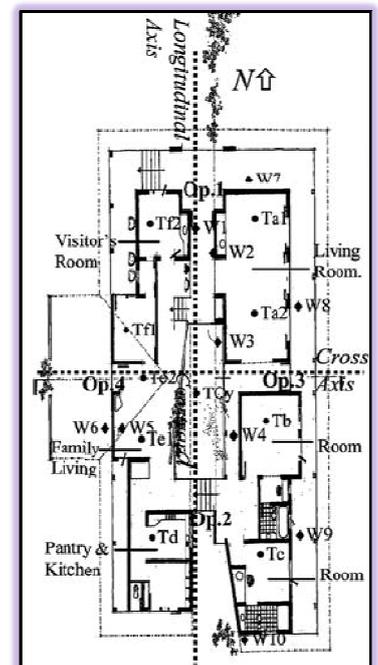
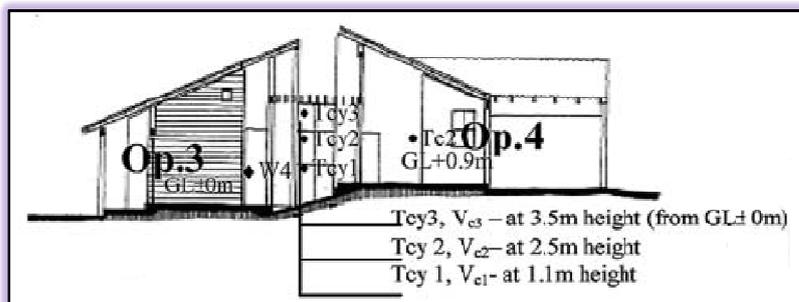


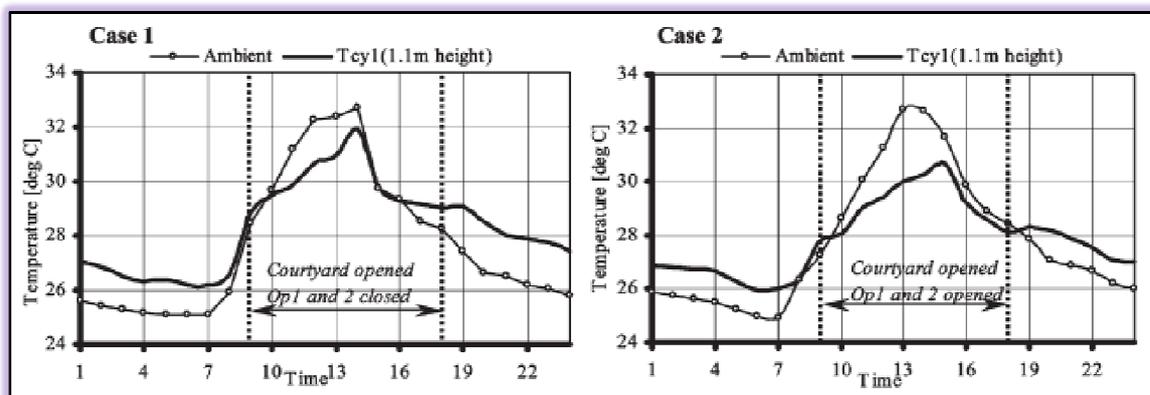
Figure-V. 8: le plan et la coupe de la maison testée  
Source : Rajapaksha.I et al, 2002

### V.3.2-L'évolution de la température de l'air :

La courbe de la température dans la cour a suivi la température ambiante. On observe une réduction de la température de l'air de la cour au-dessous du niveau ambiant dans les deux cas 1 et 2 pendant la nuit. La température de l'air maximal de la cour est 32°C a été enregistrée dans la même heure que celle de la température ambiante de 32,7 °C à 14h00 h dans le cas 1. La modification de la température de l'air est seulement 0,7 °C.

Dans le cas 2, la température de l'air maximal de la cour a diminué de 2°C au-dessous du maximum ambiant à 15h00 h, alors que le maximum ambiant a été enregistré avant 2 h .Ces résultats indiquent une réduction claire des températures de l'air de cour pendant la journée dans le cas 2.

