

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MENTOURI. CONSTANTINE

**FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE ET DE
L' AMENAGEMENT DU TERRITOIRE**

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

N° d'Ordre.....

N° de Série.....

MEMOIRE DE MAGISTERE

OPTION : ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

THEME

Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur

dans l'habitation collective.

Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine

Présenté par :

M^{me} Bellara (Née Louafi) Samira

Sous la direction du :

Dr. Abdou Saliha

Devant le jury d'examen :

Année Universitaire 2004-2005

SOMMAIRE

Remerciements	x
Listes des figures	xi
Listes des tableaux	xvii
Listes des planches.....	xvii
Nomenclature	xviii

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE UN : PROBLEMATIQUE ENERGETIQUE & L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

1.1	Introduction & Problématique Energétique	6
	Définition De L'énergie	7
1.1.1	Consommation Energétique	9
1.1.2	l'homme et l'énergie à travers les âges	9
1.1.2.1	La Consommation Energétique Des Différents Secteurs En	
1.1.2.2	Algérie	10
1.1.2.3	Consommations Dans Le Secteur Ménager En Algérie	11
1.1.2.3.1	consommation du gaz naturel	12
1.1.2.3.2	consommation de l'électricité	12
1.1.3	Consommation énergétique au niveau de la nouvelle ville (Uv7) et la ville de Constantine	14
1.2	Les Concepts nouveaux de l'architecture	.17
1.3	Le Soleil Source D'énergie Renouvelable	17
1.4	Conclusion	18

CHAPITRE DEUX

CLIMAT ET CONFORT

2.1	Introduction	19
2.2	Approche climatique & bioclimatique	19
2.2.1	Analyse Climatique et climat	19
2.2.1.1	Le climat	19
2.2.1.1.a	Définition	19
2.2.1.1.b	Eléments utiles du climat	20
2.2.1.1.c	Les échelles des éléments du climat	20

2.2.1.2	Analyse Climatique De La Ville De Constantine	21
2.2.1.2.1	Le Rayonnement Solaire	22
2.2.1.2.2	La température de l'air	23
2.2.1.2.3	Humidité Relative	24
2.2.1.2.4	Vent	25
2.2.1.2.5	Précipitation	27
2.2.1.3	Conclusion	27
2.2.2	Analyse Microclimatique	28
2.2.2.1	Facteurs influençant le microclimat	29
2.2.2.2	Microclimat de la ville de Constantine	29
2.2.3	Conclusion	31
2.3	Le Confort & L'analyse Bioclimatique	31
2.3.1	Confort	31
2.3.1.1	Confort Thermique	31
2.3.1.1.1	Les effets climatiques sur l'homme	32
2.3.1.1.2	L'équilibre du corps avec son environnement	33
2.3.1.1.3	Les exigences thermiques du corps humain	33
2.3.1.1.4	Echange de chaleur entre corps humain et ambiance environnementale	33
2.3.1.2	Les Facteurs Influençant Le Confort Thermique	35
2.3.1.2.A	Les facteurs climatiques environnementaux	35
2.3.1.2.A ₁	La température de l'air	35
2.3.1.2.A ₂	L'humidité de l'air	35
2.3.1.2.A ₃	Le mouvement de l'air et la vitesse de l'air	36
2.3.1.2.A ₄	Le rayonnement	36
2.3.1.2.B	Les Variables dépendant du sujet	36
2.3.1.2.B ₁	Les activités de l'individu	36
2.3.1.2.B ₂	Le vêtement	36
2.3.1.2.C	Les facteurs subjectifs	36
2.3.2	Conditions D'ambiance Proche Au Confort	37
2.3.3	Les différentes températures utilisées	37
2.3.3.1	Température sèche de l'air	37
2.3.3.2	Température humide	37
2.3.3.3	Température de rayonnement des parois	37
2.3.3.4	Température résultante sèche	37
2.3.3.5	Température d'ambiance où température « globe »	38
2.3.4	Les Indices De Confort Thermique	38
2.3.5	Les Outils D'aide A La Conception Bioclimatique	40
2.3.6	Analyse Bioclimatique De Constantine	40
2.4	CONCLUSION	42

