

# CHAPITRE II

## *FORME ARCHITECTURALE*

&

## *PERFORMANCES ENERGETIQUES*

## II.1. INTRODUCTION

Dans le travail de la conception architecturale, l'architecte doit proposer une forme architecturale adaptée à son environnement. Il doit rechercher une adéquation entre la conception et la construction de l'enveloppe habitée, le climat et l'environnement dans lequel l'habitat s'implante et les modes et rythmes de vie des habitants. Sous les climats tempérés, cette recherche d'équilibre s'exprime par deux grands principes : En période froide il faut favoriser les apports de chaleur gratuite et diminuer les pertes thermiques tout en permettant un renouvellement suffisant de l'air alors qu'en période chaude, il faut diminuer les apports caloriques et favoriser le rafraîchissement.

Pour arriver à cet équilibre, l'architecte travaille sur l'emplacement de la maison, son orientation, les volumes, les parois, les matériaux, les ouvertures....etc. Mais surtout, sur la forme de la conception qui doit être adéquate avec l'environnement entourant, offrant ainsi, des meilleures performances énergétiques.

Dans ce chapitre, nous présentons dans un premier temps les éléments du climat où nous exposerons quelques définitions issus de la littérature, utiles et nécessaire à la compréhension des chapitres qui vont être présentés ultérieurement. Dans un second temps, nous présentons les types des climats existants ainsi que leurs caractéristiques, en particulier le climat sec et chaud, où nous proposons quelques stratégies conceptuelle et technique de régulation thermique, dans le but est d'améliorer le confort dans ce type de climat.

## II.2. LES ELEMENTS DU CLIMAT

On peut distinguer un ensemble d'éléments, et de facteurs climatiques rapportés en catégories (RAYNAUD, 1984) :

- Facteurs énergétiques : rayonnement, lumière, et température.
- Facteurs hydrologiques : précipitation, et hygrométrie.
- Facteurs mécaniques : vents, et enneigements.

Dans le paragraphe ci-dessous, on passera à la présentation de l'ensemble d'élément constituant le climat :

## II.2.1. FACTEURS ENERGETIQUES

### II.2.1.1. L'ENERGIE SOLAIRE

#### II.2.1.1.1. L'ensoleillement

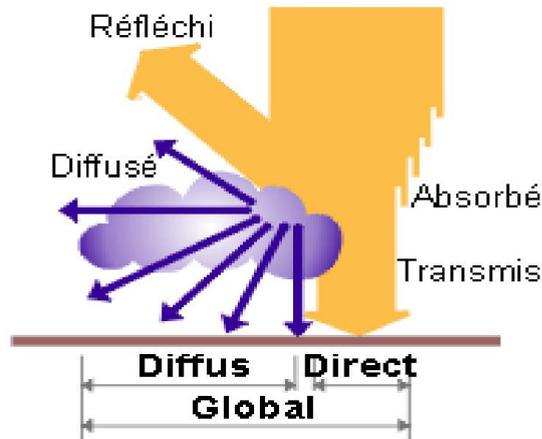


Figure. II.1. Bilan radiatif terrestre  
Source : Liébard A, 2002, p26

Le soleil est la seule grande source d'énergie thermique régissant le système climatique de la Terre. Comme la surface de la Terre est courbe, la quantité de rayonnement solaire incident n'est pas la même partout, les tropiques recevant le plus de chaleur et les régions polaires le moins. C'est cette différence de température entre les tropiques et les pôles qui induit les vents et les courants, lesquels redistribuent la chaleur et l'humidité autour de la planète. Si la quantité d'énergie émise par le soleil est constante, celle qui atteint le sol est variable, en fonction de divers paramètres. Le rayonnement solaire est le moteur thermique réchauffant la surface terrestre. Avant d'atteindre la terre, le rayonnement solaire doit traverser une masse gazeuse d'environ 8 kilomètres d'atmosphère. Ce parcours va se traduire par une diminution sensible du flux énergétique, due à des phénomènes de diffusion, diffraction, absorption et réfraction. La terre reçoit la radiation solaire, qui se compose de la radiation directe (celle qui provient directement du soleil), la radiation diffusées par les nuages (radiation diffuse) puis la radiation réfléchies quand elles rencontrent les objets donc le rayonnement total arrivant sur une surface peut se diviser en trois composants  $I = I_{Dir} + I_{dif} + I_r$ . L'importance du rayonnement solaire reçu à la surface du sol dépend de la spécificité de chaque région latitude du lieu, le relief (montagnes, vallées, rivières, etc.).

Le soleil joue un rôle considérable dans la conception architecturale. Le mur de l'architecture classique, par ses détails, saillies, retraits, cimaises, larmiers, rejette la goutte d'eau et accroche l'ombre et la lumière, marquant dans la façade les positions de l'astre solaire.

### II.2.1.1.2. Course du soleil

La représentation sphérique apparaît comme la plus commode pour déterminer la position du soleil dans le ciel. Celle-ci est repérée par deux angles fondamentaux, la hauteur et l'*azimut* (figure II.2) qui s'expriment à partir de la déclinaison  $\delta$ .

La déclinaison du soleil  $\delta$  est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre. (A. Khedim, 2005). Elle varie de  $-23^{\circ}27'$  au solstice d'hiver à  $+23^{\circ}27'$  au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes. (J.M.Chasser, 1984). Cette déclinaison est exprimée par la relation suivante :

$$\delta = 23,27 \sin [(j+284) 360/365]$$

Où :

j : est le jour de l'année compté à partir du 1<sup>er</sup> Janvier, de l'angle horaire  $\omega$  avec  $\omega=15(12-t)$

t : est l'heure de la journée déterminé par la position du soleil dans le ciel du lieu, et de la latitude (*lat*).

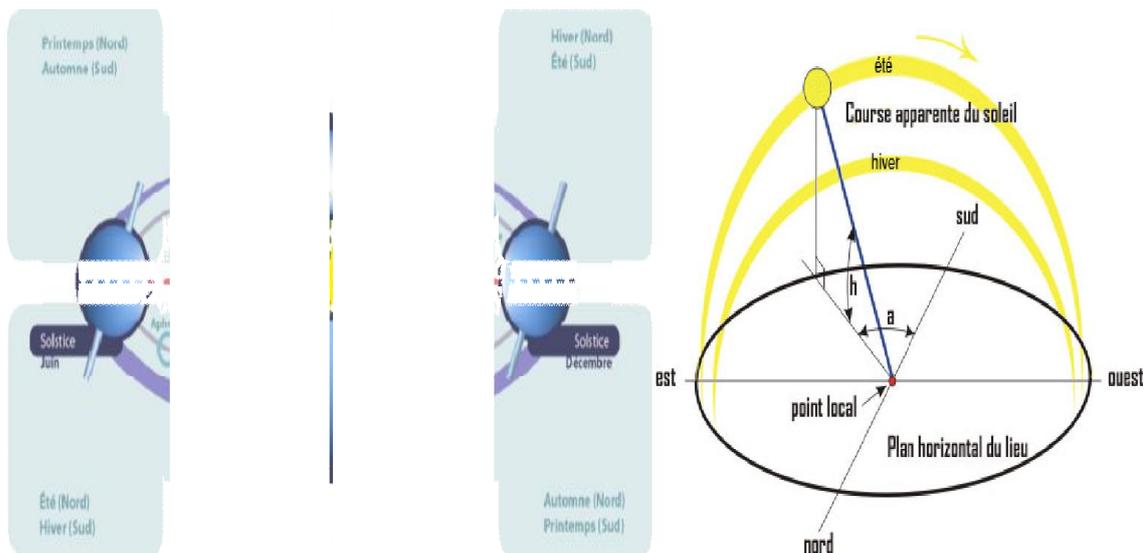


Figure II.2. Course du soleil. Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Latitude* :

La latitude d'un point se définit par sa distance angulaire à l'équateur, mesurée en degrés par l'arc du méridien terrestre. La latitude prend donc la valeur 0 à l'équateur.

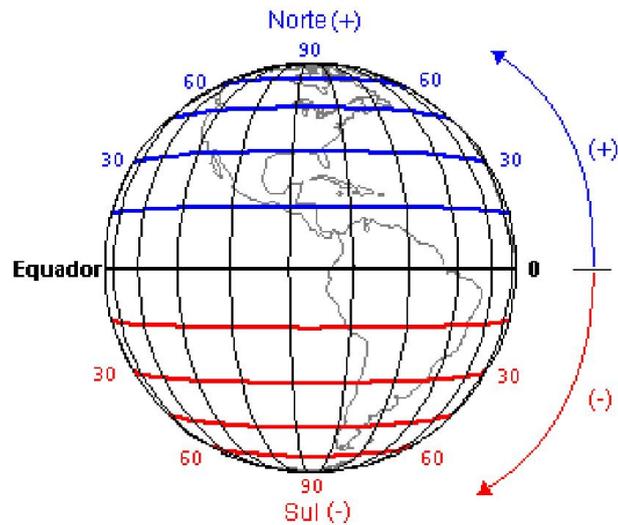


Figure II. 3. Latitude du soleil. Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Hauteur du soleil :*

La valeur de la hauteur du soleil ( $h$ ) est donnée par la formule :  $h = \delta + (90 - lat)$ .

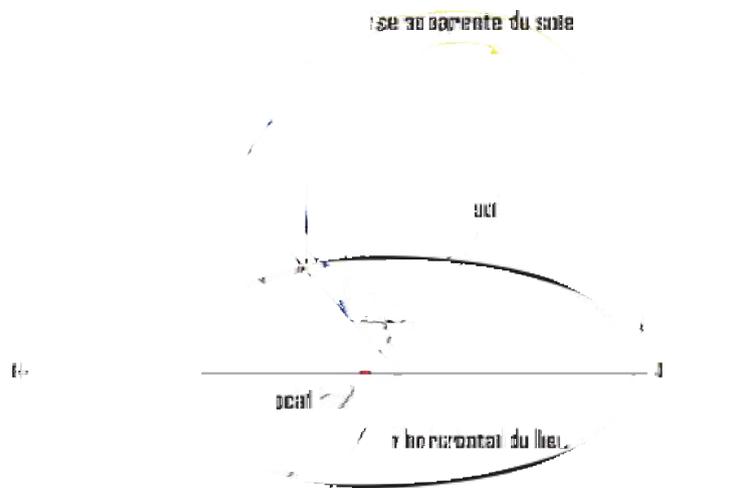


Figure II.4. Hauteur du soleil Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Azimut :*

L'azimut du soleil est l'angle formé par le plan vertical du soleil et le plan méridien du lieu.

Noté  $Az$ , il est donné par la relation :  $\sin(Az) = \cos(\delta) * \sin \omega / \cos(h)$ ,

où :

$h$  est la hauteur du soleil,  $\delta$  est la déclinaison et enfin  $\omega$  est l'angle horaire, exprimé en degrés.

L'azimut du soleil au sommet de sa trajectoire apparente est égale à  $0^\circ$ . Cette position correspond au midi solaire.



Figure II.5. Azimut du soleil. Source : Francis Domain - INES Education - Savoie Technolac - BP258 - F73375 Le Bourget du Lac - Novembre 2007.

### II.2.1.1.3. Diagramme solaire

Le diagramme solaire est un outil de représentation graphique de la course du soleil dans le ciel, qui pourra également être utilisé pour évaluer l'ensoleillement reçu par une surface, ainsi que l'effet des masques. Le repérage de la position du soleil à chaque instant s'effectuant au moyen de la hauteur, de l'angle verticale, de l'azimut et enfin de l'angle horizontale. Deux familles de diagrammes sont utilisées par les concepteurs pour représenter en un site donné les trajectoires du soleil :

- les projections cylindriques sur un plan vertical (système de coordonnées cartésiennes) (figure II.6)
- les projections sphériques sur un plan horizontal, axées sur le zénith. (Figure II.7)

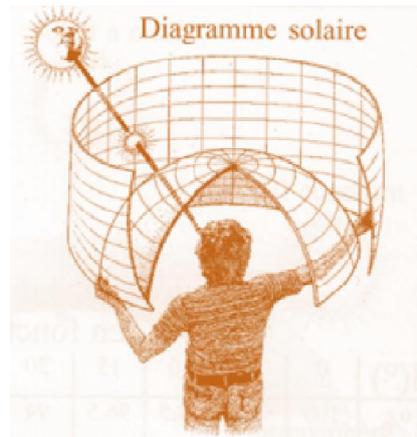


Figure II.6. Diagramme solaire. Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Utilisation d'une projection sphérique équidistance :*

La figure II.7 représente un diagramme solaire en projection sphérique zénithale équidistante. Si le nord est positionné en haut de la feuille et l'est à droite, ce diagramme se rapproche d'une carte ou d'un plan de bâtiment classique, ce qui facilite son maniement en relation avec l'enveloppe du bâtiment.

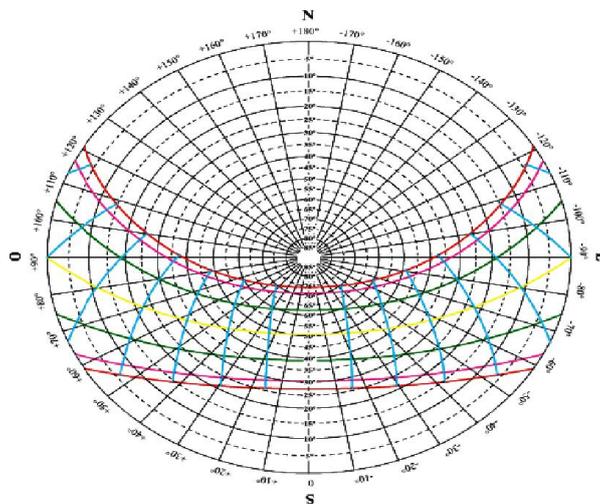


Figure II.7. Diagramme solaire établi pour la ville de Cagliari. Source : [www.energieplus-lesite.be/energieplus](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus).

Le zénith est au centre (pour  $h=90^\circ$ ), l'horizon sur la circonférence ( $h=0^\circ$ ). Une série de cercles concentriques intermédiaires, équidistants et gradués de  $10^\circ$ , représentent les iso-hauteurs ou angles verticaux. Les demi-droites ayant pour origine le point d'observation représentent les azimutes, angles horizontaux mesurés à partir de la direction du sud par les deux angles ainsi représentés. Hauteur et azimut en repéré la course journalière du soleil pour

les douze mois de la saison. Les positions horaires du soleil y sont précisées indiquant la durée du jour.

#### II.2.1.1.4. Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est le déplacement de l'énergie sous forme de radiations solaire, transmettant de la chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques constituant le spectre solaire.

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire subit une diminution d'intensité par absorption, réflexion, et la diffusion (Givoni. 1978). Ainsi l'ensemble de la radiation solaire estimé à 1.4 Kw/m<sup>2</sup> (communément appelé constante solaire) subit l'action suivante (Baker 1987) :

- 32% des radiations sont réexpédiées vers l'espace par réflexion lumineuse.
- 15% des radiations sont absorbées par l'atmosphère.
- 53% des radiations sont reçues par la surface de la terre, dont 47% sont absorbées par le sol, et 6% réfléchies.

#### II.2.1.1.5. Types de rayonnement solaire

➤ *Rayonnement direct :*

Rayonnement solaire est dit direct, quant il ne subit pas de déviations importantes dans sa cours à travers l'atmosphère. C'est le cas d'un ciel clair et dégagé de nuage.

➤ *Rayonnement diffus :*

On entend par là, le rayonnement qui, lors de son parcours, est dévié dans toutes les directions par des obstacles tels que : nuages, brouillard, molécules d'air, vapeur d'eau, ainsi que des aérosols.

➤ *Rayonnement global :*

Le rayonnement solaire parvient au sol soit directement (rayonnement direct), soit après diffusion par la voûte céleste et les nuages (rayonnement diffus).