Ces résultats indiquent qu'une réduction relativement plus grande de températures de l'air dans le cas 2 dus à la ventilation qui traverse la cour.

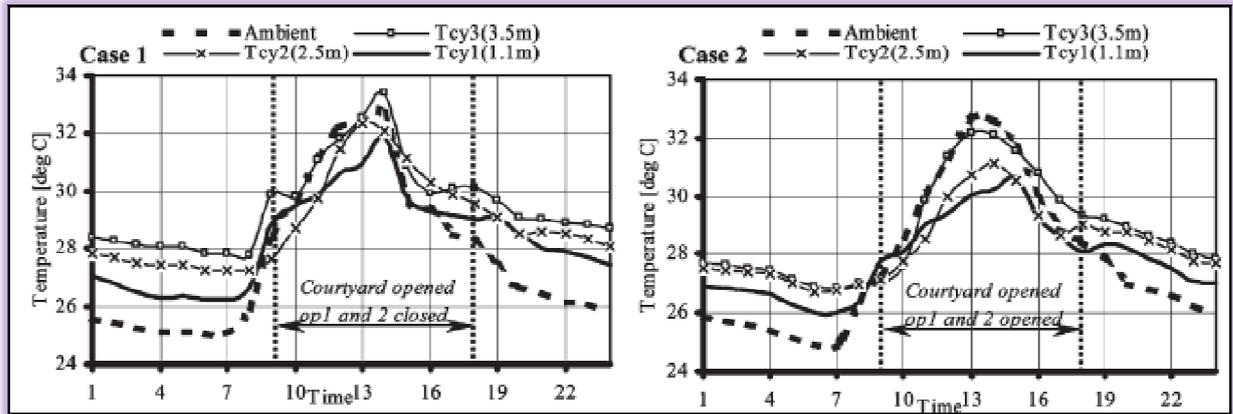


Graph-V.9 : le profil de la température ambiante et la température dans la cour (1.1m)

Source : Rajapaksha. I et al, 2002

### V.3.3-Le profil vertical de la température :

Le graphe V.10 montre le profil de température vertical dans la cour pour les deux cas 1 et 2. La lecture préliminaire du graphe montre clairement la stratification des températures selon la hauteur. Néanmoins, la température de jour maximal est de 33,4°C signalée avec une hauteur de 3.5m dans la cour et au-dessus de la température ambiante dans le cas 1, tandis que la température maximale du point le haut est demeuré au-dessous de l'ambiant maximum dans le cas 2. Aussi, on note l'abaissement des températures de l'air (au-dessous de l'ambiant) aux niveaux inférieurs et moyens (à 1.1 et 2.5m) dans la cour sont plus grandes dans le cas 2 que dans le cas 1. Les résultats obtenus pour la stratification thermique verticale indiquent que les températures dans la cour sont au-dessous des niveaux de température ambiante pendant la journée en ouvrant les deux ouvertures (1 et 2) trouvées dans l'enveloppe externe.

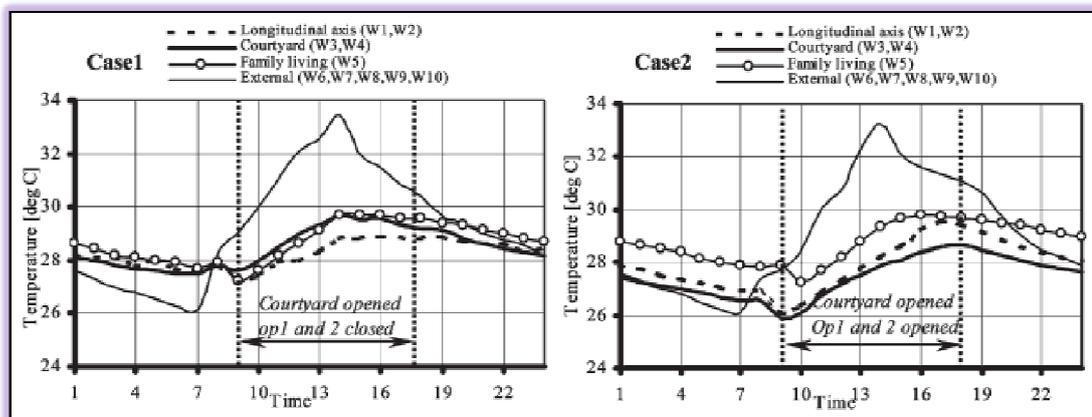


**Graph V. 10 : le profil de la température ambiante et la température vertical dans la cour (à 1.1, 2.5 et 3.5m)**  
 Source : Rajapaksha. I et al, 2002