3.1	Introduction	44
3.2	Le Soleil & La Géométrie Solaire	44
3.3	Importance Des Radiations Solaire En Architecture	45
3.4	Aspect Géométrique Du Soleil	47
3.4.1	Le mouvement annuel de la terre autour du soleil	47
3.4.2	Le mouvement diurne de la terre sur elle-même	48
3.4.3	La latitude et les conditions saisonnières d'ensoleillement	49
3.4.3.1	Les coordonnées solaires	49
3.4.3.1.A	La sphère céleste équatoriale et les coordonnées équatoriales du soleil	49
3.4.3.1. A₁	La déclinaison	49
3.4.3.1. A₂	L'angle horaire solaire	50
3.4.3.1.B	La sphère céleste locale et les coordonnées horizontales du soleil pour un observateur terrestre	50
3.4.3.1.B1	La hauteur angulaire du soleil (l'altitude)	50
3.4.3.1.B2	L'azimut du soleil	50
3.4.3.2	Calcul De La Position Solaire	51
3.4.3.2.A	Usage de l'outil informatique	51
3.4.3.2.B	La Méthode manuelle	52
3.4.3.2.C	la méthode graphique	52
3.4.3.3	Détermination du temps solaire	54
3.5	Aspects Energétique Du Soleil	54
3.5.1	Les Effets atmosphériques sur le rayonnement solaire	55
3.5.1.1	Rayonnement Direct : (I)	56
3.5.1.2	Rayonnement Diffus :(D)	57
3.5.2	Variations diurnes et saisonnières de l'ensoleillement	59
3.6	L'ensoleillement A Constantine	60
3.6.1	Température Et Rayonnement	60
3.6.2	Exigence En Matière D'ensoleillement	61
3.6.3	Détermination Des Zones D'ensoleillement Et D'ombres	61
3.6.3.1	Zone de surchauffe (isothermes de Constantine)	61
3.6.3.2	Position du soleil à Constantine	63
3.6.4	Définition Des Heures D'ensoleillement	64
3.6.5	L'irradiation solaire d'une paroi	64
3.6.5.1	L'indicateur d'irradiations solaire pour une paroi	64
3.6.5.2	Intensité du rayonnement solaire sur une paroi	65
3.6.5.3	L'irradiation Solaire Mensuelle D'une Paroi	67
3.6.5.4	L'irradiation Solaire D'une Paroi	68
3.6.5.4.1	Pour une paroi verticale (90°)	68
3.6.5.4.2	Pour une paroi inclinée à 60°	74
3.7	Conclusion	74

CHAPITRE
QUATRE :

**EFFETS COMBINE DES ELEMENTS CLIMATIQUES
SUR LA CONCEPTION DE LA CONSTRUCTION**

4.1	INTRODUCTION	76
4.2	Transfert De Chaleur Et Propriétés Thermo physique Des Matériaux De Constructions	76
4.2.1	Notion de chaleur et de température	77
4.2.1.1	Conduction	77
4.2.1.2	Convection	77
4.2.1.3	Rayonnement	77
4.2.1.4	Evaporation où condensation	77
4.2.2	Chaleur et température	78
4.2.3	Les Propriétés Thermo physique des Matériaux de Construction	78
4.2.3.1	Absorptions	78
4.2.3.2	Conduction thermique	78
4.2.3.3	Capacité calorifique.	78
4.2.4	Propriétés des éléments de la construction	79
4.2.4.1	La conductance thermique	79
4.2.4.2	L'inertie thermique	80
4.2.4.2	Le facteur solaire	80
4.2.4.3	Le déphasage	80
4.2.4.4	L'admittance	81
4.2.5	Comportement Thermique Des Parois	81
4.2.5.1	Les parois opaques	81
4.2.5.2	Les parois transparentes	82
4.2.6	Fonctions Thermiques Des Parois	82
4.2.6.1	Fonctions d'échange des enveloppes	82
4.2.6.2	Fonctions de captation	82
4.3	Ensoleillement.	83
4.3.1	Mode De Transfert De La Chaleur A Travers L'enveloppe	83
4.3.1.1	la paroi opaque	83
4.3.1.1.A	Intensité du rayonnement solaire sur une paroi	84
4.3.1.1. A ₁	La composante directe	84
4.3.1.1. A ₂	La composante diffuse	85
4.3.1.1. A ₃	La composante réfléchié ou albédo	85
4.3.1.1. B	Que devient le flux solaire intercepté par une paroi ?	86
4.3.1.1. B ₁	Le flux solaire réfléchi	86
4.3.1.1. B ₂	Le flux solaire absorbé	86
4.3.1.1. B ₃	Le Flux solaire transmis	87
4.3.1.2	la paroi transparente	87
4.3.2	Nécessité du contrôle de l'ensoleillement	92