Le rayonnement global est la somme de ces deux rayonnements, reçue sur une surface.

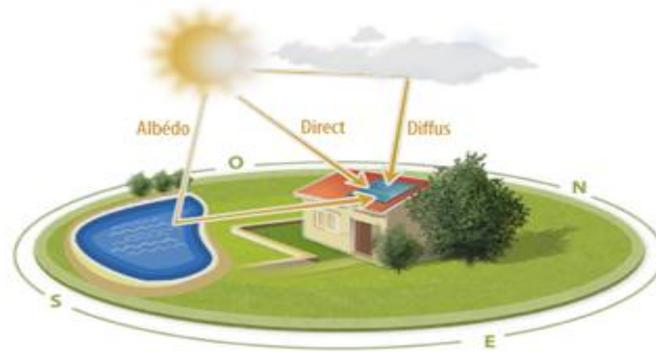


Figure.II.8. Le rayonnement global. Source : [www.sigma-tec.fr/textes/texte\\_parametres\\_installation.html](http://www.sigma-tec.fr/textes/texte_parametres_installation.html).

#### II.2.1.1.6. Les appareils de mesure du rayonnement solaire

Il existe plusieurs types d'appareils, utilisés pour mesurer le rayonnement, ces derniers sont :

- ✓ *Le pyrromètre* : Appareil permettant de mesurer la totalité du rayonnement arrivant sur la terre, y compris le rayonnement *infrarouge de grande longueur d'onde* émis par l'atmosphère et le sol. Il couvre donc des longueurs d'onde relativement importante

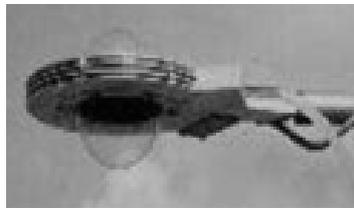


Figure II.9. Le pyrromètre. Source : Le gisement solaire, CNFPT – 21-23 février 2007 ;  
Noémie Poize – Rhônalénergie-Environnement

- ✓ *Les pyranomètres d'Eppley* : Il permet de mesurer un rayonnement de tout un hémisphère, dans une longueur d'onde allant de 0.3 à 3  $\mu\text{m}$ . Il ne capte donc pas les rayonnements infrarouges de grandes longueurs d'onde (dépassant 3  $\mu\text{m}$ ) qui sont notamment émis par l'atmosphère et le sol. (BERRICHON Jean-Damien).



Figure II.10. Le pyranomètre d'Eppley. Source : Le gisement solaire, CNFPT – 21-23 février 2007 ; Noémie Poize – Rhônalénergie-Environnement.

### II.2.1.2. LUMIERE DU JOUR

« La qualité intérieure d'un espace dépend de la quantité d'espace extérieur qui entre par le truchement de la lumière et de la transparence. » Franck Lloyd Wright

L'éclairage des lieux de travail ou d'études, par exemples, est un facteur environnemental essentiel pour assurer au personnel des conditions de travail adaptées à la tâche qu'ils ont à effectuer ou facilité la tache d'enseignement. Il doit :

- faciliter l'exécution d'une tâche quelconque,
- assurer le bien-être

#### II.2.1.2.1. Définitions de base

Dans le but de se familiarisé avec quelques notions liées à la photométrie (la science de la mesure des intensités lumineuses) tels que : le flux lumineux, l'intensité lumineuse, luminance, l'éclairement lumineux et enfin le contraste. Nous présentons dans le tableau ci-dessous (tableau II.1) quelques définitions de ces notions:

Termes	Définitions	Symboles	Unités
<i>Flux lumineux</i>	La quantité d'énergie émise par une source sous forme de rayonnement visible dans toutes les directions par unité de temps.	F	Lumen (lm)
<i>Intensité lumineuse</i>	Mesure de l'importance du flux lumineux émis dans une direction donnée par une source ponctuelle.	I	Candela (cd)
<i>Luminance</i>	Mesure de l'aspect lumineux d'une surface éclairée ou d'une source, dans une direction donnée et dont dépend la sensation visuelle de luminosité. L'appareil de mesure : luminancemètre. 	L	cd / m <sup>2</sup>

<p><i>Eclairage lumineux</i></p>	<p>La quantité de lumière reçue sur une surface d'un mètre carré. L'appareil de mesure : luxmètre.</p> 	<p>E</p>	<p>Lux (lx), 1 Lux = 1 Lumen / m<sup>2</sup></p>
<p><i>Contraste</i></p>		<p>Appréciation subjective de la différence d'apparence entre deux parties du champ visuel vues simultanément ou successivement. Il peut s'agir d'un contraste de couleur, d'un contraste de luminance.</p>	

D'autres termes fréquemment utilisés dans ce domaine, qui sont :

- *Facteurs de réflexion d'une surface* : rapport du flux lumineux réfléchi au flux incident.

Ce facteur précise l'aptitude d'une surface à réfléchir la lumière incidente.

- *Plan utile ou plan de travail* : c'est la surface de référence constituée par un plan sur lequel s'effectue normalement le travail. (GHURBURRUN R, 2005)

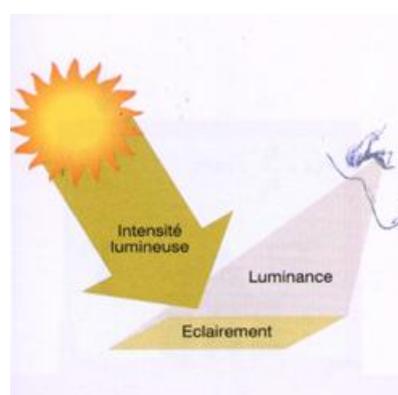


Figure II.11. Composantes de la lumière naturelle. Source : Ghurburrun Reena, Setta Faïza, Toulze Benjamin, (2005), l'éclairage des locaux de travail.

-*Eblouissement* : L'éblouissement peut être :

- *Direct*, quand la source lumineuse est dans le champ visuel ; s'il s'agit d'une source naturelle, le poste de travail doit être protégé du rayonnement solaire gênant.
- *Indirect*, lorsque l'éclairage est réfléchi sur des objets, des surfaces et le plan de travail.

Afin d'éviter cette gêne, provoqué par l'éblouissement, il est recommandé d'utiliser des surfaces mates ou des éclairages diffus à l'endroit de la tâche visuelle et même au niveau des sols et des plafonds.

#### II.2.1.2.2. Les conditions de ciel

Les nuages réduisent de façon significative l'éclairage. Par exemple, en été, le ciel est serein, l'éclairage horizontal au niveau de la mer peut atteindre les 100 000 lx. Par contre en hiver, caractérisé par un ciel couvert, l'éclairage horizontal extérieur est inférieur à 5000 lx.

#### II.2.1.2.3. Les modèles de ciel standard:

✓ *Le ciel uniforme* :

Cette situation correspond à un ciel couvert d'une couche épaisse de nuages laiteux où le soleil n'est pas visible. Sa luminance est donc constante en tout point du ciel à un moment donné.



Figure II.12. Ciel uniforme. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010.

Ecole d'architecture de Grenoble.

✓ *Le ciel couvert :*

Le ciel couvert, dit aussi ciel CIE (modèle établi par la Commission Internationale de l'Éclairage), correspond à un ciel de nuages clairs qui cachent le soleil.

La luminance au zénith est 3 fois plus élevée que la luminance de l'horizon.



Figure II.13. Ciel couvert. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d'architecture de Grenoble.

✓ *Le ciel clair :*

Le modèle du ciel clair représente la variation de la luminance en fonction de l'orientation et de la position du soleil, mais n'intègre pas le rayonnement solaire direct.

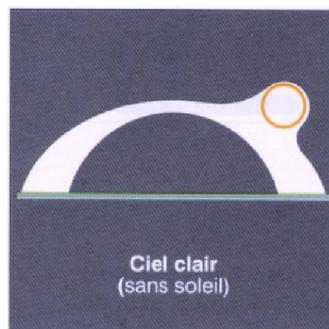


Figure II.14. Ciel clair. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d'architecture de Grenoble.

✓ *Le ciel clair avec soleil :*

Le ciel clair avec soleil prend en compte son rayonnement global, c'est-à-dire la somme des rayonnements directs et diffus.

Ce quatrième type de ciel correspond à un ciel serein dans lequel le soleil brille.

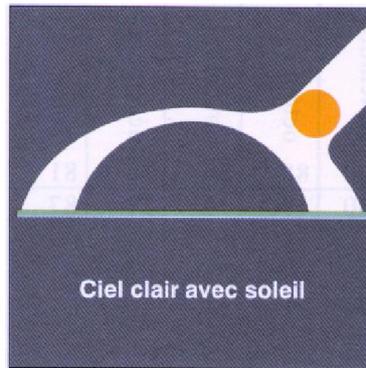


Figure II.15. Ciel clair avec soleil. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d’architecture de Grenoble.

#### II.2.1.2.4. Le facteur de lumière du jour (FLJ)

Comme la quantité de lumière naturelle peut varier de façon importante, on introduit un rapport de proportionnalité entre l’éclairement extérieur et celui disponible à l’intérieur du local. C’est ce qu’on appelle le **facteur de lumière du jour** (FLJ) et il se calcule ainsi :

$$FLJ = (E_{int} / E_{ext}) \times 100 \quad (\text{Daniel, Jean.P, Loïc. H, et All. 2007})$$

où :

$E_{int}$  = niveau d’éclairement horizontal à l’intérieur du local.

$E_{ext}$  = niveau d’éclairement horizontal extérieur en site dégagé.

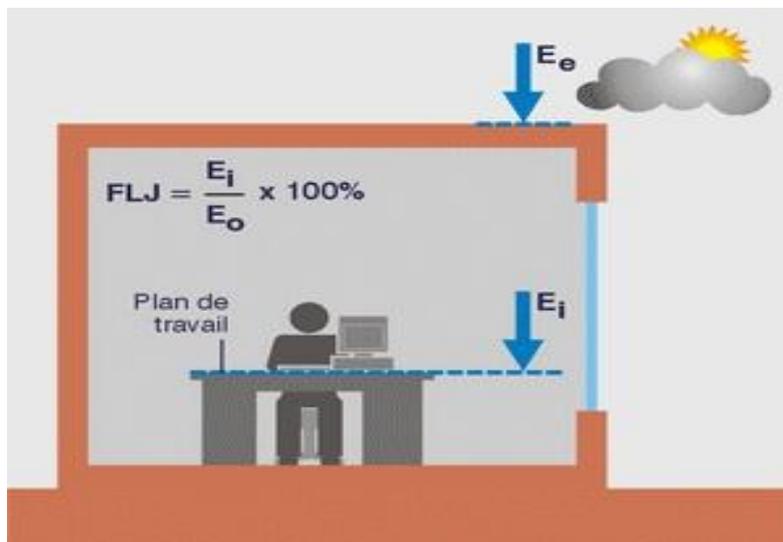


Figure II.16 – Facteur de lumière du jour. Source : (Daniel, Jean.P, Loïc. H, et All. 2007)

#### II.2.1.2.4.1. Le facteur de lumière du jour et fonction des bâtiments

Le FLJ diffère d’un endroit à un autre, par exemples :

✓ *Dans les bureaux :*

L'évolution récente de l'architecture tend à favoriser l'éclairage naturel, qui est par ailleurs obligatoire. On rectifie ainsi la tendance des décennies précédentes caractérisée par l'omniprésence de l'éclairage artificiel, souvent en service en pleine journée dans des bâtiments comportant de nombreux locaux aveugles ou des postes de travail très éloignés des fenêtres. Cette tendance actuelle s'accompagne, hélas, trop souvent, d'un contrôle (très) insuffisant des apports solaires thermiques et des éblouissements provoqués par le contraste excessif généré par les grandes baies vitrées.

✓ *Dans l'habitat :*

L'éclairage naturel est toujours l'éclairage principal du logement. Il doit être "contrôlé" : sa modulation doit être permise aux utilisateurs en fonction de l'activité désirée, de l'heure, du jour, de l'éclairement extérieur, d'où l'utilité des protections solaires variables (volets roulants, volets..).

✓ *Dans les locaux d'enseignement :*

L'éclairage naturel des classes est obligatoire, par contre les apports solaires directs sont généralement à éviter en raison de l'éblouissement provoqué. A contrario, dans les locaux de détente, les halls d'accueil, les circulations, où l'uniformité de l'éclairement n'est pas un critère décisif, les apports solaires directs peuvent participer à l'animation des lieux.

✓ *Dans les locaux sportifs :*

Même si l'éclairage naturel est souhaitable, l'éblouissement est toujours à éviter. (ARENE Agence Régionale de l'Energie).

Le tableau ci-dessous donne quelques exemples de l'ordre des grandeurs du FJL dans différentes zones :

<i>Type d'espace</i>	<i>FLJ</i>
Bureau éloigné d'une fenêtre.	0.5% à 1%
Bureau proche d'une fenêtre.	3% à 6 %
Musée de peinture.	0.6 à 1.8%
Patio vitré.	10% à 20%
Paroi verticale (ext).	30% à 50%
Surface en toiture.	100%

Tableau II.2- Ordres des grandeurs. Source : ARENE Agence Régionale de l'Energie.

**II.2.1.2.4.2. Correspondances quantitatives et qualitatives du FLJ**

Le tableau ci-dessous (tableau II.3) résume les correspondances quantitatives et qualitatives du facteur de lumière du jour du FLJ dans des zones supposées lointaines ou voisines des fenêtres.

Facteur de lumière du jour	Moins de 1%	de 1% à 2%	de 2% à 4%	de 4% à 7%	de 7% à 12%	Plus de 12%
	Très faible	Faible	Modéré	Moyen	Elevé	Très élevé
Zone considérée	Zone éloignée des fenêtres (distance supérieure à 3 fois la hauteur de la fenêtre)			Zone à proximité des fenêtres ou sus des lanternaux		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à clair		Clair à très clair	
Remarques	Convient aux zones de circulation, stockage etc.		Convient aux locaux de travail		Attention aux éblouissements	
Impression visuelle	Cette zone ..... semble séparée ..... de cette zone					
Ambiance	Le local semble refermé sur lui même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		

Tableau II.3. Correspondances quantitatives et qualitatives du facteur de lumière du jour. Source : Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d’architecture de Grenoble.

**II.2.1.2.5. Les critères d’un éclairage de qualité**

	<i>Minimal</i>	<i>Recommandé</i>	<i>Idéal</i>
<i>Bibliothèque</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Classe</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Cuisine</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Salle de réunion</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Bureaux (travaux généraux)</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Bureau (lecture et écriture continue)</i>	300 lux	500 lux	1000 lux
<i>Parking</i>	50 lux	75 lux	100 lux
<i>Couloir</i>	100 lux	150 lux	200 lux
<i>Réfectoires</i>	150 lux	200 lux	300 lux
<i>Sanitaires</i>	100 lux	150 lux	200 lux

Tableau II.4. Critères d’un éclairage de qualité – Optimiser L’éclairage Naturel – Février 2007. Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, Recommandation pratique CSS06.

Un éclairage de qualité est caractérisé par les critères suivants :

- une bonne répartition (ou bonne uniformité). Ce critère n'est pas essentiel dans l'habitat.
- un niveau d'éclairement adapté à l'usage du local ou de la zone considérée.
- une absence d'éblouissement dû au contraste excessif des luminances. (ARENE Agence Régionale de l'Energie).

### **II.2.1.3. TEMPERATURE**

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert de chaleur entre le corps humain et son environnement. L'échelle de température la plus répandue est le degré Celsius, dans laquelle l'eau gèle à 0 °C et bout à environ 100 °C dans les conditions standard de pression.