**V.3.4-Température intérieure et confort thermique :**

Les températures d'air à l'intérieur de la maison ont été comparées aux températures mesurées dans la cour (moyen de Tcy1 à 1.1m et de Tcy2 à 2.5m) et aux températures ambiantes extérieures afin d'étudier l'influence de la cour sur l'environnement d'intérieur.

D'après le graphe (V.11) les températures de l'air près de l'ouverture 1, dans la cour et à l'intérieur de la maison sont plus ou moins stables par rapport aux températures extérieures. Cette figure prouve aussi, que les températures d'air à l'intérieur du bâtiment sont demeurées au-dessous des niveaux de la cour pendant la journée dans le cas 1, alors pour le cas 2 est l'inverse. De qui explique l'effet de la vitesse de l'air sur les températures de l'air dans la cour.



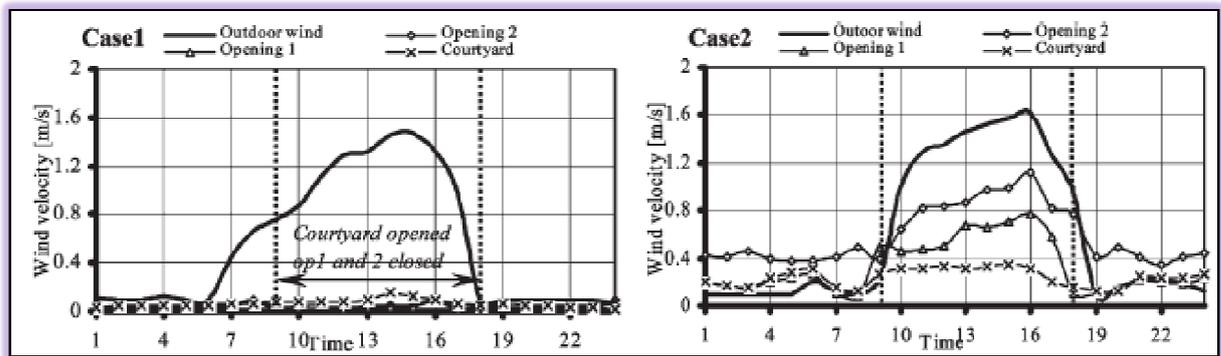
**Graph V. 11: le profil de la température ambiante, la température dans la cour (la moyenne de 1.1, 2.5m) et les températures extérieures**  
 Source : Rajapaksha. I et al, 2002

Dans le cas 1, les chercheurs ont trouvée (PMV = 2,2) qui représente les plus mauvaises conditions thermiques avec l'environnement intérieur désagréable et chaud tout au long de la

journée. Dans le cas 2, les meilleures conditions thermiques avec ( $PMV = 0,2$ ), l'environnement intérieur est confortable. Cependant, le problème réel se pose quand l'hygrométrie se déplace à des niveaux plus élevés pendant le tôt nuit où les températures d'air à l'intérieur des bâtiments demeurent environ 28-29 °C. Ceci rend nécessaire le besoin de légère brise pendant la nuit pour améliorer le confort intérieur.

### V.3.5-La vitesse de l'air :

D'après les deux graphes, il est clair que la vitesse de l'air à l'extérieur est plus élevée que l'intérieur. En signalant des différences entre les deux cas. Dans le cas 1 les vitesses de l'air sont proches de zéro (c'est calme), par contre, le cas 2 et grâce à la ventilation transversale depuis les deux ouvertures (1 et 2) la vitesse de l'air est variable surtout pendant la journée. En marquant un maximum pour le point de sortie du vent (près de l'ouverture 2). Cela influe sur les températures dans la cour, mais aussi sur l'ambiance thermique intérieure.