4.4	Ouvertures Et Protections (contrôle de l'ensoleillement)	92
4.4.1	Système de protection solaire	93
4.4.1.1	Fonction des fenêtres	94
4.4.1.2	Stratégie d'ombre	94
4.4.1.3	formes et dimensions d'une protection selon l'orientation	94
4.4.1.3.1	Les angles d'ombre	94
4.4.1.3.2	Dimensions des protections	95
4.4.2	Systèmes d'occultation naturelle	96
4.4.3	Systèmes d'occultation mobile extérieur ou intérieur	96
4.4.3.1	Systèmes d'occultation fixes	98
4.4.3.1.A	les occultations horizontales ou auvents	98
4.4.3.1.B	les occultations verticales	100
4.4.3.1.C	la structure en boîte à oeuf	102
4.4.4	Hauteurs de référence du soleil et orientation	103
4.4.4.1	Pour un auvent	103
4.4.4.2	Ecran vertical en position frontale	104
4.4.5	Calcul des protections dans le cas de Constantine	105
4.5.	Effet Du Vent (La Ventilation)	110
4.5.1	Effet du vent sur la température de surface extérieure	111
4.5.2.1	Ventilation pour le refroidissement de la structure	111
4.5.2.2	Transfert de la chaleur par convection	112
4.5.3	Effet de la ventilation sur l'ambiance intérieure	113
4.5.3.1	Effet de la ventilation transversale	114
4.5.3.2	Effet de la ventilation nocturne	115
4.5.3.3	Orientation de l'ouverture par rapport au vent	115
4.5.4	Effet combiné du vent et température	116
4.6	CONCLUSION	116

CHAPITRE **L'ORIENTATION ET SES EFFETS**
CINQ :

5.1	Introduction	117
5.2	Définition	117
5.2.1	Les Classes d'orientations	118
5.2.2	Orientation d'une paroi verticale	120

CHAPITRE SIX : INVESTIGATIONS

6.1	Introduction	148
6.2	Présentation Du Logement D'étude	150
6.3	Appareil De Mesure	152
6.4	Conditions De Déroulement Des Mesures	155
6.4.1	période estivale	155
6.4.2	période hivernale	156
6.5	Interprétations Des Résultats	158
6.5.1	Période Estivale	158
6.5.1.1	Etude de la variation de la température et l'humidité relative intérieure et extérieure	158
6.5.1.1.1	Pour le séjour orienté Nord-est ($A = -120^\circ$)	158
6.5.1.1.2	Pour le séjour orienter Sud-est ($A = -30^\circ$)	161
6.5.1.1.3	Pour le séjour orienter Sud-ouest ($A = +60^\circ$)	164
6.5.1.2	Comparaison Des Températures Intérieure Et Extérieure Des Différentes Orientations	166
6.5.1.3	Comparaison Des Températures surfaciques (intérieure et extérieure)	168
6.5.1.3.1	Les températures surfaciques extérieures	168
6.5.1.3.2	Les températures surfaciques intérieures	169
6.5.1.4	Comparaison des écarts entre température intérieure et extérieure	169
6.5.2	Période hivernale	170
6.5.2.1	Etude de la variation de la température et l'humidité relative intérieure et extérieure	170
6.5.2.1.1	Pour le séjour orienter Nord-est ($A = -120^\circ$)	170
6.5.2.1.2	Pour le séjour orienter Sud-est ($A = -30^\circ$)	172
6.5.2.1.3	Pour le séjour orienter Sud-ouest ($A = +60^\circ$)	174
6.5.2.2	Comparaison des températures intérieure et extérieure des différentes orientations	176
6.5.2.3	Comparaison des températures surfaciques (intérieure et extérieure)	176
6.5.2.4	Comparaison des écarts entre température intérieure et extérieure	177
6.5.3	Evaluation de la performance thermique des trois séjours	178
6.6	Conclusion	180