([http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture\\_bioclimatique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_bioclimatique))

#### **II.2.1.3.1. NOTIONS DE BASE**

##### **II.2.1.3.1.1. Propriétés thermiques des matériaux**

*a/ Propriétés des surfaces:*

- L'absorptivité : L'absorptivité est la propriété d'une matière qui détermine sa capacité pour absorber l'énergie radiante, et comme la réflectivité, rangées entre 0 et 1. Il est la proportion entre le montant d'énergie radiante qui atteint une surface et le montant d'énergie absorbée par la surface.

L'absorptivité de la surface ou la proportion des rayonnements solaires incidents absorbée varie avec la longueur d'onde du rayonnement, qui, à son tour dépend de la température de la surface émettant le rayonnement.

- L'émissivité : La propriété de l'émissivité de la surface détermine sa capacité pour émettre l'énergie radiante. Il est mesuré comme une proportion de l'énergie radiante totale émise par un corps à celle émise par un parfait corps noir, les deux étant à la même température. Une émissivité de 0 signifie que la matière n'absorbe pas de radiations comme dans le cas d'un parfait réflecteur, alors qu'un parfait corps noir qui absorbe la totalité des radiations incidentes a une émissivité de 1. Donc absorptivité et émissivité sont égaux à la même température. L'absorptivité d'une surface est la même que l'émissivité pour le rayonnement de la même longueur d'onde.

**b/ Propriétés thermiques des matériaux opaques :**

- L'admittance : L'admittance d'une surface est le taux d'absorption ou d'émission de la chaleur de ou / à l'air lorsque la température de l'air est différente de la température de la surface. Il est exprimé en  $W/m^2K$ .
- Déphasage (time lag) : c'est la différence dans le temps entre les amplitudes (maxima ou minima) des températures journalières. Le déphasage représente le délai de transfert thermique de l'extérieur vers l'intérieure. Il est probablement le concept le plus intéressant à évoquer quand il s'agit d'étudier le comportement de l'enveloppe et la structure des bâtiments dans de conditions dynamiques.
- Transmission de l'air à l'air (U value) : c'est la capacité de transmettre une variation de température entre l'extérieur et l'intérieur. Il est exprimé en  $W/m^2K$ .
- Capacité thermique : ou capacité calorifique désigne la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'une unité de volume d'un matériau ou d'un mur par une unité de température. Ainsi la quantité de chaleur qu'un matériau peut stocker par unité de volume dépend de la capacité calorifique volumique (unité de volume, en  $kcal/m^3 C^\circ$  ou  $KJ /m^3 ^\circ C$  ou  $Wh /m^3 ^\circ C$ ) et aussi de la capacité d'une unité de masse ou chaleur spécifique (en  $kcal /kg ^\circ C$  ou  $kJ/kg ^\circ C$ ). Avec les variations périodiques de conditions extérieures (température, rayonnement solaire, vent, humidité) et une résistance thermique donnée, le flux de chaleur transmis à l'intérieur d'un bâtiment décroît lorsque sa capacité calorifique croît.
- Conductance thermique : détermine la proportion du flux de chaleur qui traverse un élément de construction (mur ou toiture). Elle dépend de la conductivité du matériau et de l'épaisseur de la paroi. La conductance totale d'une paroi est l'inverse de la résistance :  $K=1/R (W/m^3 ^\circ C)$ .

**II.2.1.3.1.2. Les transferts radiatifs**

Un revêtement ou une peinture confèrent à un mur certaines propriétés optiques, qui influencent l'absorption du rayonnement solaire. Les propriétés optiques importantes du point de vue thermique sont l'absorption du rayonnement solaire et l'émission de chaleur par rayonnement infrarouge depuis la surface. Ces deux grandeurs correspondantes sont comprises entre 0 et 1.

L'absorption du rayonnement solaire incident par les parois opaque est calculée par un bilan thermique au niveau de la surface absorbante, en fonction du facteur d'absorption de cette

surface. Le rayonnement incident absorbé est reparti entre une quantité pénétrant et une quantité perdue vers l'ambiance extérieure. (Transfert radiatifs et convectifs). (Aide pléiade et confie).

Il entre dans l'échange avec le soleil, l'échange entre une personne et l'architecture qui l'abrite, et l'échange entre un édifice et le milieu qui l'entour. Le problème général des échanges par rayonnement est extrêmement complexe car chaque élément de surface d'un corps émet dans toutes les directions et reçoit de toutes les directions et de tous les lieux qui le voient. (Lavigne. P, 1994). D'ici un échange d'énergie par rayonnement électromagnétique entre deux surfaces nécessite la connaissance des facteurs de forme.

#### **II.2.1.3.1.3. Les différents processus de transferts de chaleur**

Le transfert de chaleur est produit selon les trois processus cités ci-dessous :

✓ *La conduction :*

Il s'agit du transfert de la chaleur d'un endroit à l'autre d'un milieu, sous l'influence d'un gradient de température, sans mouvements macroscopiques. La conduction est d'autant plus facilement observable que les mouvements macroscopiques sont inhibés. On l'observe donc principalement dans les solides.

Prenons l'exemple d'une barre métallique que l'on chauffe à l'une de ses extrémités: l'agitation thermique des atomes situés à l'extrémité chauffée de la barre augmente et se transmet de proche en proche dans la direction inverse du gradient thermique. Dans les métaux, la conduction fait intervenir les électrons libres qui les rendent bons conducteurs de la chaleur. En revanche dans les isolants, la conduction se fait mal. En résumé, il y a une forte correspondance entre les propriétés thermiques et électriques des solides.

La conduction s'observe aussi dans des fluides au repos mais elle est beaucoup plus faible que dans un métal. De plus, elle est souvent dominée par la convection.

✓ *La convection :*

La convection implique le transport de la chaleur par une partie d'un fluide qui se mélange avec une autre partie. La convection concerne exclusivement les fluides (gaz ou liquides) puisqu'elle prend sa source dans un transport macroscopique de matière.

La convection a lieu par exemple lorsque l'on chauffe une casserole d'eau. Le gradient thermique vertical est dirigé vers le bas. La masse volumique du fluide inférieur s'abaisse (car celui ci est plus chaud) et le fluide s'élève pour être remplacé par du fluide plus lourd situé plus haut.

La convection tente de s'opposer au gradient thermique par un mouvement de fluide.

Ce processus est associé à l'action de la gravité. On note que si l'on chauffe la casserole par le haut, le fluide chaud se situe au dessus du fluide froid et la convection est annihilée.

En gardant cette image dans la tête, on s'aperçoit immédiatement que la convection est importante dans l'atmosphère (les phénomènes de brises thermiques par exemple) puisque l'atmosphère est principalement chauffée par la Terre (nous verrons qu'il absorbe très peu le rayonnement solaire).

Cette animation présente une coupe verticale de l'atmosphère :

- Axe des abscisses : la surface terrestre
- Axe des ordonnées : la verticale

Les couleurs représentent le champ de température "dite potentielle" en Kelvin ( $T(^{\circ}\text{C}) \# T(\text{K}) - 273$ ). A l'instant initial, on introduit une bulle chaude (couleur rouge) dans une atmosphère stratifiée (le "chaud" est en haut : situation stable) En revanche, les océans chauffés par le haut présentent peu de phénomènes de convection.

✓ *Le rayonnement :*

Un corps chauffé émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Une des particularités de ce rayonnement dit "thermique" est qu'il peut se propager dans le vide.

Au niveau microscopique, ce phénomène ne peut s'expliquer en physique classique. Cependant, on retiendra comme image que plus la température du corps est élevée, plus l'agitation thermique responsable de l'émission est élevée.

Comme tout rayonnement électromagnétique, le rayonnement dit thermique est caractérisé par une densité d'énergie et un spectre (répartition de l'énergie suivant la longueur d'onde).

Le rayonnement thermique se déplace vers les courtes longueurs d'ondes quand la température du corps augmente. Ainsi le filament de tungstène utilisé dans les lampes à incandescence a une couleur caractéristique de sa température. A faible température, il est rouge orangé, puis jaune puis blanc. Le pic du spectre d'émission se déplace de la limite entre l'infrarouge et le visible (rouge) vers le milieu du visible (blanc).

Il faut finalement distinguer la nature des récepteurs de ce rayonnement thermique : certains le réfléchissent d'autres l'absorbent et le transforment en énergie interne pour rayonner à leur tour.

#### **II.2.1.3.2. Le confort thermique:**

L'homme a toujours construit pour s'abriter des aléas du climat. Nous pourrions à priori retenir quatre raisons essentielles qui ont poussé l'homme à construire:

- Sociale
- Symbolique
- Fonctionnelle
- Artistique

Mais il faut noter que l'objectif primaire de l'homme, à travers la construction, reste celui de "modifier le climat". D'où le concept du "*bâtiment comme élément modificateur du climat*". Le confort thermique a été défini comme étant la condition dans laquelle aucune contrainte significative n'est imposée aux mécanismes thermorégulateurs du corps humain. Le confort thermique permet l'obtention de conditions optimales pour tous les systèmes fonctionnels de l'organisme ainsi qu'un haut niveau de capacité de travail. (Mazouz S. Cours PG, 2008)

#### **II.2.1.3.2.1. Les paramètres du confort thermique**

Il existe différents paramètres de détermination du confort thermique, ces derniers sont :

1. La température ambiante de l'air  $T_a$ .
2. La température moyenne des parois  $T_{rm}$ .
3. L'humidité relative de l'air ( $HR$ ), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température  $T_a$  (extérieur) et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
4. La vitesse de l'air, qui influence sur les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s
5. Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7°C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
6. L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. (figure II.17) (Yannas S., 1994 ; Evans M., 1998)

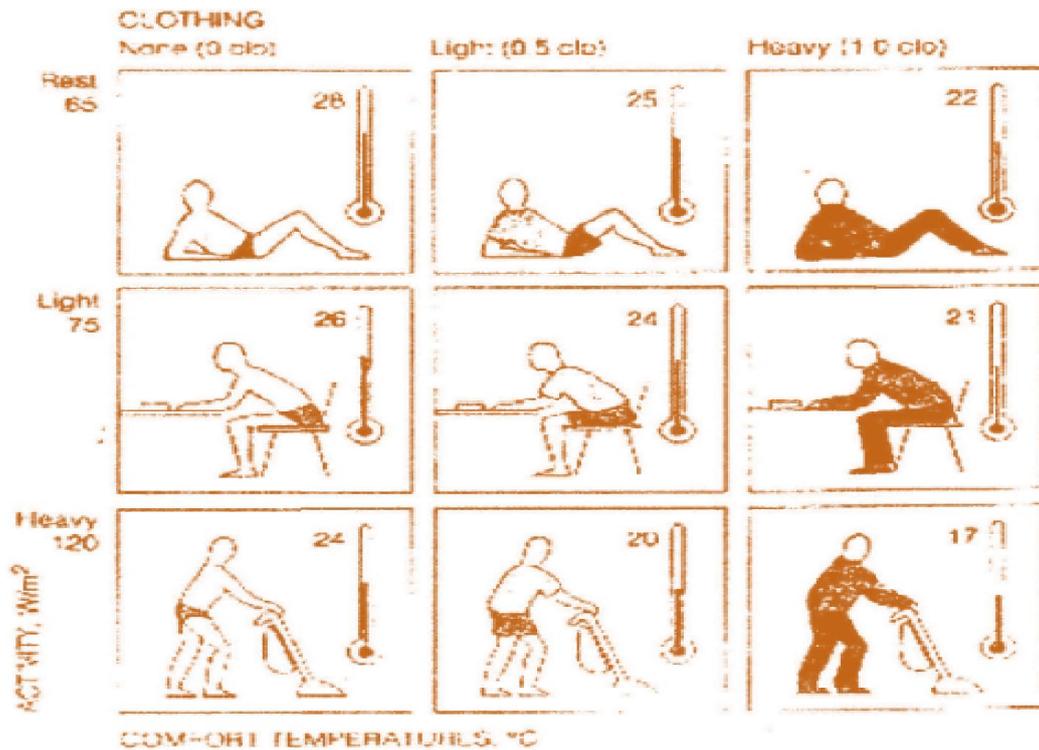


Figure II.17. Température de confort en fonction du niveau d'activité et d'isolement vestimentaire. Source : Yannas S., 1994, p. 11.

✓ *La température d'air intérieure (°C)*

La température de l'air ambiant est le premier paramètre à contrôler. Néanmoins, pris séparément, il ne peut donner une idée précise du confort prévalant dans une ambiance quelconque. Elle est mesurée par un thermomètre au bulbe sec. L'intervalle de confort varié entre 18 et 25 C°.

✓ *L'humidité relative (%)*

L'humidité couplée à la température ambiante donne déjà une idée du confort d'ambiance interne. On exprime l'humidité par le rapport de la vapeur d'eau contenue dans l'air à la quantité de vapeur d'eau que l'air saturé peut contenir à une température donnée.

L'intervalle de confort, bien que dépendant d'autres paramètres dont la température et la vitesse de l'air, peut aller de 20 à 80 %. Au-dessous de 20% l'air devient trop sec au point de provoquer des irritations aux lèvres et aux yeux notamment. Au-dessus de 80%, l'air devient trop humide et moite.

✓ *La température des parois (température radiante)*

La température des parois est une *température radiante* indicatrice important du confort intérieur d'un local. Car c'est cette dernière qui donne une idée sur la nature de l'isolation ou

de l'inertie thermique d'une paroi. Ainsi une paroi mal isolée présente souvent une température radiante trop inférieure par rapport à la température de l'air ambiant.

Ce qui conduit souvent à ressentir un inconfort dû à la différence de température en question. Il suffit d'imaginer, pour comprendre ce phénomène, à l'ambiance interne d'une tente implantée dans une région froide en plein hiver. Ainsi, dans ces conditions, même si l'on dispose d'un instrument de chauffage, on sent toujours le froid dans le dos.

Dans un bâtiment en dur, les désagréments peuvent être nombreux dont ceux causés par la condensation superficielle et ses effets néfastes sur les meubles, les revêtements intérieurs. Pour un architecte, la température radiante n'est très difficile à contrôler. il suffit de choisir des matériaux de construction et de les agencer de façon à obtenir une paroi présentant un coefficient de conductibilité thermique (k) valable et à toujours veiller à ce que la différence de température entre la paroi et l'air ambiant ne dépasse pas les cinq degrés Celsius (05 °C).

Importance de la température des parois

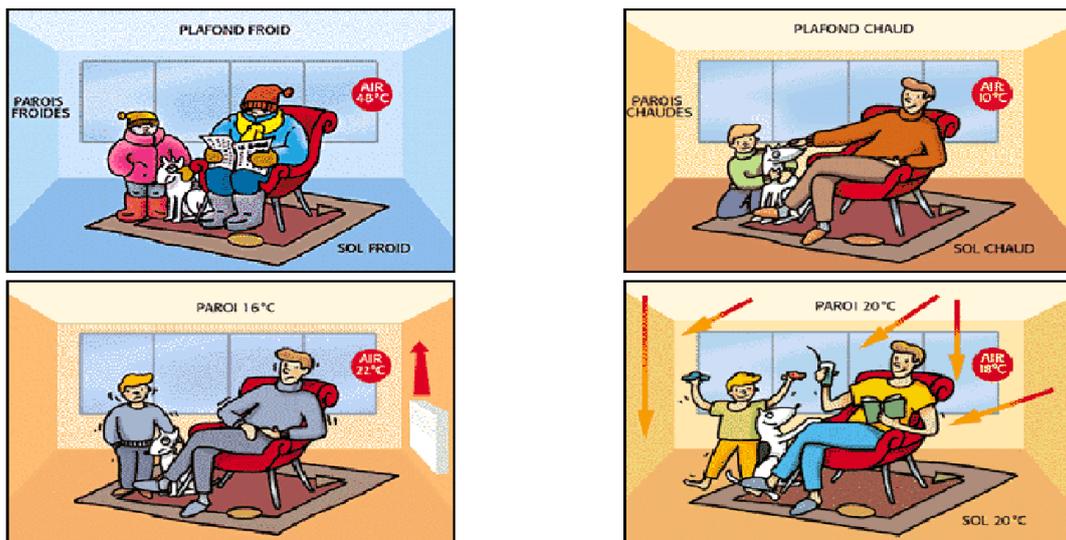


Figure II.18. Température radiante. Source MAZOUZ.S Cours de la post graduation 2008, Biskra.