Graphe-V. 12: la vitesse de l'air dans la cour et près des deux ouvertures

Source : Rajapaksha. I et al, 2002

### V.3.6-Note importante N°3 :

Les résultats obtenus à partir de cette recherche montrent l'effet d'une cour pour le refroidissement passif dans un bâtiment résidentiel à un seul niveau situé dans un climat humide chaud. Dans ce type de climat, il est indispensable d'avoir une ventilation pour rétablir le confort thermique car la maison introvertie ne répond pas en terme de confort thermique, une ventilation transversale est encore mieux. Ainsi, une modification thermique intérieure relativement meilleure est vue quand la cour agit en tant qu'entonnoir d'air déchargeant l'air chaud de l'intérieur des bâtiments vers le ciel.

Le taux optimum de flux d'air qui correspond à la meilleure modification thermique de plus de 1 °C au-dessous le niveau ambiant est trouvé entre 1.5-2.0 ACH.

#### V.4- L'étude de Tablada.A et al : La ventilation naturelle et le confort thermique dans l'environnement urbain compact (cas de Havane) :

##### V.4.1- Présentation du climat de Havane :

Havane est localisé près de tropique du cancer, le climat de cette ville est caractérisé par une combinaison des valeurs élevées de température et d'humidité de l'air qui peuvent produire des conditions inconfortables au cours de longues périodes de l'année. Le moyen journalière de la température maximale dans le mois d'août est de (31,4 °C), le moyen minimal quotidien est de (23,8 °C), avec une humidité très élevée, le maximum journalière est (91%) tandis que le minimum est de (68%).

##### V.4.2- Présentation des cas d'étude :

La plupart des villes cubaines ont été fondées pendant le processus de la colonisation, après l'arrivée des Espagnols en 1492. Elles sont construites selon le modèle espagnole avec des facteurs climatiques de l'Espagne du sud et pas ceux des conditions humides, avec l'influence de la tradition islamique qui a donné les maisons caractère introverti.

Les figures suivantes (v.9) présentent les trois maisons objet de l'étude.