CHAPITRE SEPT : SIMULATION

7.1	Introduction	181
7.1.1	Description du logiciel	181
7.1.2	Déroulement de la simulation	182
7.2	Comparaison entre températures mesurées et simulées par TRNSYS	183
7.2.1	Période d'été :	183
7.2.1.1	Séjour orienté Sud-est (A= -30°)	183
7.2.1.2	Séjour orienté Nord-est (A= -120°)	185
7.2.1.3	Séjour orienté Sud-ouest (A= 60°)	186
7.2.2	Période hivernale :	187
7.2.3	Comparaison des trois orientations	189
7.2.4	Effet de L'orientation	189
7.2.5	L'orientation optimale	191
7.3	Besoins en énergie pour le chauffage suivant l'orientation	194
7.4	Besoin en énergie pour la climatisation suivant l'orientation	196
7.5	l'effet de la couleur	197
7.5.1	Effet de la couleur sur la température surfacique	198
7.5.2	Effet de la couleur sur la température intérieure	201
7.6	Effet de la dimension de la fenêtre	203
7.6.1	Effet de la taille de la fenêtre	203
7.6.2	Effet de l'occultation	204
7.7	Effet de la ventilation	205
7.8	CONCLUSION	207

CHAPITRE HUIT : RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION GENERALE

8.1	Introduction	208
8.2	Conclusions et Recommandations	218
8.2.1	Choix de l'orientation	218
8.2.2	Impact énergétique	218
8.2.3	La réduction de la pénétration solaire	218
8.2.4	Pour réduire les gains directs	219
8.2.4.1	A travers les ouvertures	219
8.2.4.2	A travers les parois opaques	219
8.2.5	Pour évacuer la chaleur excédentaire	219
8.2.6	Pour capter la chaleur à l'intérieur en hiver	213

Bibliographie.....	214
Annexes	219
Résumé en anglais	245
Résumé en arabe.....	246
Résumé en français.....	247

Introduction Générale

« Tout immeuble de logements, ou maison individuelle, sera optimisé par rapport à son environnement climatique si le maître d'œuvre a tenu compte des vents amenant le froid et la pluie, de l'orientation des pièces en fonction de leurs usages pour un meilleur confort thermique et visuel » (Eric Durand, 1986)¹

1- Introduction et problématique :

*« Pour bien disposer une maison, il faut avoir égard au pays et au climat où on veut bâtir, car elle doit être autrement construite.. »*²

A travers les différents âges de l'humanité l'homme a toujours essayé de créer des conditions favorables pour son confort et ses activités, tout en essayant de contrôler son environnement.

De la hutte primitive à la maison d'aujourd'hui, l'habitation reflète à travers son évolution les différentes solutions trouvées par l'homme pour faire face aux aléas climatiques. Il est souvent admis dans les milieux scientifiques que l'architecture vernaculaire a donné des réponses très judicieuses.

La logique du productivisme qui a dominé le 20^{ème} siècle, se retrouve aussi dans les domaines de la construction, de l'urbanisme et de l'architecture. Ou il y a l'apport du progrès des sciences et des techniques dans l'habitat avec toutes ses conséquences. Ces techniques rationalisent la construction mais ne prennent pas en considération la qualité, la durabilité, l'adaptation de l'habitat avec son milieu, et elle considère l'occupant comme un consommateur passif.

L'Algérie connaît une crise aiguë en matière d'habitat dont le confort thermique ne semble pas être le souci majeur des concepteurs. En quatre décennies d'indépendance, le paysage urbain et architectural des agglomérations algériennes a connu un changement sans précédent ; Aucune ville, aucun village n'a échappé à ce modèle constructif (habitat collectif). Ce phénomène est caractérisé par une forte demande où la quantité a pris le dessus sur la qualité.

Ce type d'habitat collectif provoque le problème d'intégration climatique qui implique une consommation considérable d'énergie.

La crise de l'énergie a brutalement mis l'accent sur l'importance du volume de combustible utilisé pour le chauffage et la climatisation, en raison de cette consommation qui influe sur la charge d'exploitation des immeubles et également sur l'ensemble de l'économie du pays.³ Pour cela, la prise en considération de l'aspect climatique, tient compte du respect des facteurs du site qui peuvent être utiles : Orientation, pente du terrain, ensoleillement, protection contre les intempéries, vents dominants⁴.

¹ -Eric Durand - Habitat Solaire et Maîtrise de l'Énergie- Revue Système Solaire N° 17/18 – oct.- nov. 1986_ p.10

² -Izard.jean.Louis. Archi Bio éditions : parenthèses Paris. 1979 p.8

³ -Bernard Château & Bruno Lapillone - la prévision à long terme de la demande d'énergie- : énergie et société . centre national de la recherche scientifique –CNRS- Paris 1977

⁴ - la maison bioclimatique :[enligne] [http://www.lesdossiersdebiorespect.com/sur/l'énergie, l'environnement.htm](http://www.lesdossiersdebiorespect.com/sur/l%27energie,l%27environnement.htm) (page consultée le 20 mars 2004)

A cet effet l'architecture BIOCLIMATIQUE insiste sur l'optimisation de la relation de l'habitation avec le climat en vue de créer des ambiances « confortable » par des moyens spécifiquement architecturaux ; Le but de l'architecture bioclimatique est d'exploiter les effets bénéfiques du climat (captage du soleil en hiver, ventilation en été) tout en offrant une protection contre les effets négatifs (trop de soleil en été, expositions aux vents dominants en hiver)⁵, une conception consciente de l'énergie ; et qui place l'occupant et son confort au centre de ses préoccupations.