✓ *Confort et vitesse de l'air*

La vitesse de l'air (et plus précisément la vitesse relative de l'air par rapport à l'individu) est un paramètre à prendre en considération car elle a une influence sur les échanges de chaleur par convection et elle augmente l'évaporation à la surface de la peau.

A l'intérieur des bâtiments, on considère généralement que l'impact sur le confort des occupants est négligeable tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s. A titre de

comparaison : se promener à la vitesse de 1 km/h produit sur le corps un déplacement de l'air de 0,3 m/s.

Le mouvement de l'air abaisse la température du corps, facteur recherché en été mais pouvant être gênant en hiver (courants d'air).

#### II.2.1.3.2.2. Stratégies d'évaluation du confort thermique

Il existe en littérature un certain nombre de méthodes dites d'évaluation du confort thermique, basées sur des expérimentations menées par différents chercheurs et mettant en œuvre différents paramètres de détermination du confort thermique. Plusieurs méthodes de combinaison ont été développées par les chercheurs pour la manipulation simultanée des variables du confort. Parmi ces méthodes, on peut citer:

- Température Effective
- Température résultante
- Indice de confort équatorial
- Indice de contrainte thermique
- Méthode du B.R.S.
- Température opérative
- PPD/PMV
- Diagrammes bioclimatiques (Givoni, Olgyay, Etc.)

##### ✓ *Température effective (°C)*

La notion de température effective a été développée aux USA dès 1923 sur la base d'essais de confort ressenti portant sur un grand nombre de sujets: La *température effective* se détermine par un jeu d'abaques en fonction de la température d'air, de l'humidité de la vitesse d'air ainsi que du degré d'habillement. Cette température est déterminée de façon à procurer le même confort qu'une ambiance à 50% d'humidité relative et sans vitesse d'air.

##### ✓ *Indice de la température Résultante*

L'indice de la température résultante, développé par Missenard (1948), est basé sur la supposition qu'une base plus solide pour un indice thermique serait formée par des expériences dans lesquelles l'équilibre thermique est réalisé entre le corps et l'environnement, afin que les effets d'humidité et du vent puissent être trouvés. Des résultats expérimentaux est issu un nomogramme pour le corps vêtu. Pour l'exemple de la température efficace, la valeur

de la température résultante lue du monogramme s'avère être 23.5°C. La rangée des facteurs climatiques couverte par la température résultante est une température de l'air comprise entre 20-45°C, une température humide comprise entre 18 et 40°C et une vitesse de l'air entre 0 et 3 m/s.

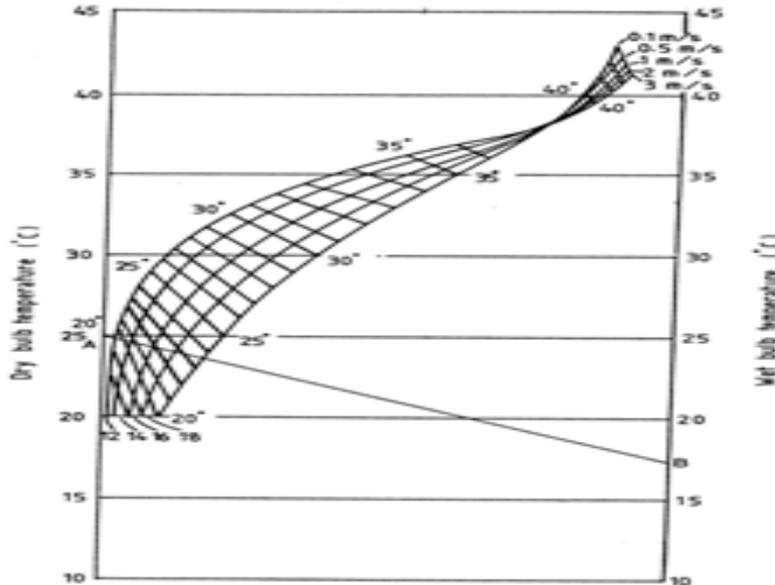


Figure II.19 - Indice de la température Résultante. Source : Mazouz S. Cours PG, 2008, Biskra.

✓ *L'indice de contrainte thermique*

L'indice de contrainte thermique (L'I.C.T) est un modèle biophysique décrivant les mécanismes d'échange de chaleur entre le corps et l'environnement, à partir duquel la contrainte thermique totale s'exerçant sur le corps (métabolisme + ambiance) peut être calculée.

Au-dessus de la zone de confort, le taux de sudation requis pour maintenir l'équilibre thermique peut également être trouvé, tant que le corps peut rester en équilibre (avec une température rectale élevée mais constante).

Au-dessous de la zone de confort, l'indice prend une valeur négative indiquant une contrainte frigorifique.

L'I.C.T. est basé sur l'hypothèse que, à l'intérieur du domaine des conditions où il est possible de maintenir l'équilibre thermique, la sueur est sécrétée selon un taux suffisant pour obtenir le refroidissement par évaporation, nécessaire pour compenser la production de chaleur métabolique et l'échange de chaleur avec l'environnement. La relation entre la sécrétion de sueur et l'évaporation requise dépend de l'efficacité de refroidissement de la sueur. Lorsque cette efficacité diminue le corps doit sécréter la sueur selon un taux plus élevé que celui qui

équivaldrait à la chaleur latente du refroidissement requis, dans le but d'obtenir ce refroidissement en dépit de la réduction d'efficacité.

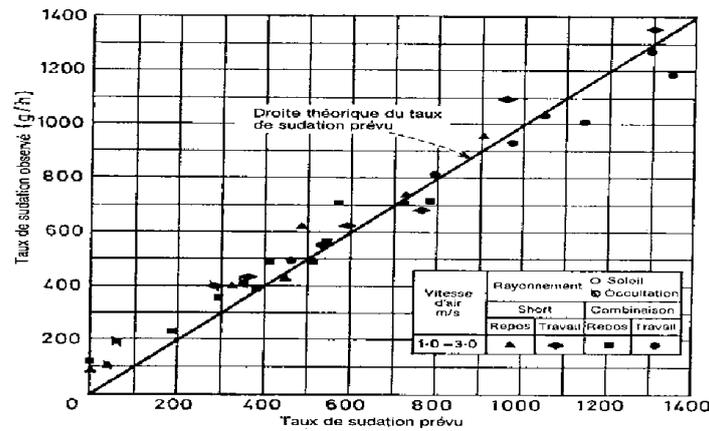


Figure II.20. Indice de contrainte thermique. Source : Mazouz S. Cours PG, 2008, Biskra.

✓ Diagrammes bioclimatiques

Parmi les outils les plus connus dans ce domaine on peut citer le Diagramme bioclimatique d'Olgyay, celui de Givoni, les Tables de Mahoney, et la Méthode de Szokolay.

Les diagrammes bioclimatiques sont des outils de synthèse qui permettent de choisir les grandes options architecturales à partir des exigences du confort thermique et des profils du climat extérieur. Le principe consiste à confronter sur un même graphique, «un polygone de confort», un 'climogramme' représentant les conditions extérieures et l'aire d'influence thermique et hygrométrique de certaines solutions architecturales ou de certains dispositifs.

Le diagramme bioclimatique combine plusieurs types de données dont:

- Les données du climat extérieur
- Les données du confort thermique
- Les solutions architecturales.

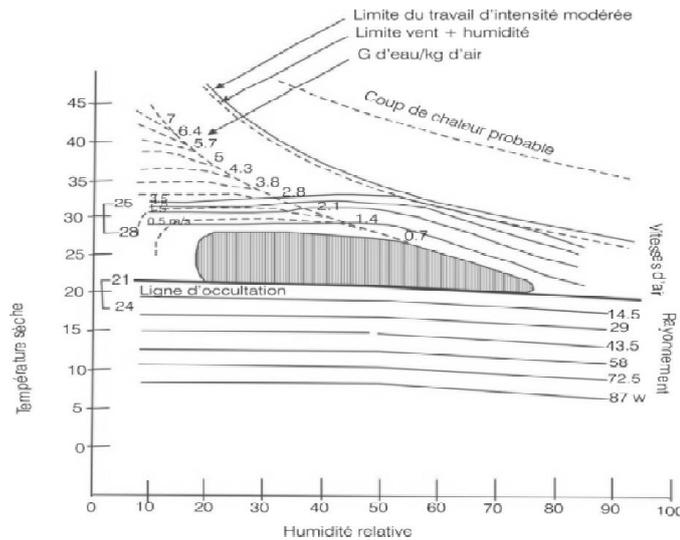


Figure II.21. Diagramme bioclimatique d'Olgay. Source : Mazouz S. Cours PG, 2008, Biskra.

Sur le diagramme, la zone de confort est au centre, avec les plages d'hiver et d'été indiquées séparément (prenant en compte les adaptations saisonnières). La limite inférieure de la zone est également la zone limite au-dessus de laquelle il est nécessaire d'introduire l'occultation solaire.

## II.2.2. FACTEURS HYDROLOGIQUES

### II.2.2.1. LES PRECIPITATIONS

Les précipitations sont produites par le phénomène de condensation de l'air dans les couches supérieures de l'atmosphère, sous forme de nuages contenant des gouttelettes d'eau, l'air s'élevant de plus en plus haut, le poids des gouttelettes augmente, provoquant ainsi la chute de pluies ou de neige. (Givoni. 1978).

### II.2.2.2. HYGROMETRIE

L'hygrométrie caractérise l'humidité de l'air, On entend par humidité, la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. Elle subit des variations en fonction de la température qui est considérée comme facteur déterminant. Ces variations subordonnées au régime annuel du rayonnement solaire et des températures moyennes, provoquent une répartition disproportionnée de la vapeur dans différentes régions de la terre, d'où la très forte concentration dans les régions équatoriales, et la diminution en amont vers les pôles. (Givoni 1978). L'humidité s'exprime en terme de :

Humidité absolue : Ce terme reflète le poids de la vapeur d'eau contenu dans une unité volumétrique, et s'exprime en : (g/m<sup>3</sup>).

Humidité relative : c'est le rapport entre l'humidité absolue et la quantité d'humidité maximale que peut contenir l'air, elle s'exprime en pourcentage.

L'humidité comme élément du climat, joue un rôle important dans le confort d'une ambiance.

### II.2.3. FACTEURS MECANIQUES

#### II.2.3.1. LES VENTS

L'origine des vents est due aux mouvements conventionnels de l'atmosphère, et c'est le mouvement horizontal qui tend à équilibrer les différentes zones de pressions dans l'atmosphère. (Gandemer J. 1979). On peut illustrer essentiellement trois types de vents : les vents alizés, les vents d'Ouest, et les vents polaires, complétés par les vents dits de moussons, la brise, les vents des montagnes et des vallées. (Givoni 1978).

##### Les vents alizés :

Ont pour origine les régions de hautes pressions subtropicales des deux hémisphères et convergent vers le front intertropical. Ils s'écoulent en direction Sud-ouest dans l'hémisphère Nord, et en direction du Nord-Ouest pour l'hémisphère Sud, leurs caractéristiques dépendent des surfaces sur lesquelles ils circulent. Leurs vitesses variées entre 15 et 45 Km/h.

##### Les vents d'Ouest :

Ayant également pour origine les régions subtropicales, et se dirigent vers les zones de basses pressions subarctiques. Ils se caractérisent par des variations en vitesse et en directions, créant ainsi des systèmes de dépressions mobiles. En été, ils sont moins variables et leurs flux prennent comme direction le Nord-est.

##### Les vents polaires :

Ils ont pour origine les zones de hautes pressions polaires et arctiques, leurs directions dominantes est le Sud-ouest dans l'hémisphère Nord, et le Nord-Ouest dans l'hémisphère Sud.

##### Les vents mousson :

Dus principalement aux variations dans les régimes de températures moyennes annuelles sur les continents, provoquant des vents de terre en hiver et des vents de mer en été. Leur effet est beaucoup plus important dans les régions de l'océan indien, l'Asie du Sud, et l'Est africain.

*Brise de terre et de mer :*

Durant la journée, l'air au-dessus des terres s'échauffe plus que sur les surfaces des mers ayant la même altitude, à ce moment, l'air chaud s'élève et l'air plus froid s'écoule vers la terre, c'est la brise de mer, ainsi le phénomène s'inverse pendant la nuit, et c'est la brise de terre. Les vents générés de cette manière sont appelés brises.

*Les vents de montagnes et de vallées :*

Ils sont dus aux différences de températures entre l'air se trouvant au-dessus des surfaces en pente ensoleillées et celui se trouvant à la même altitude au-dessus des vallées, engendrant un mouvement de vents forts qui soufflent en remontant la vallée pendant le jour, et en la descendant pendant la nuit.

### **II.3. Forme géométrique, efficacité énergétique, et expression architecturale**

#### **II.3.1. L'importance de l'équilibre entre l'expression architecturale et l'efficacité énergétique des formes géométriques en architecture**

Donner une forme aux choses matérielles, que nous produisons, est une nécessité inévitable. Dans l'architecture, la forme englobe et donne de l'importance soit : à l'économie, à l'esthétique, à la fonctionnalité, à la culture, mais aussi à l'efficacité énergétique.

L'approche passive aux thèmes de l'épargne d'énergie est essentiellement basée sur les articulations morphologiques des constructions. La forme, dans son sens géométrique et matériel, conditionne l'efficacité énergétique d'un bâtiment dans son interaction avec l'environnement.

Il n'y a pas un doute que cette approche passive d'énergie, étant soutenue par la forme matérielle à un impact direct sur la langue architecturale et sur l'influence de l'expression architecturale.

Le choix de la forme de construction ne dépend pas seulement des besoins énergétiques, mais de plusieurs paramètres, tels que : sociologiques, économiques, environnementaux, techniques et esthétiques. Ces paramètres interviennent au début dans la conception d'un bâtiment. Mais le souci, pour l'épargne d'énergie et par conséquent, la réduction de la pollution, doit demeurer

dans un des principes de la conception environnementale dominant sur la conception d'un bâtiment de qualité (Depecker P. et al, 2001).

Dans le but d'avoir des formes produisant des solutions énergétiques convenables, beaucoup d'intérêt est centré, récemment, autour de ces sujets, et la sagesse des formes et des concepts du passé ont été redécouverte. Parmi les concepts historiques, deux sont d'importance particulière :

1. L'établissement des relations stratégiques raisonnables et amicales avec l'environnement physique : cela est défini comme une alliance avec l'environnement qui implique la manipulation des paramètres physiques tel que le sol et la végétation, tissus urbains, pollution, et l'irradiation solaire représentant le paramètre dominant tant qu'il est la source de l'énergie primaire de notre planète. Tous ces éléments peuvent être mesurés en terme physique et sont donc le sujet de la science.
2. L'identification des interactions entre les sensations et la perception physique dans la création du sentiment du confort : les paramètres intervenant sont nos énergies émotives et intellectuelles, qui sont notre perfection inépuisable. Cependant, elles représentent l'essence même de la qualité architecturale.