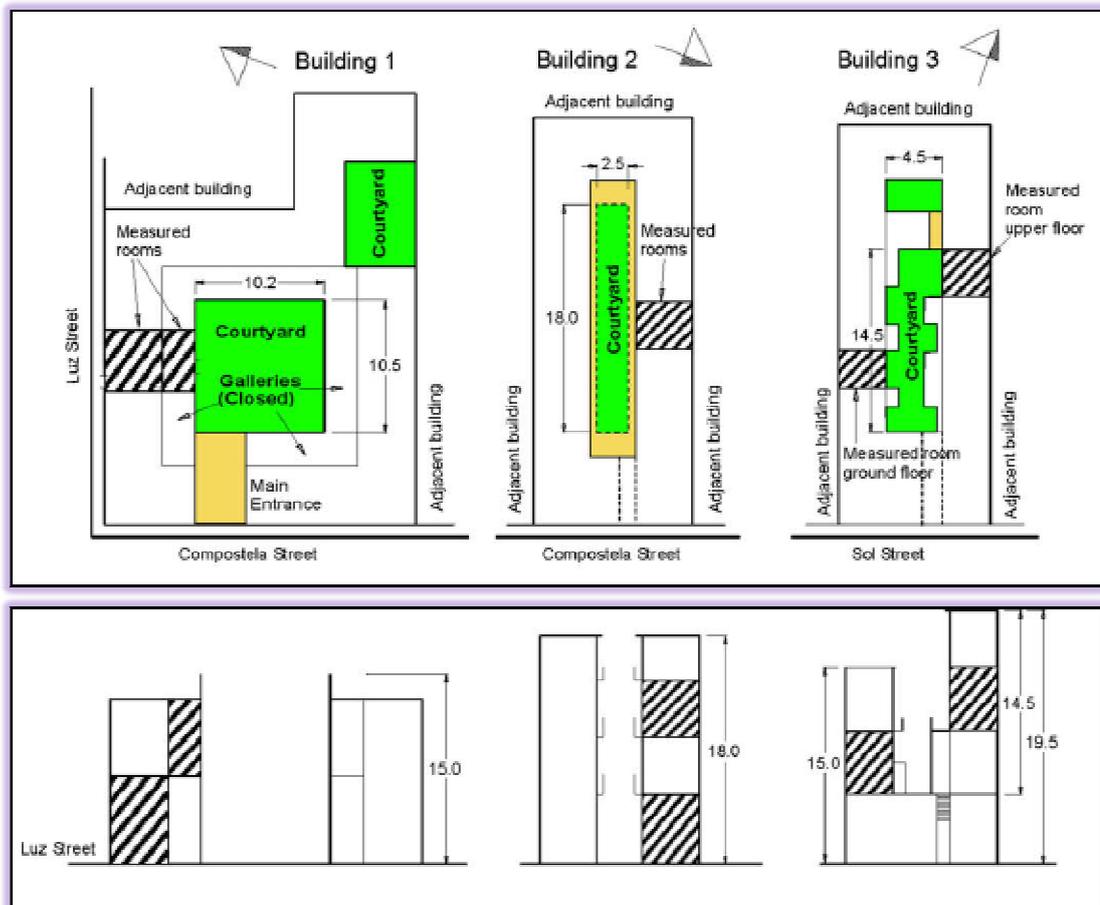


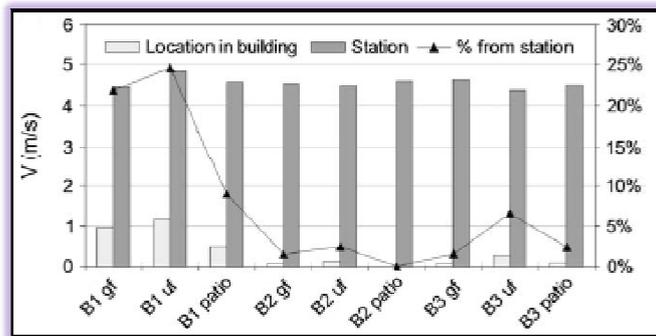
Figure-V. 9: plans et coupes des trois maisons étudiées

Source : A.Tablada et al 2008

### V.4.3- Les résultats :

#### V.4.3.1- L'évolution de vitesse de l'air mesurée :

Le graphe (V.13) présente la vitesse de l'air moyenne mesurée dans les trois bâtiments et la vitesse du vent correspondante à la station météo. La lecture de ce graphe indique que la vitesse de l'air à l'intérieur de du bâtiment 1 et dans le patio est élevée par rapport aux autres maisons, et cela est dus à la position de la maison 1 au coin (la présence de deux façades donnant sur la rue), la cour plus large, et la présence des ouvertures donnant sur la rue et d'autres sur le patio ceci favorise la ventilation transversale. Alors que les valeurs les moins élevées sont remarquées dans le patio le plus étroit.