Notre réalité perceptuelle résulte d'une multitude de composantes sensorielles : visuelles, thermiques, acoustiques et également de la qualité d'organisation de l'espace dans lequel les différents paramètres viennent ensemble, comme le sens du " l'ordre " ou de " la sérénité ". Mais des évaluations pratiques, telles que celles de l'utilité, peuvent être impliquées aussi. L'évaluation est complètement subjective mais elle peut également être partagée par la quasi totalité des personnes. Par conséquent, ces paramètres culturels sont différents dans divers contextes et changent non seulement avec l'environnement culturel, dans le sens anthropologique, mais également par rapport à la fonction. Les paramètres scientifiques mesurables peuvent avoir ainsi leurs significations très profondément changées par les paramètres culturels non mesurables mais descriptibles (Manfredi Nicoletti, 1998).

Il est alors très difficile d'extraire et séparer les paramètres et les éléments relatifs à cette efficacité de l'unité expressive à laquelle ils appartiennent, c'est la raison pour laquelle nos efforts ne doivent pas s'arrêter à la solution technique banale des problèmes, oubliant la

complexité de notre vie intellectuelle et émotive ou les valeurs symboliques et plus généralement psychologiques dont l'architecture est le promoteur.

Donc, l'efficacité énergétique de l'architecture ne signifie pas que l'élimination de n'importe quel excès dans la consommation d'énergie pour la construction de notre environnement, mais elle réclame aussi une expression plus modérée, plus élégante, pour augmenter la richesse et le caractère précieux de l'architecture tout en contribuant à un meilleur environnement d'un point de vue esthétique.

### **II.3.2. Formes de construction : paramètres en relation avec le gain de chaleur et l'ambiance thermique**

La forme de construction et la volumétrie de la composition de l'enveloppe ont un effet sur la surface exposée et le gain solaire thermique. Elle doit être choisie pour bien bénéficier des avantages et se protéger contre les aspects défavorables du climat.

Des connaissances, concernant, l'effet de la relation entre la variation des paramètres géométriques d'une forme de construction avec le gain thermique résultant sur l'ambiance thermique intérieure, sont indispensables pour aider le concepteur à mieux servir l'architecture bioclimatique.

Vue la diversité illimitée des formes géométriques des constructions, le choix des trois paramètres déterminants a été le résultat des constats suivants :

- Le volume de la construction est fortement relié à sa capacité thermique, la surface de l'enveloppe est reliée à la proportion du gain ou perte de l'énergie thermique, la proportion de volume à la surface de l'enveloppe constitue un indicateur très important de la vitesse avec laquelle la construction se chauffe pendant le jour et se refroidit durant la nuit. Si le niveau de température est élevé, il est préférable que la construction se chauffe lentement : la proportion de volume à la surface est souhaitable qu'elle soit grande (Yannas S., 1994).
- Dans le climat chaud et sec, la plupart du gain solaire, durant le jour, est le résultat des radiations solaires directes. Les surfaces exposées aux radiations solaires sont plus importantes que la surface totale de l'enveloppe. Dans les basses latitudes, le toit est la surface la plus exposée aux radiations solaires, suivi par les murs Est et Ouest, et durant la nuit le toit perd la plupart de la chaleur par radiation. Connaissant que la température radiante affecte la sensation de confort, le plafond constitue donc une source indésirable de températures dans les climats chauds et secs.

- L'échange radiatif constitue un moyen important d'apport ou de perte thermique. Il entre dans l'échange avec le soleil, entre une personne et l'architecture qui l'abrite et entre un édifice et le milieu qui l'entoure. Le problème général des échanges par rayonnement est extrêmement complexe car chaque élément de surface d'un corps émet dans toutes les directions et reçoit de toutes les directions et de tous les lieux qui lui sont exposés (Lavigne P., 1994). De là, un échange d'énergie, par rayonnement électromagnétique entre deux surfaces, nécessite la connaissance des facteurs de forme.

### II.3.2.1. LA HAUTEUR DU PLAFOND

Une des particularités de l'architecture traditionnelle des maisons dans les climats chauds est la hauteur du plafond, pour créer des conditions froides pour divers critères :

- Les plafonds hauts transmettent moins de radiations aux occupants que les toits bas, pour la même surface couverte (Figure. 22).

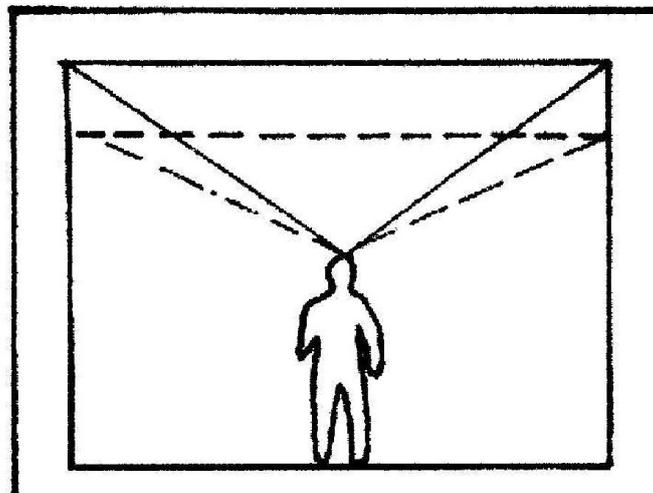


Figure II. 22. Effet de la hauteur de plafond sur la radiation du toit reçu par l'occupant. Source Evans M., 1980.

- Le transfert de la chaleur par convection est moins important avec le toit haut, puisque l'air chaud forme une couche au dessous du plafond et au dessus, aussi, des têtes des occupants (Figure. 23).

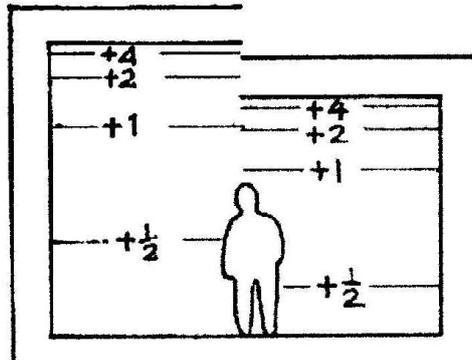


Figure II.23. Effet de la hauteur de plafond sur la gradation de la température de l'air intérieur ; une différence de  $1/2^{\circ}\text{C}$  perçu par l'homme. Source Evans M., 1980, p. 62

- La possibilité d'avoir une grande différence, en hauteur, entre deux ouvertures, donne des meilleures possibilités de dégager l'air chaud par l'effet de cheminée (Figure. 24).

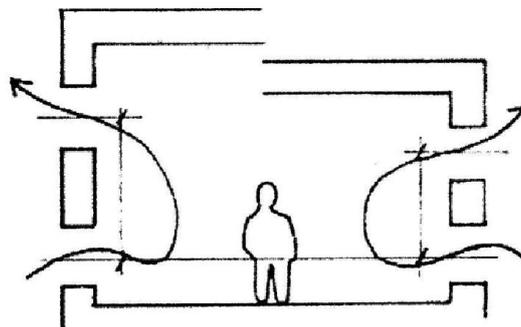


Figure II.24. Effet de la hauteur de plafond sur le mouvement d'air intérieur. Source Evans M., 1980, p. 62

- Le haut plafond augmente le volume de l'air dans la construction, ce qui permet au grand volume d'air de garder, longtemps, sa pureté. Un tel espace n'exige pas un taux de ventilation élevé, ce qui est primordial pour ces régions durant la journée.

Les avantages des hauts plafonds, dans les climats chauds et secs, ont été étudiés dans plusieurs pays. La conclusion établie par ces études est que la hauteur des plafonds, dans les habitations, ne les rends pas plus confortables que les habitations avec des plafonds bas de 2,7 m ou même 2,5 m. La différence peut être significative entre les plafonds ayant des hauteurs supérieures à 3,5 m et ceux avec des hauteurs inférieures à 2,5m, avec des températures

du toit plus élevée (Evans M., 1980). Sachant qu'il est plus économique d'utiliser une couche d'isolant au niveau du toit que d'élever le plafond (Watson D. et Camous R., 1983).

De même que l'effet de cheminée, pour la ventilation, est moins signifiant, à moins qu'il existe une très grande différence entre la température de l'air intérieur et celle de l'air extérieur. Dans ce cas, la ventilation due à l'effet de cheminée est moins importante en comparaison avec celle due à l'effet de la pression d'air, même si la vitesse de l'air est très réduite (Evans M., 1980).

L'utilisation des hauts plafonds, pour atteindre le confort, est basée sur l'idée que le grand taux de gain thermique provient du toit, alors que le contrôle de gain thermique interne est assuré par d'autres moyens moins coûteux et plus efficaces. Plusieurs études ont été menées par B. Givoni sur l'effet de la réduction de la hauteur de plafond sur le confort intérieur dans les pays chauds dont la conclusion était que ; « *...dans les régions chaudes, les pièces a plafonds bas (vers 2.5m) ne sont pas thermiquement inférieures aux pièces à plafonds plus élevés (jusqu'à 3,3m) >>* (Givoni, 1978).

### II.3.2.2. LE PARAMÈTRE DE FORME

Le projet de cette thèse entre dans le cadre de l'étude de la relation entre la performance thermique et la forme de construction. Pour fournir des solutions énergétiques performantes, la définition d'un paramètre qui caractérise la forme doit être introduite, les concepteurs doivent pouvoir le manipuler facilement. Il est assez important que sa définition géométrique et mathématique soit simple et facile pour l'employer dans le développement du projet.

Afin de qualifier la forme, un coefficient de forme  $C_f$  est défini comme suit :

$$C_f = Se / V \quad [m^{-1}]$$

$Se$  : est la surface d'enveloppe du bâtiment.

$V$  : est le volume intérieur du bâtiment (Depecker P. et al, 2001).

Selon plusieurs études scientifiques, la relation entre le coefficient de forme  $C_f$  et la consommation d'énergie est établie comme suit :

- Long Enshen a étudié les lois de variation de consommation d'énergie de deux genres de bâtiments, qui ont différents coefficients de forme, dans des conditions climatiques complètement différentes, en utilisant 14 villes situées dans la latitude Nord entre 22° et 52°, il a aboutie à la conclusion suivante : l'augmentation du coefficient de forme peut certainement augmenter le besoin de chauffage et de refroidissement annuel quelque soient les conditions climatiques (Long Enshen, 2005).

• P. Depecker et al concluent que le coefficient de forme  $C_f$  s'avère être une bonne représentation de la consommation d'énergie, quant le climat est plutôt rigoureux, dans ce cas, la compacité sera recherchée, mais quand le climat est doux et ensoleillé, le  $C_f$  n'est plus représentatif et la compacité peut ne plus être recommandée. D'autres paramètres tels que l'orientation, l'inclinaison et la géométrie du bâtiment pourraient améliorer probablement la corrélation avec la consommation d'énergie (Depecker P. et al, 2001).

Pour le climat chaud et sec, un des climats rigoureux, le paramètre de forme intervient dans la détermination de la performance thermique, et selon P. Depecker, la forme compacte est, dans ce cas, recommandée. Mais, tant que l'intensité des rayonnements solaires et la grande durée de l'ensoleillement caractérisent ce type de climat, d'autres paramètres, assez importants, doivent intervenir dans la détermination de la forme de construction :

- L'orientation.
- L'ombrage.

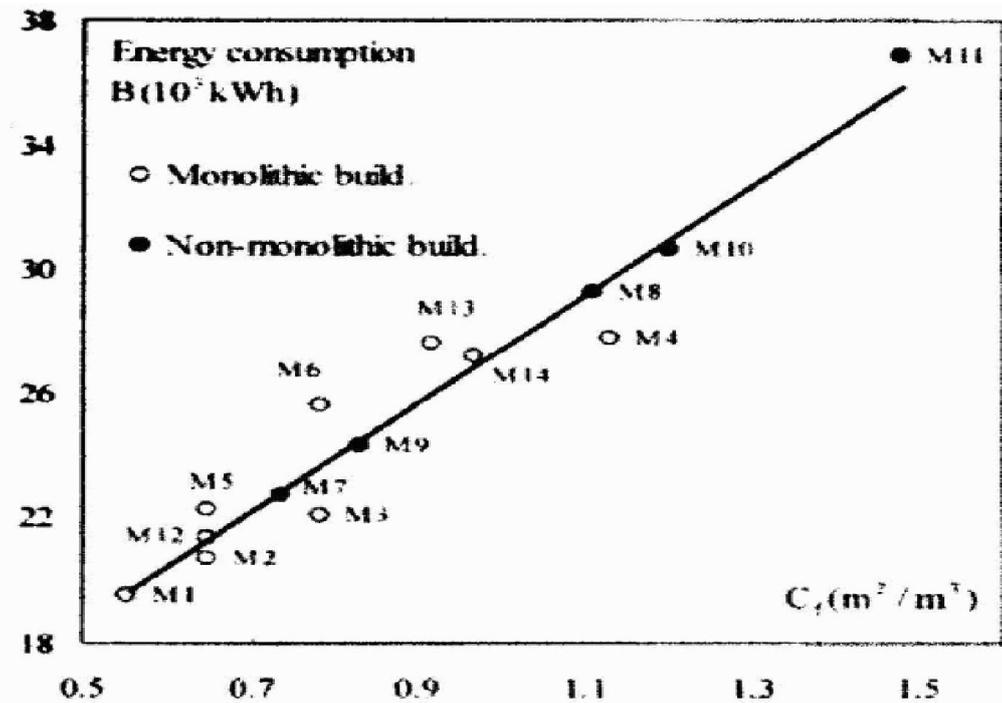


Fig II. 25. Variation de la consommation d'énergie  $B$  en relation avec le coefficient de forme  $C_f$  dans un climat froid, Paris. Source Depecker P. et al, 2001, p. 633-634.

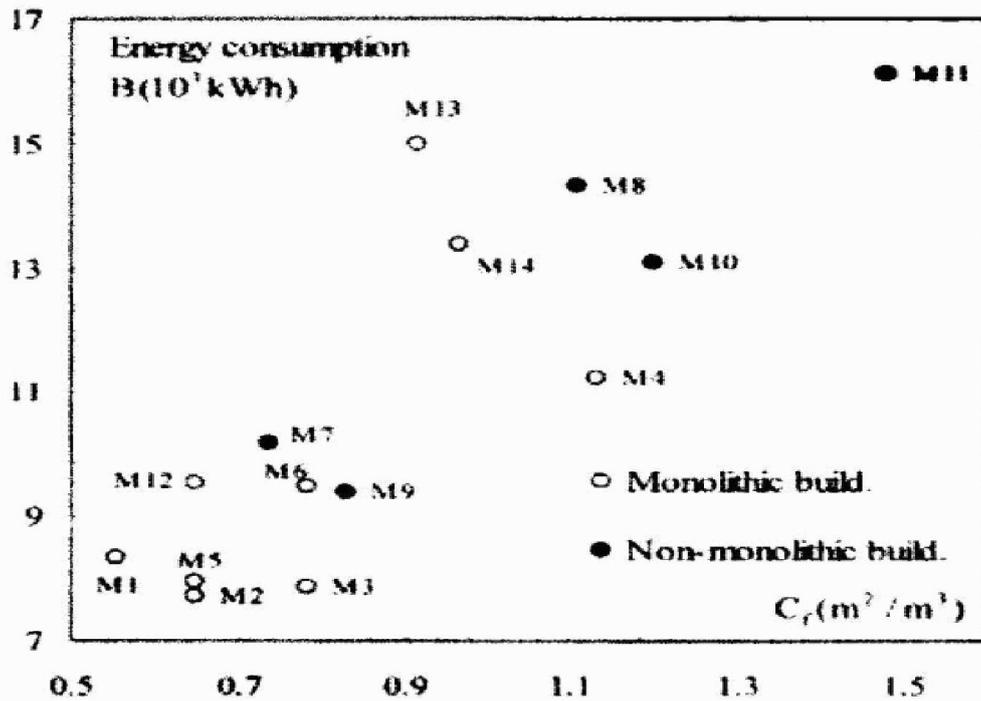


Fig. II.26. Variation de la consommation d'énergie B en relation avec le coefficient de forme Cf dans un climat tempéré, Carpentras Source Depecker P. et al, 2001, p. 633-634.