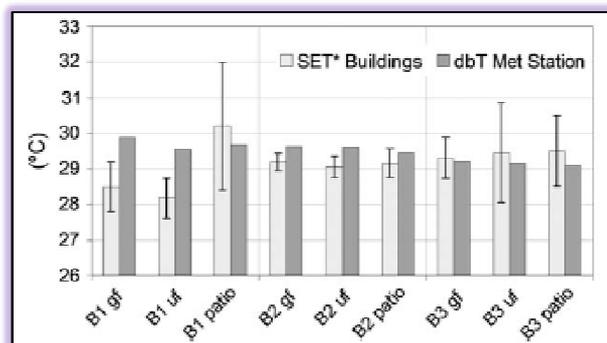


Graphe-V. 13 : Vitesse de l'air mesurée dans les trois maisons

Source : Tablada.A et al, 2008

#### V.4.3.2- L'évolution de la température effective standard (S.E.T) :

D'après la figure (V.14), on remarque que les valeurs de SET sont importantes dans les patios grâce à l'effet des radiations où le maximum est signalé dans le patio le plus large, les meilleures valeurs intérieures sont remarquées dans le bâtiment 1, parce que cette maison est bien ventilée ce qui provoque une diminution de la température de l'air est donc sur la température effective standard (SET=28.3°C dans la pièce à l'étage). La température dans le patio est de 30.15°C, c'est-à-dire une différence de 1.85°C entre l'intérieur et l'extérieur dans le bâtiment 1. Alors que les bâtiments 2 et 3 présentent des températures intérieures supérieures par rapport à celles du bâtiment 1, avec les valeurs 29.1 et 29.4 °C respectivement pour le bâtiment 2 et 3. Mais grâce à l'effet de l'ombrage on remarque que la température dans le patio (maison 2 et 3) est inférieure à celle du patio 1.



Graphe-V. 14: SET dans les trois bâtiments

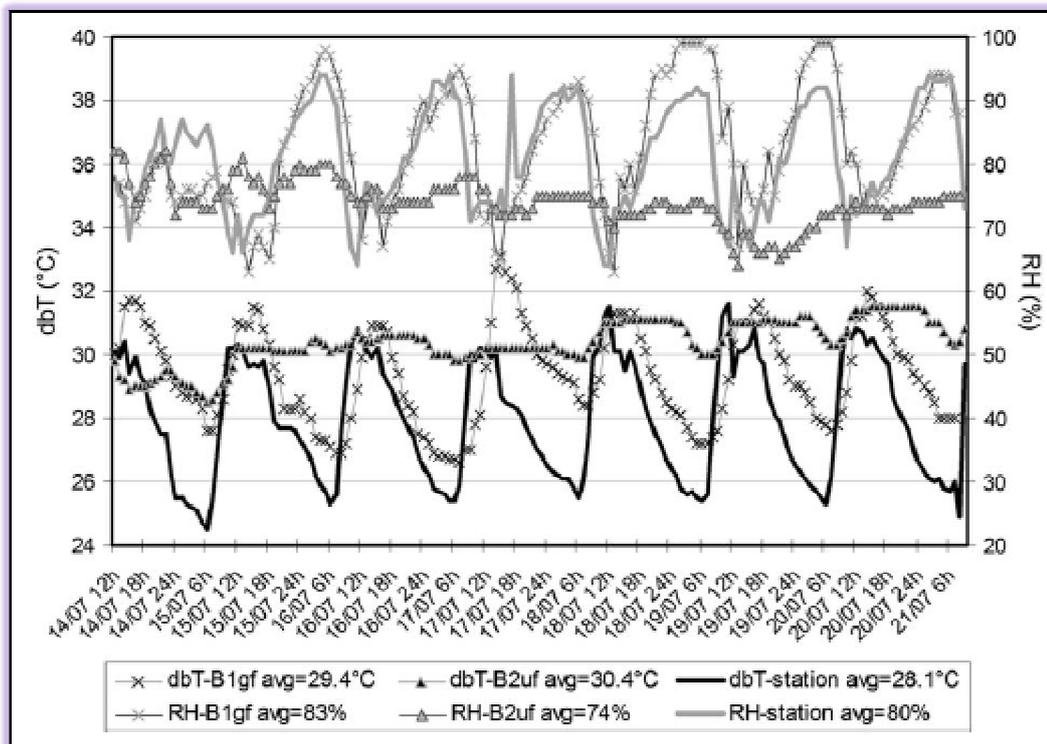
Source : Tablada.A et al, 2008

#### V.4.3.3- L'évolution de la température et l'humidité de l'air :

D'après le graphe (V.15), montre les mesures de la température et l'humidité à l'intérieur de l'appartement de rez-de-chaussée du bâtiment 1 et de l'appartement de l'étage du bâtiment 2.

Il y a une corrélation claire entre la température et l'hygrométrie dans l'appartement du bâtiment 1 et ceux à la station météorologique, ceci n'est pas le cas pour l'appartement dans le bâtiment 2, où les conditions sont plus stables mais défavorables pour le confort (la température et l'humidité de l'air sont élevés). Cette différence est dictée principalement par le régime de la ventilation dans les deux bâtiments.