### II.3.2.3. FACTEURS DE FORME

Ils sont compris entre 0 et 1, ils traduisent le rapport entre la quantité d'énergie, qui quitte une surface et qui atteint une autre, et la quantité totale d'énergie qui quitte la surface. Ils sont donc proportionnels à l'angle solide sous lequel une surface émettrice se trouve exposée à une surface réceptrice.

Pour chaque élément de surface, il est nécessaire de calculer les facteurs de forme entre celui-ci et les autres surfaces et entre celui-ci et le ciel. Le facteur de forme entre deux surfaces  $i$  et  $j$ , orientées d'un angle de  $6^\circ$  par rapport à leur normale  $n$  et séparées d'une distance  $r$  augmente avec la diminution de l'angle compris entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$ . Pour une surface horizontale, l'échange des rayonnements de grandes longueurs d'onde ce fait avec le ciel, avec une valeur maximale du facteur de forme entre la surface et le ciel qui est égale à 1.

### II.3.3. EFFETS DE L'ORIENTATION SUR LE GAIN THERMIQUE

Plusieurs variables affectent le choix de l'orientation d'une construction. Elles sont, d'ordre naturel, tel que la topographie du site et ces conditions climatiques, et d'ordre artificiel tel que l'impact de l'occupation de l'environnement poussent, le concepteur à la recherche d'une

orientation convenable. L'action de l'orientation affecte principalement la durée d'ensoleillement, les températures des surfaces et le gain d'énergie transmis par l'enveloppe, affecte ainsi le confort thermique en variant : (Izard J.L., 1994).

- La puissance maximale du rayonnement reçu.
- Le moment de la journée où la puissance du rayonnement est maximale.
- La durée d'insolation de la surface.
- L'albédo du sol.

### **II.3.3.1. EFFET DE L'ORIENTATION D'UNE SURFACE SUR LES RADIATIONS SOLAIRES REÇUES**

Pour un plan, d'orientation et d'inclinaisons données, situé dans un environnement, le rayonnement solaire peut être considéré selon différentes optiques. En tant que puissance, ou plus exactement densité de flux incident, qui est connue en fonction du moment, de la latitude et de la qualité du ciel. En tant qu'énergie moyenne reçue (par exemple journalière), pendant une période donnée. La quantité de la radiation solaire, reçue par des surfaces de différentes orientations, diffère selon leur visibilité du soleil (Yannas S., 1994).

Le rayonnement en provenance du soleil et atteignant un plan, présente trois composantes :

- Le rayonnement direct qui provient directement du soleil, et qui peut être nul, par temps couvert.
- Le rayonnement diffus qui provient de la diffusion du rayonnement solaire par les particules de l'atmosphère et qui est en quelque sorte émis par la voûte céleste : faible par ciel très pur, ce rayonnement n'est jamais nul.
- Le rayonnement réfléchi qui provient de la réflexion sur l'environnement des deux rayonnements précédents (Lavigne P., 1994). L'intensité du rayonnement réfléchi est une fonction du facteur de réflexion moyen ou albédo : l'albédo d'un sol est le rapport entre le rayonnement renvoyé par le sol et le rayonnement incident (Bouvier F., 1989).

On doit citer comme points essentiels que :

- les surfaces verticales reçoivent toujours les radiations réfléchies par le sol.
- L'intensité de rayonnement solaire diffus, reçue par les surfaces verticales Est, est la moitié de celle reçue par la surface horizontale, parce qu'elle est exposée à la moitié du ciel (Evans M., 1980).

- La surface horizontale ne reçoit aucun rayonnement réfléchi sauf si elle se situe à proximité d'une forte élévation du sol ou d'une construction plus élevée (Givoni, 1978).

La différence, dans la densité des radiations solaires incidentes sur les surfaces horizontales, dépend de la géométrie solaire exprimée par des coordonnées angulaires de la position du soleil, celle-ci déterminée par des angles mesurés en degrés :

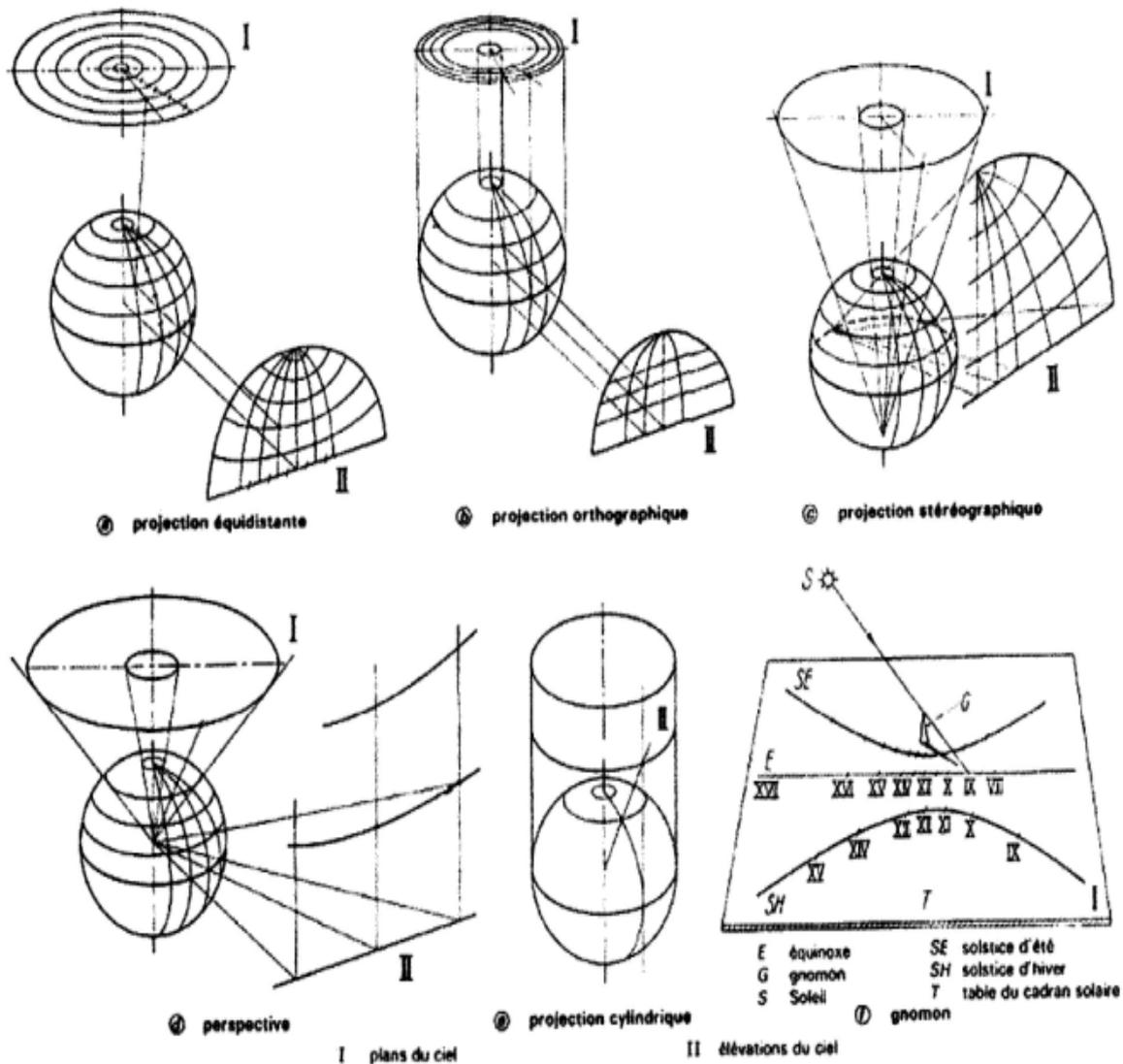


Figure II.27. Mode de projections utilisées pour les diagrammes solaires. Source : Bouvier, F, 1989, p 6.

Par rapport à l'équateur terrestre et au méridien du lieu considéré, ces angles ne dépendent que de la saison et de l'heure : ce sont la *déclinaison*  $\delta$  comptée à partir de l'équateur et *l'angle horaire*  $H$  à partir du midi vrai.

- Par rapport au méridien du lieu et à l'horizon, ces angles dépendent en outre de la latitude  $\Phi$ , comptée à partir de l'équateur : ce sont la *hauteur*  $h$  mesurée à partir de l'horizon et *l'azimut*  $A$  à partir du Nord (Bouvier F., 1989).

La différence, dans l'intensité du rayonnement solaire direct incident des surfaces de diverses orientations, est présentée pour une latitude précise pour démontrer que l'orientation qui reçoit la plus grande quantité de radiations n'est plus stable, elle change pendant l'année avec la déclinaison du soleil. Par exemple, un plan vertical sud sous la latitude  $45^\circ$  reçoit le maximum d'énergie en hiver entre 11h et 13h ( $>700\text{W/m}^2$ ). Par contre, un plan vertical ouest reçoit le maximum d'énergie entre 16h et 18h ( $>600\text{W/m}^2$ ) (Izard J.L., 1994). Des diagrammes énergétiques universels, par inclinaison de plan et état du ciel, sont disponibles, leur intérêt est de pouvoir être superposés aux diagrammes solaires. On peut connaître les données solaires géométriques et énergétiques à chaque moment, pour chaque orientation en décalant les deux diagrammes selon l'orientation du plan considéré (Lavigne P., 1994). Il y a plusieurs types de projections de la course solaire qui ont le même principe d'utilisation, ces projections sont disponibles dans plusieurs outils d'aides de simulation d'ensoleillement, dont essentiellement : la projection équidistante, orthographique, stéréographique, cylindrique, perspective et gnomon. Ce sont des modes de projection pour réaliser des cartes du ciel (Figure. II.27).

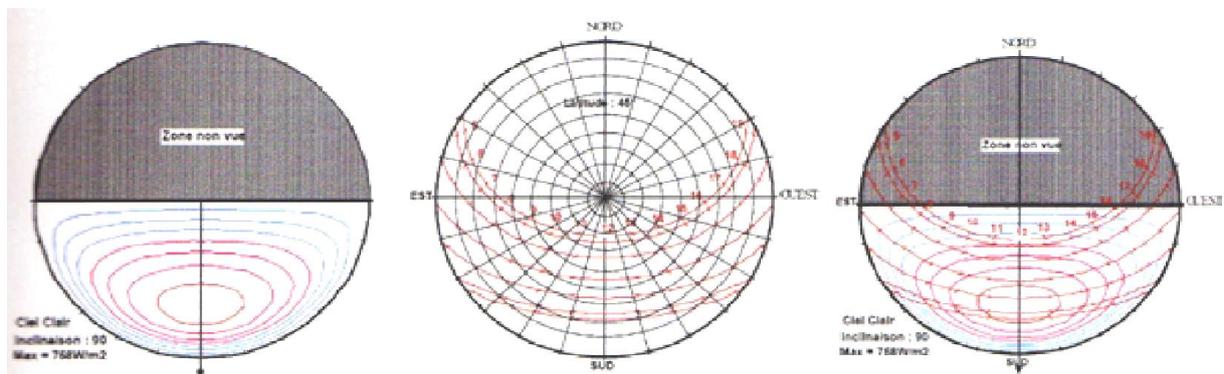


Figure II.28.a. Diagramme de l'énergie incidente sur un plan vertical, conditions de «ciel clair ».

L'équidistance des courbes est de  $100\text{W/m}^2$ . Source : Izard J.L., 2004, p. 17,

Figure II.28.b. Diagramme solaire de la latitude  $45^\circ\text{N}$  compte avec les iso hauteurs de 10 en  $10^\circ$  et les

azimuts de 15 en  $15^\circ$ . Source : Izard J.L., 2004, p. 17,

Figure II.28.c. Eclaircissement énergétique du plan vertical orienté au SUD sous la latitude  $45^\circ\text{N}$ .

Pour les diagrammes de projection orthographiques, on démontre, dans les (figures. II.28.a,b,c), l'utilisation d'un diagramme solaire et énergétique pour déterminer l'éclaircement d'une surface d'orientation définie.

En tenant compte de la différence des intensités de rayonnements solaire reçue par des plans de différentes orientations, On peut conclure que le Sud est une orientation recommandée pour l'hiver. En été, elle est recommandée dans un climat relativement modéré. Dans un climat à été très chaud et hiver peu rude, l'orientation Sud /Sud-Est est la meilleure. Pour un hiver rude et un été modéré, l'orientation Sud/ Sud-Ouest est recommandée.

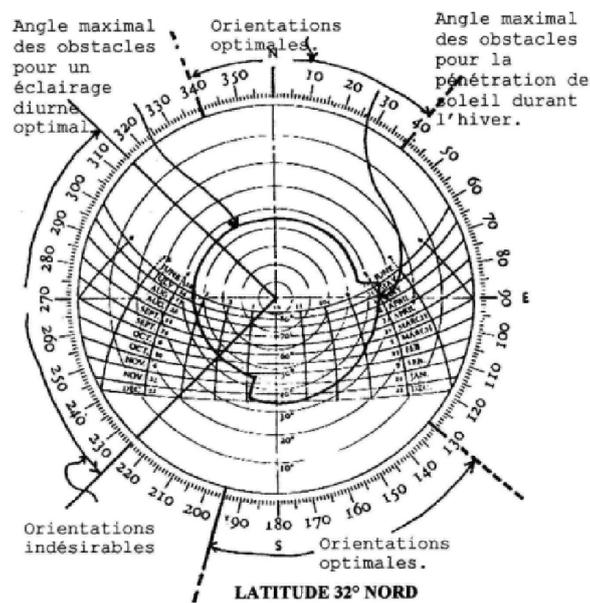


Fig II.29. Espacement et orientation requis pour des climats chauds et secs. Source : Evans M., 1980, P. 72

### II.3.3.2-PARAMETRES DE L'ENVELOPPE AFFECTANT LA DIFFERENCE DE GAIN THERMIQUE DE DIVERSES ORIENTATIONS :

Les surfaces externes de l'enveloppe du bâtiment ont des gains de chaleur différents, le toit du bâtiment est chauffé par les radiations solaires du lever au coucher du soleil, alors que les murs verticaux de diverses orientations sont parfois ombragés. La différence, dans les radiations solaires directes des murs externes, dépend de leurs azimuts (Mingfang T., 2002). Approximativement, il est déterminé que le gain de chaleur à travers une surface horizontale , en été, est le double par rapport à une surface d'orientation Sud et d'une fois et demi supérieur à celui des surfaces d'orientation Est et Ouest. Par contre, en hiver, il est supérieur d'un tiers

de gain d'une surface d'orientation Sud et de deux tiers de celui d'orientation Est et Ouest (Ekaterini Eumorfopoulou et al, 1998).

En l'absence de rayonnement solaire, les régimes de température, de surface des parois d'orientation quelconque, sont plus au moins parallèles à ceux de l'air extérieur. La température de la toiture peut être inférieure de plusieurs degrés à celle de l'air ambiant, du fait de la perte de chaleur par rayonnement de grande longueur d'ondes. Cela démontre que l'influence de la température de l'air ambiant est indépendante de l'orientation. Cependant, sous l'exposition au rayonnement solaire, qu'il soit direct, diffus ou réfléchi, la température de ces surfaces augmente proportionnellement à la quantité du rayonnement absorbé, qui diffère selon l'orientation de la surface et selon son facteur d'absorption dépendant, à son tour, de la couleur de la surface externe. Les effets quantitatifs des variations de vitesse du vent, sur l'apport de chaleur par convection, ne sont pas très grands. L'influence de l'orientation des surfaces sur les amplitudes de l'élévation de la température dépend de la capacité calorifique et de la résistance des murs. Avec une capacité calorifique, et surtout une résistance élevée, elles sont moins influencées par l'orientation que ces derniers sont faibles.

La quantité d'énergie absorbée par une paroi d'un bâtiment ne dépend pas seulement de l'intensité des radiations solaires, mais aussi de la couleur de cette surface. Chaque surface possède un facteur d'absorption "a". La couleur d'une surface donne une bonne indication de son facteur d'absorption pour le rayonnement solaire, qui décroît avec la clarté de la couleur : il varie entre 0 et 1 (ou bien en %).

L'expérience effectuée par Givoni, concernant une comparaison entre les températures des surfaces externes orientées vers les quatre directions cardinales avec deux couleurs différentes, le gris et le blanc, a révélé des différences dépassant 23° dans les températures des murs gris selon diverses orientations, tandis que pour les murs à la chaux blanche, les différences étaient toutes inférieures à 3°. Donc il existe une considérable interaction des effets entre l'orientation et la couleur sur le réchauffement des parois extérieures : pour un facteur d'absorption faible, l'influence de l'orientation sur les températures internes est moins significative que pour un facteur élevé (Givoni, 1978).

#### **II.4. TYPES DE CLIMATS**

Les climats régnant autour du globe sont principalement influencés par l'échauffement de l'énergie du soleil, des masses de la terre et d'eau. Au niveau régional, le climat est influencé par l'altitude, la topographie, les modèles des courants de vents et d'océans, la

géomorphologie et le modèle de la végétation. En conséquence, les régions tropicales peuvent être divisées en beaucoup de différentes zones climatiques. Une classification très complète basée sur le climat et le paysage est donnée par un scientifique soviétique L.S.Berg. Il distingue douze types de climat : 1-forêt tropicale humide. 2- forêt tropicale, de savane. 3-le désert tropical. 4- forêt subtropicale. 5-méditerranéen. 6-désert montropical. 7-steppe. 8- région de mousson, de latitude modérée. 9- forêt à feuilles caduques de latitude modérée. 10-taïga. 11-toundra et 12-les régions froides. Une autre classification du climat tropical est déterminée par le scientifique Anglais G.A. Atkinson, elle est basée sur les conditions thermiques et d'humidité qui prédominent au cours de toute l'année. Il a distingué six types de climats ; chaud aride, chaud humide, montagne, désert maritime, mousson et océanique (Rimsha A. N. 1982)

Plusieurs systèmes de classification basés sur la végétation sont développés. Le plus connu et le plus utilisé est celui de Köppen dont la version originale est datée de 1900. Une version légèrement modifiée a intégré la précipitation annuelle pour distinguer des zones et la température moyenne mensuelle pour distinguer d'autres (figure II.30). Mais une classification basée sur la végétation ou sur la précipitation et la température ne répond toujours pas aux besoins des concepteurs qui cherchent à évaluer le confort thermique régnant dans une région. Pour une classification liée à la conception bioclimatique, les paramètres minimums qui doivent être inclus sont l'humidité, la température et la gamme de température (Evans, M 1980).

D'autres classifications sont basées sur l'architecture vernaculaire, Dolfus (1954) a développé une classification basée sur la relation entre des types de constructions qui sont identifiés par leurs toits et les caractéristiques thermiques et de précipitation des zones. Fitch et Branch (1960) ont élaboré une division basée sur l'analyse des performances de l'architecture vernaculaire en relation avec le climat, et Givoni (1963) a proposé une division climatique des USA et du Canada en se basant sur une analyse des climats et des exemples de l'architecture vernaculaire, quoique le climat n'est pas toujours été le facteur déterminant de l'architecture vernaculaire (Cook Jeffrey, 1996)

Beaucoup de secteurs existent avec des climats différents ou combinés. Les conditions locales peuvent également différer sensiblement du climat d'une région, selon la topographie, l'altitude et les environnements, qui peuvent être naturels ou artificiels. La présence des conditions favorables ; des surfaces d'eau, vent local, urbanisation, altitude, et la végétation peuvent tous influencer fortement le climat local (Intestin et al, 1993), car les dispositifs de

chaque zone sont différents : il est évident que ceci aura comme conséquence différents problèmes et solutions, par conséquent différentes :

Du point de vu de la conception des bâtiments, et tenant compte des facteurs influant sur une conception bioclimatique, une classification des types climatiques développés par Miller a été modifiée par Givoni pour distinguer les groupes climatiques suivants :

*a) Climats chauds :*

1. Sec et chaud : désertique.
2. Chaud et humide : équatorial et tropical maritime.
3. Sec, chaud et humide : tropical continental et mousson.

*b) Climats tempérés chauds :*

4. Type moyen occidental.
5. Type moyen oriental.

*c) Climats tempérés froids :*

6. Tempéré froid continental.
7. Tempéré froid maritime.

*d) Climats froids :*

8. Continental froid : Sibérien.
9. Froid maritime : Norvégien.
10. Froid désertique.
11. Arctique (Givonie, 1978)



LEGENDE :

- |                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| A- Équatorial.             | BW- Désert.             |
| C- Tempéré.                | BS- Steppe.             |
| D- Froid tempéré           | H- Climats de montagne. |
| E- Arctique et subarctique |                         |

Figure II.30. Zones climatiques selon la division modifiée de Köppen. Source : Evans. M, 1980.

#### **II4.1. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DU CLIMAT CHAUD ET SEC**

On rencontre ce climat entre 15° et 35° au Nord et au sud de l'équateur, (Evans. M, 1980) dans les régions subtropicales d'Afrique, d'Asie centrale et occidentale, d'Amérique du Nord-Ouest et du Sud et en Australie centrale et occidentale (Givoni, 1978). Il est caractérisé par :

✓ TEMPÉRATURE DE L'AIR :

Un climat sec et chaud est caractérisé par des températures élevées causées par le rayonnement solaire direct et intense, qui peuvent s'abaisser de 15° à 25°C durant la nuit. (Evans M., 1980) Les fluctuations de la température de l'air sont bien sûr beaucoup plus faibles mais, malgré tout, une amplitude diurne de 20 °C n'est pas rare. Les températures durant un jour d'été sont aux alentours de 40° à 50 °C, et la nuit, elles sont comprises entre 15° et 25 °C (Givoni, 1978).

✓ HUMIDITÉ ET PRÉCIPITATION :

L'humidité relative évolue avec la température de l'air et peut varier de 20% dans l'après midi, jusqu'à plus de 40% la nuit. Les pluies sont peu abondantes et varient de 50 mm à 150 mm annuellement (Fardeheb.F, 1987).

✓ RADIATION SOLAIRE :

Le rayonnement solaire est direct et intense, supérieur à 800 ou 900w/m<sup>2</sup> sur une surface horizontale, il est en outre augmenté par le rayonnement réfléchi par les surfaces arides et de couleurs claires voisines (Givoni, 1978).

✓ VENTS:

Les vents sont locaux et chauds, de vitesse généralement faible le matin, plus intense vers midi et maximale l'après midi. Par ailleurs, il n'est pas rare qu'ils soient accompagnés de tourbillons de sable et de poussière.

#### **II.4.1.1. PROBLEMES ET EXIGENCES DE CONFORT PHYSIOLOGIQUE DANS UN CLIMAT SEC ET CHAUD**

Dans un climat chaud et sec, les conditions de confort physiologique sont difficiles à satisfaire. Elles ne peuvent généralement être assurées que si la conception des bâtiments est adaptée aux conditions de l'été. Dans ce cas, la principale considération est la réduction de l'impact du rayonnement solaire sur les bâtiments et les espaces extérieurs, là où les vents secs et chauds s'accompagnent de tempêtes de poussières. Le contrôle du vent doit être axé sur la protection plutôt que sur la recherche de la meilleure ventilation.

Dans les régions à climat sec et chaud, la dissipation du surplus de chaleur du corps humain se fait principalement par la sudation qui est le résultat de l'évaporation de la sueur. Cette évaporation aide à maintenir un certain degré de confort satisfaisant (Szokolay, 1980 ; Baker, 1987). L'efficacité de ce mode de déperdition thermique peut être contrariée par les conditions du milieu, en particulier, par une humidité relative élevée dans l'air et un mouvement d'air insuffisant. avec une faible humidité, c'est le cas de notre contexte climatique. En se basant sur ces réalités et sur celles qui indiquent que la faible humidité favorise le refroidissement par évaporation, même par air calme, on comprend l'effet que la ventilation naturelle, pendant le jour, est indésirable dans des conditions d'un climat chaud et sec: elle augmente la charge physiologique du corps par une augmentation de son gain de chaleur convective. L'effet de l'aération et de l'apport d'air frais peut être assuré pendant la nuit mais avec une vitesse d'air optimale de 1m/s et acceptable jusqu'à 1,5m/s (Givoni, 1978).

Vu que le confort est une sensation subjective qui diffère d'un homme à un autre selon le sexe, l'état de la santé, le poids et la taille du corps, le revêtement, l'activité exercée et l'acclimatement (Givoni, 1978 ; Szokolay, 1900), plusieurs études ont été menées pour déterminer les conditions de confort dans un climat chaud et sec.

Dans la corrélation des données physiques de l'environnement et les réponses subjectives des individus dans ce qui est défini en indices théoriques, Nicol et Sharma ont été d'accord que, dans des climats chauds et arides, la température de l'air et la température résultante sont les seules variables qui affectent largement les résultats de votes pour le confort. Ils affirment que ni l'humidité relative, ni la vitesse de l'air n'ont montré un impact significatif sur la sensation de confort thermique. Ils précisent et soutiennent que l'humidité relative, dans les climats chauds et secs, a des valeurs assez faibles pour affecter l'évaporation du corps humain et, par conséquent, pour assurer un refroidissement qui influe sur le confort

thermique (Hanna R., 1997). Par contre Givoni donne des valeurs limites de confort, indépendantes de l'humidité relative, mais liées au niveau de la ventilation de l'espace pendant la nuit où elle est exigée. Il limite le confort du jour à une température ambiante de 27°C à 29°C lorsque la ventilation n'est pas envisageable et à une température de 24° -25°C pendant la nuit avec une ventilation faible ou efficace (Givoni, 1978). D'autres valeurs d'une température optimale pour le confort, dans des conditions d'un climat chaud et sec, ont été suggérées par Nicol et Sharma dont Nicol donne une valeur de 32°C et Sharma suggère des valeurs près de 27,5°C (Hanna R., 1997).

#### II.4.1.2. STRATÉGIES CONCEPTUELLES ET TECHNIQUES DE RÉGULATION THERMIQUE DANS UN CLIMAT CHAUD ET SEC

Les caractéristiques climatiques d'un climat chaud et sec se manifestent en tant que source d'inconfort pour les habitants de ces régions. Afin d'y améliorer les conditions de vie, plusieurs stratégies impliquent l'action sur les paramètres suivants :

- Les radiations solaires.
- Les températures.
- La ventilation.

Ces stratégies peuvent être résumées sous forme de deux alternatives :

- Protection contre les surchauffes.
- Approvisionnement en fraîcheur naturelle.

Le schéma qui suit présente les stratégies de base pour le refroidissement (Figure II.31), d'après Anupama Sharma et al (2003), ces stratégies sont présentes dans plusieurs livres et articles et en détail, notamment, dans le guide de l'énergie solaire passive de Edward Mazria (1981) et l'habitat bioclimatique de Watson D. et Camous R. (1983).

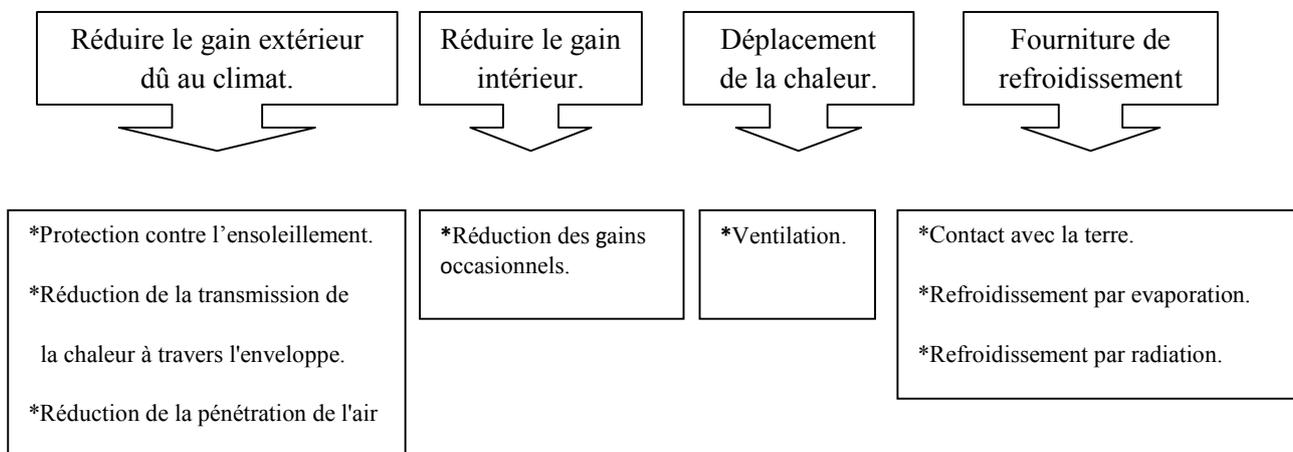


Figure II.31. Stratégie de base pour le refroidissement.

Pour atteindre ces objectifs, les stratégies conceptuelles consistent à :

- \* Limiter les transferts de chaleur par conduction.
- \* Déphaser les variations périodiques de température.
- \* Favoriser la ventilation.
- \* Limiter les gains solaires.
- \* Favoriser le refroidissement par rayonnement nocturne.
- \* Favoriser le refroidissement par évaporation (Watson D. et Camous R., 1983).

#### **II.4.1.2.1. LIMITER LES TRANSFERTS DE CHALEUR PAR CONDUCTION**

Dans les échanges thermiques avec l'environnement, la superficie de l'enveloppe est un facteur important au même titre que sa nature. Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction, qui constituent l'enveloppe, jouent un rôle capital dans les échanges thermiques avec l'environnement.

Pour limiter les transferts de chaleur par conduction, les grandeurs mises en jeu sont la conductivité thermique et la capacité calorifique. Les matériaux de faible conductivité thermique peuvent s'opposer à la transmission de la chaleur résultante de l'absorption du rayonnement solaire. Mais dans les régions chaudes, la mise en œuvre de la résistance thermique seule, pour améliorer les conditions de confort, n'est pas suffisante, elle se limite aux régions où le maximum de température extérieure ne dépasse pas environ 30°C. Son recours à une grande capacité calorifique des matériaux, les possibilités de réduction des températures intérieures diurnes sont assez limitées. Ainsi, sous des variations périodiques des conditions extérieures, avec des différences de température et une résistance thermique donnée, le flux de chaleur transmis à l'intérieur du bâtiment décroît lorsque la capacité calorifique de sa structure croît (Givoni, 1978).

Avec l'utilisation d'une enveloppe épaisse, les températures superficielles intérieures seraient relativement constantes et proches des valeurs moyennes sur les surfaces extérieures. Ces valeurs sont particulièrement plus élevées pour un toit non blanchi que pour les autres surfaces, ce qui constitue pratiquement une source permanente d'échauffement de la maison (Cheng V. et al, 2005 ; Givoni, 1978) (Figure. II.32). Par conséquent une isolation des parois

les plus exposées au rayonnement solaire est prioritaire, mais elle n'est pas moins appréciable pour les parois verticales.

En contre partie, la chaleur stockée par une structure de grande capacité calorifique est restituée la nuit et présente des températures ambiantes nocturnes plus élevées que celles de l'extérieur. L'isolation thermique pourrait, toutefois, altérer la déperdition de chaleur, dans la mesure où elle amortit l'évacuation du flux de chaleur intérieur. Mais en réalité, ces inconvénients sont largement pondérés par l'effet de la ventilation nocturne, et la qualité thermique de l'ambiance intérieure nocturne est plus conditionnée par la ventilation que par les déperditions par conduction (Watson D. et Camous R., 1983; Mazria E., 1981; Givoni, 1978).