Donc, sous l'effet de la ventilation transversale, les ambiances intérieures profitent du rafraîchissement en été mieux que la ventilation unilatérale. Dans les cas testés par Tablada.A et al explique clairement que la vitesse de l'air est très importante que l'effet de l'ombrage pour rétablir le confort thermique.



Graphe-V. 15 : L'évolution de la température et l'humidité de l'air dans les pièces testées

Source : Tablada.A et al, 2008

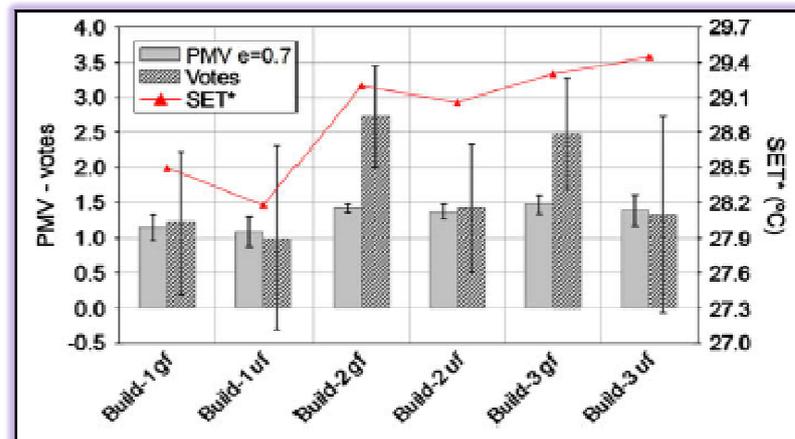
#### V.4.3.4- Les sensations thermiques vis-à-vis de l'ambiance thermique :

Dans cette partie, l'enquête thermique de sensation est limitée pour analyser les différences possibles entre la sensation thermique prévue par le vote moyen prévisible (PMV) et les sensations thermiques réelles des personnes dans la région de Havane.

A. Tablada et al utilise le PMV prolongé qui propose une réduction du niveau d'activité (MET) quand le PMV est plus haut que zéro (des conditions plus chaudes). Le modèle corrigé réduit le taux métabolique de 6,7% pour chaque valeur de PMV au-dessus de la neutralité. Il inclut également un facteur "e" (facteur d'espérance), qui prend en considération l'acceptabilité plus élevée des ambiances thermiques pour les personnes qui vivent dans les régions avec une longue période chaude dans les bâtiments naturellement ventilé (e=1 pour des bâtiments climatisés, e=0.5 lorsque le bâtiment est naturellement ventilé).

Les votes des usagers étaient 1,76 et 1,70 respectivement sur les échelles d'ASHRAE et de Bedford, alors que la valeur de PMV était 2. Les sujets considèrent que l'ambiance thermique est chaude, de ce fait, leur préférence était vers des conditions plus fraîches.

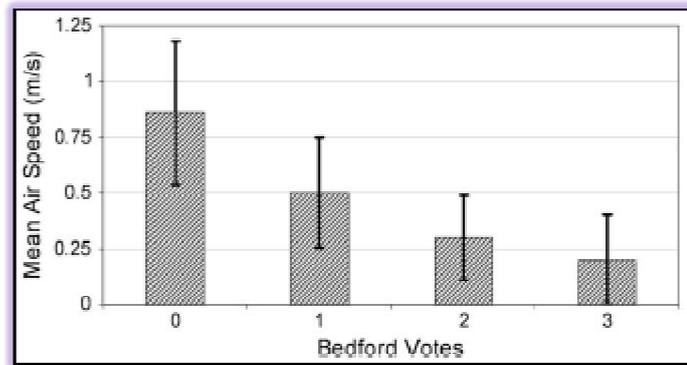
La figure-V.16 prouve que les usagers des bâtiments 2 et 3 et plus précisément les appartements de rez-de-chaussée ont répondu hypercritiques par rapport aux réponses des sujets du bâtiment 1. La moyenne des votes sans considérer les réponses hypercritiques des appartements de rez-de-chaussée des bâtiments 2 et 3 est 1,31 et 1,27 respectivement sur l'échelle d'ASHRAE et de Bedford, qui sont très semblables à la valeur de PMV prolongé avec e= 0,7 (PMV<sub>ext</sub>=1,33)



Graphique-V. 16: PMV prolongé, les votes réels, SET, dans les trois bâtiments

Source : Tablada.A et al, 2008

La relation entre les votes (échelle de Bedford) et la vitesse de l'air est représenté dans la figure. Les résultats prouvent que les gens qui ont voté comme confortable sur l'échelle de Bedford étaient dans une situation avec une vitesse plus élevée d'air à l'intérieur des bâtiments que les personnes qui ont voté comme inconfortable. Ces différences sont en conformité avec les résultats des mesures sur le terrain (figures : 13,14 et 15).



Graph-V. 17 : Vitesse de l'air et les votes des usagers sur l'échelle de Bedford

Source : Tablada.A et al, 2008

**V.4.3.5- Note importante N°4:** Les recommandations de cette recherche sont :

-La combinaison d'une cour large principale avec une autre plus petit secondaire pour fournir la ventilation transversale dans les chambres qui ne sont pas directement relié à la rue. Encore la vitesse d'air à l'intérieur des bâtiments peut avoir un rôle plus important dans le confort thermique que la protection de la cour contre le rayonnement solaire dans ce contexte spécifique.

-Établissement d'une interconnexion entre la rue afin de favoriser la ventilation à l'intérieur du cours et les salles reliées.

-Les cours plus larges (semblables dans la forme et les dimensions au bâtiment (1) devrait avoir une protection solaire appropriée pour les fenêtres et sur les murs de la cour (perméable au vent) ou par des pergolas. Tandis que le plus étroit des cours est moins exposé au rayonnement solaire, la protection solaire devrait être considérée pour les salles de dernier étage.

**Conclusion :**

Ces recherches montrent clairement le rôle des paramètres géométriques du patio sur la réduction de la consommation énergétique et les gains de chaleur et donc sur le confort thermique. La forme la plus performante est conditionnée par la géométrie et les conditions climatiques, l'orientation et la course journalière du soleil.

D'abord, les conditions climatiques des villes examinées exercent un effet prédominant sur l'exécution du patio et par conséquent sur les ensembles recommandés de rapports. L'endroit du soleil s'est avéré pour avoir un rapport direct avec les conditions de l'ombrage produites sous les formes considérées. Généralement, plus le soleil est haut altitude, moins que les ombres ont produits sur les surfaces internes.

La performance dépend aussi de l'orientation et la hauteur de la cour, pour avoir une efficacité raisonnable, les auteurs recommandent ce qui suit :

- Climat chaud et humide, il de préférence d'orienter le patio selon l'axe Nord-est/sud-ouest avec une cour de quatre niveaux (R+3).
- Climat tempéré et froid, il est souhaitable d'orienter le patio selon l'axe : Nord/Sud, la hauteur pour un climat tempéré est trois niveaux (R+2) alors que pour le climat froid est de préférence d'avoir une maison avec un seul niveau
- Climat chaud et sec une orientation entre Nord-est/Sud-ouest et Nord/ Sud, avec un R+2

En outre, le rapport optimum de la cour a été défini en tant que celui ce qui permet à la forme de recevoir le rayonnement maximum pendant l'hiver et le minimum en été. Selon des dispositifs climatiques et les stratégies générales pour réaliser le confort dans chaque climat, un ensemble de rapports ont été recommandés pour réaliser une exécution efficace en été et hiver dans chaque type de climat.

Les résultats obtenus à partir de la recherche thermique sous un climat tropical montrent qu'une modification thermique d'intérieur relativement meilleure est vue quand la cour agit en tant qu'entonnoir d'air déchargeant l'air à l'intérieur des bâtiments dans le ciel, plutôt que la cour agit en tant que zone d'aspiration induisant l'air de son ouverture de ciel. Encore, d'après les études de Tablada.A et al, la ventilation transversale a un rôle important dans le confort thermique estival meilleur que la protection de la cour.

Enfin, ces recherches nous aident à mieux comprendre en quoi consistent les études dans ce domaine et quelles sont les préoccupations par rapport au sujet que nous traitons.