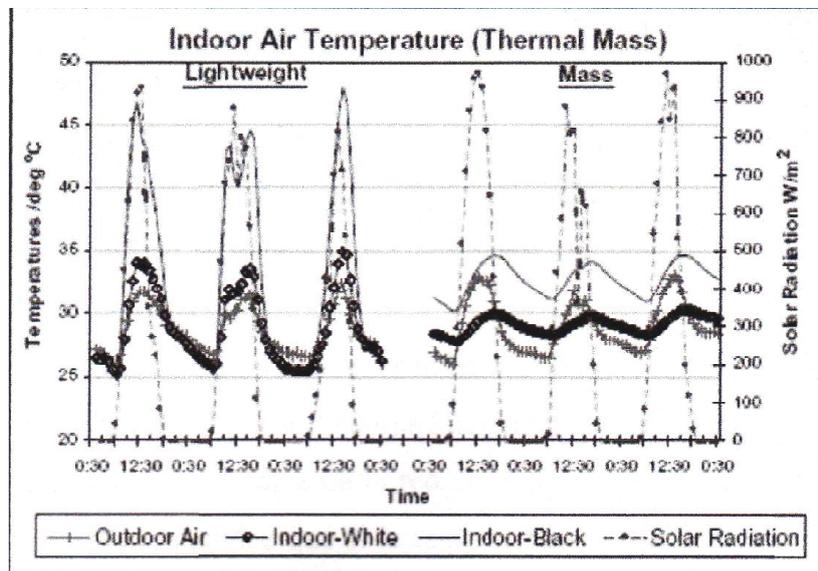


Figure. II.32. Effet de l'inertie thermique sur la température d'air intérieur. Source : Cheng. V et al, 2005, p. 531.

#### II.4.1.2.2. DÉPHASER LES VARIATIONS PERIODIQUES DE TEMPÉRATURE

Les climats chauds et arides se caractérisent par de grandes amplitudes journalières, des rayonnements solaires intenses, une gamme de température journalière élevée et une basse humidité. La grande différence entre la température de jour et celle de nuit la moins élevée, dans les régions arides, a exigé le recours à l'inertie thermique pour retarder la transmission de chaleur de sorte qu'elle atteigne l'intérieur dans la soirée et abaisser la température intérieure diurne. En même temps, la chaleur restituée la nuit sera évacuée par la ventilation

nocturne. Le temps que met l'onde thermique pour traverser un mur de façade prend le nom de retard (Shaviv Edna et al, 2001 ; Mazria E., 1981).

Le délai devrait être au moins de huit heures et les délais compris entre 8 heures et 4 heures sont encore avantageux. De plus longs délais n'amélioreront pas nécessairement les conditions internes puisque le gain de la chaleur, après un retard entre 20 et 30 heures, atteindra l'intérieur avec le gain de rayonnement solaire du jour suivant. Ce qui fait que l'ambiance intérieure n'est pas sensiblement améliorée quand le délai est augmenté au delà de huit heures (Evans M., 1980).

Une construction possédant une capacité calorifique élevée permet donc, dans une considérable, de contrôler les conditions thermiques intérieures dans les régions à amplitude de températures diurnes et à rayonnement solaire intense.

#### **II.4.1.2.3. FAVORISER LA VENTILATION**

Le mouvement d'air est important pour l'apport permanent d'air frais et l'évaporation par ventilation des polluants atmosphériques pour tous types de climats. Le taux de ventilation doit choisi afin de contrôler la température intérieure, la pollution et le mouvement d'air (Fordham .M, 2000).

Mais dans les climats chauds et secs, pendant le jour, la ventilation n'est pas nécessaire le refroidissement par évaporation du corps humain et elle est indésirable pour les échanges Je chaleur convective. Il est souhaitable de la réduire à un minimum (Givoni, 1978). En réalité, la ventilation n'est pas recommandée que si la température de l'air extérieur est plus basse que celle de l'air intérieur (Fordham M., 2000). Dans le cas des régions arides et chaudes, durant la nuit, la ventilation nocturne peut, donc, constituer un moyen de rafraîchissement intéressant.

La ventilation nocturne agit sur :

- L'évacuation des surchauffes dues aux apports solaires retardés ou internes.
- Le refroidissement de la masse du bâtiment, Dans les régions à climat chaud et aride, les effets cumulés de la ventilation nocturne et de l'inertie thermique sont très avantageux. La masse des murs se refroidit au court de la nuit sous l'effet de la ventilation et par rayonnement nocturne de la toiture, puis, au cours de la journée, elle absorbe la chaleur de

l'ambiance intérieure, tout en continuant à présenter des surfaces relativement fraîches. La maison passive fonctionne alors de façon inversée. On ouvre le bâtiment à la fraîcheur de la nuit quand les températures sont au plus bas dehors pour stocker cette fraîcheur dans l'inertie thermique intérieur des locaux ; puis on le tient fermé le jour suivant pour se protéger de la chaleur et conserver le plus longtemps possible la fraîcheur des murs, cloisons et planchers et donc de l'ambiance intérieure (Mazria E., 1981). Les possibilités pour stocker l'énergie aident également en hiver, puisque la chaleur d'un jour ensoleillé d'hiver peut être stockée dans les murs pour un lendemain froid (Shaviv Edna, 2001).

#### II.4.1.2.4. LIMITER LES GAINS SOLAIRES

Dans des climats chauds et secs, où le ciel est presque toujours clair, les radiations directes que reçoit une surface horizontale présente 90% des radiations solaires. La proportion restante de 10% est due au rayonnement diffus qui se produit pendant qu'une certaine proportion de rayonnement solaire est dispersée en traversant l'atmosphère (Evans M., 1980). La quantité totale d'énergie interceptée par une surface comprend, non seulement le rayonnement direct, mais aussi les rayonnements diffus et réfléchis (Mazria E., 1981). Il est aussi démontré que la radiation solaire augmente le besoin de refroidissement de 25% (Mingfang T., 2002).

L'intensité du rayonnement diffus du ciel tombant sur une surface verticale, tel que le mur, sera la moitié de la valeur tombant sur une surface horizontale, puisque le mur est seulement exposé à la moitié du ciel. Ce rayonnement diffus tombera sur toutes les surfaces verticales, pas simplement celles exposées au rayonnement direct, mais aussi les surfaces ensoleillées qui recevront de plus grandes quantités. Les surfaces verticales recevront également le rayonnement diffus reflété par la terre (Bouvier F., 1989 ; Evans M., 1980 ; Mingfang T., 2002).

Ces rayonnements solaires directs ou diffus reçus par les surfaces externes de l'enveloppe architecturale sont, soit absorbés, soit réfléchis, (le cas des matériaux opaques), comme ils peuvent être aussi transmis dans le cas des matériaux transparents. Une très simple équation permet d'exprimer la relation entre les parties absorbées (a), réfléchies (r) et transmises (t) de l'énergie reçue :  $a + r + t = 1$  (Givoni, 1978).

Donc, on peut contrôler les échauffements dus aux apports solaires en abritant le bâtiment du soleil et en premier lieu, les surfaces vitrées les plus exposées, ou tout au moins, en réduisant les surfaces de l'enveloppe exposées au soleil et par des choix convenables des matériaux de construction.

✓ *L'ombre comme stratégie de contrôle de l'apport énergétique solaire :*

Une protection contre les gammes à hautes températures, peut être établie par une réduction des surfaces externes et une protection de celles ensoleillées.

**a. Application au niveau de la forme urbaine :**

Au niveau de la forme urbaine, l'étroitesse des rues et la hauteur des constructions assurent un ombrage mutuel des façades. Selon l'orientation, ils peuvent également intercepter les rayons solaires bénéfiques en période froide. Il faudra également souligner que ces rapports entre la largeur des rues et la hauteur des constructions représentent une stratégie utilisée aussi pour protéger les espaces extérieurs ainsi que les bâtisses contre les vents, chauds, d'été et ceux, froids, de l'hiver (Fardheb, 1987; Belakhal, 1995).

**b. Application au niveau de l'enveloppe et de détail de construction :**

Lorsque l'on sait exactement comment le soleil se propage sur un bâtiment, cela permet de calculer avec précision l'ombre portée par des bâtiments voisins ou par l'environnement, et de savoir utiliser la forme physique d'un bâtiment pour contrôler l'énergie solaire.

Il est confirmé que par l'ombrage, on peut réduire le besoin en refroidissement des constructions de 23 à 89% ce qui affirme, d'autre part, une amélioration thermique de l'espace intérieur (Dubois M-C, 2001).

Par l'application de la "méthode des angles d'occultation" qui s'applique aux formes élémentaires telles que " l'auvent", les "joues latérales" et "le vis à vis", à partir desquelles il est possible de construire les diagrammes de transmission de la " loggia " ou du " patio ", on peut assurer la protection des parois (Izard J. L., 1994). On peut aussi assurer une protection des parois par des éléments plats :

Murs doubles : ils constituent une paroi additive à celle porteuse et pouvant être totalement opaque ou perforée.

*Texture et décoration* : le crépissage, l'appareillage des matériaux de construction peut aussi contribuer à ombrager les surfaces des murs (Belakhal, 1995).

✓ *Forme et orientation du bâtiment* :

« La forme optimale d'un corps de bâtiment correspond à celui qui lui permet de perdre 101 minimum de chaleur en hiver et d'en gagner un minimum en été. » (Mazria E., 1981).

Dans les expériences effectuées par Tang Mingfang, l'orientation optimale en été et en hiver, est le Sud, malgré que la forme cubique offre une surface minimale extérieure, la forme allongée dans la direction Est-Ouest est la forme optimale pour les conditions d'été et d'hiver. Plusieurs modèles de formes parallélépipédiques de même volume sont utilisés afin d'optimiser les proportions dimensionnelles pour une meilleure réponse thermique en été. Une comparaison des proportions ( $Q/Q_0$ ) de rayonnement solaire reçu par la surface externe des divers parallélépipèdes, pendant la journée et par unité de surface  $Q$ , à celui du cube est mentionnée dans le tableau. 1, dont  $P= H/W$ ,  $X=L/W$  (Figure. II.33). Une réduction de 4% de gain thermique peut être atteinte en été avec un proportionnement optimal et ce, pour les parallélépipèdes (Mingfang T., 2002).

Dans l'étude de l'influence d'éléments climatiques et thermiques sur différentes formes de construction, Victor Olgyay a, aussi, conclu que :

- Le carré n'est pas la forme optimale, quelque soit la localisation de la construction.
- Toutes les formes allongées, dans la direction Nord-Sud, sont moins efficaces que la forme carrée.
- La forme allongée, dans la direction Est-Ouest, est la forme optimale dans chaque cas et pour tous les climats (MazriaE., 1981).

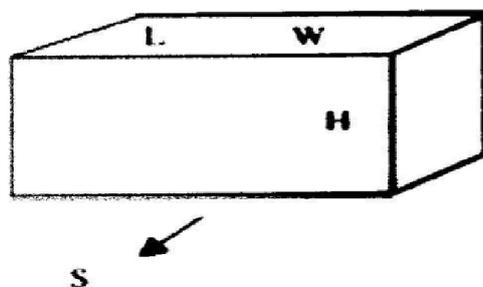


Figure.II.33. Présentation de la forme et de son orientation. Source : Mingfang Tang, 2002, p. 663.

✓ *Ouvertures :*

Dans des climats chauds, ou au moins pendant les saisons chaudes, la lumière directe du soleil devrait être exclue. L'éclairage excessif ne devrait pas exister pour deux raisons :

- La lumière du soleil, même lorsqu'elle est reflétée ou diffusée, peut élever les températures internes.
- La lumière forte peut causer l'inconfort visuel.

Dans les régions à climat sec et chaud, où les cieux nuageux sont très rares, les fenêtres devraient être aussi petites que possibles. Les techniques de prévision d'illumination indiquent qu'avec des surfaces raisonnablement réfléchissantes, une ouverture de 10% de la surface des murs externes donne une lumière proportionnée ( $50 \text{ lumens/m}^2$ ) dans une pièce domestique de  $4 \times 4 \times 3 \text{ m}$ . C'est l'équivalent environ de 8% de la surface couverte. Cette petite fenêtre devrait être placée de sorte que la vue principale à l'extérieur soit dirigée vers le ciel bleu. Une position élevée de la fenêtre permettra également à la lumière du soleil reflétée par la terre d'être reflétée par le plafond. Des fenêtres, à côté des murs internes, permettront également à la lumière d'être reflétée par ces murs, et ceci améliorera l'illumination de l'espace interne en évitant la lueur provoquée par la différence dans les niveaux de lumière (Evans M., 1980).

La quantité d'énergie traversant une baie vitrée dépend, pour une latitude donnée, de son environnement extérieur, son exposition, le *type* de vitrage utilisé et de la présence d'éventuels brise-soleils ou autres occultations.

- a. L'environnement commande la durée réelle de l'ensoleillement de la baie.
- b. L'exposition de la baie détermine la durée d'ensoleillement, mais aussi la répartition diurne et annuelle de l'énergie incidente, et donc celle de l'énergie transmise selon le type de vitrage.
- c. Le type de vitrage utilisé influe sur la quantité d'énergie transmise à l'intérieure par l'intermédiaire de la proportion du rayonnement incident qui est réfléchi et qui dépend de l'angle d'incidence.
- d. Le brise soleil est un dispositif destiné à régler la pénétration solaire à l'intérieur du bâtiment, ou même à l'empêcher en saison chaude. L'efficacité de ces dispositifs se mesure par le facteur d'occultation, qui

est le rapport de l'énergie transmise et de l'énergie incidente (Izard J. L., 1978).

#### **II.4.1.2.5. FAVORISER LE REFROIDISSEMENT PAR RAYONNEMENT NOCTURNE**

Le rafraichissement par rayonnement nocturne peut s'avérer un moyen efficace d'adaptation de l'architecture aux conditions d'ambiance chaude. C'est un moyen naturel qui dépend du facteur d'émission de la surface externe et des conditions atmosphériques : un ciel clair et sec, avec une température radiante basse, a généralement pour résultat d'optimiser ce mode de refroidissement. Le rayonnement est efficace surtout sur la toiture, qui est la surface la plus exposée au ciel.

Les températures nocturnes des surfaces, pouvant rayonner vers l'espace, sont de 2 à 6 °C inférieures à celles de l'air ambiant, et jusqu'à 8 à 9 °C par temps très sec et très calme (Bouvier F., 1989). On peut atteindre des meilleurs résultats de refroidissement par des matériaux d'une grande émissivité thermique dont la couleur ne constitue pas un indicateur (Givoni, 1979).

#### **II.4.1.2.6. FAVORISER LE REFROIDISSEMENT PAR ÉVAPORATION**

Le refroidissement, par évaporation, est employé sur une grande échelle pour refroidir l'air intérieur des bâtiments dans les régions arides. L'utilisation de l'eau dans une atmosphère chaude et sèche provoque son évaporation, et pour s'évaporer, l'eau a besoin de l'énergie pour se transformer de l'état liquide à l'état gazeux, ce qui provoque la réduction de la température de l'air et par conséquent son rafraichissement et son humidification.

### **II.5. CONCLUSION**

Ce chapitre est considéré comme point de départ de la modélisation qui va être présentée ultérieurement. Il présente un rappel théorique des connaissances de base de l'architecture bioclimatique, issue d'une analyse bibliographique ; il vise le climat, le confort thermique, une définition du contexte climatique d'étude et des stratégies de régulation thermiques dans des conditions d'un climat chaud et sec.