Une construction est dite bioclimatique quand sa conception architecturale vise à utiliser, les éléments favorables du climat et de l'environnement, en vue de la satisfaction des exigences du confort thermique³

Comment construire bio et climatique ? l'idée fondamentale dans la conception d'un habitat bioclimatique est la relation retrouvée entre l'homme habitant et le climat. elle permet de réduire les besoins énergétiques et de créer un climat de bien être à l'intérieur des logements avec des températures agréables et une humidité contrôlée... les énergies renouvelables et en particulier l'énergie solaire sont à prendre en considération,

l'influence du rayonnement solaire c'est-à-dire l'effet radiatif « *sol air température* » sur la température de l'air au voisinage de la paroi, et sur la température de la face exposée au soleil tient compte de plusieurs facteurs :

- Rayonnement solaire sur toute l'enveloppe du bâtiment
- Température de l'air suivant l'heure du jour et la position du soleil
- Orientation du bâtiment (par rapport au soleil et au vent)
- Caractéristiques des parois extérieures (masse thermique, couleur, état de surface des matériaux, isolation...)
- Protection solaire de toutes ces parois
- Emplacement et taille des fenêtres.

L'effet radiatif permet donc d'après une meilleure connaissance du comportement thermique d'un bâtiment donné, et qui facilite aussi l'étude de son orientation, de l'emplacement des fenêtres susceptibles de produire le meilleur confort thermique au cours des quatre saisons.⁶

L'orientation [*est la direction vers laquelle sont tournées les façades*]⁷ joue un rôle important dès les phases primaires de la conception architecturale, construire en harmonie avec les heures de la journée et des saisons donne une architecture plus confortable et plus conviviale pour l'habitant.

L'orientation d'une façade est le paramètre clé des interactions visuelles, thermique et acoustique ; Cependant au niveau thermique cela se traduit par l'ensoleillement disponible, la pression du vent et l'humidité de l'air ; tout cela gère simultanément le rôle que joue la façade⁸
Le niveau du rayonnement sur un mur est sensiblement plus élevé dans une direction et moindre dans l'autre, ce qui signifie que les conditions de protection sont importantes, et en particulier la

⁵ - Bioclimatisme : [enligne]. <http://www.greanspace.b/bioclimatime.html> (page consulter le 3 mars 2004)

⁶ - D. Wright– Soleil, Nature, Architecture- Edition : Parenthèses Paris 1979 p.83-116-117

⁷ - B. GIVONI l'homme, l'architecture et le climat Edition : Le Moniteur Paris 1978 p.229.

⁸ - A. CHATELET —P. FERNANDEZ – P. LAVIGNE l'architecture climatique : une contribution au développement durable EDISUD tome 2 :concepts et dispositifs ; Aix en Provence France, 1998 p.15

ou il y a des fenêtres « il n' en reste pas moins qu'une bonne orientation des baies vitrées est un choix essentiel pour faire des économies d'énergie »⁹..

Le souci de construire rapidement et en grande quantité a favorisé ce type d'habitat collectif. En plus très peu de tentative réfléchie pour adapter ce genre de construction aux conditions climatique de la région, où la même organisation et le même plan de masse se trouve répété à travers les cités Algérienne. Ce type d'habitat collectif est caractérisé par :

- La forme dispersée, exposant ses baies aux conditions climatiques alors que ces conditions peuvent être modérées par la création des microclimats agréable qui est malheureusement négligé au profit des voies larges et asphaltées .
- Une orientation arbitraire des bâtiments ou le même prototype peut être soumis à diverses orientations avec des façades percées de large baies vitrées. Sans prendre en considération les quantités d'énergies à consommer. Le confort thermique à l'intérieur de l'habitat collectif (réchauffement excessif en été, bourdonnement de vents froids qui soufflent sur la paroi en hiver) et cela augmente ses déperditions dont le besoin en chauffage sera plus important. Cette façade peut être modérée par le choix d'une bonne orientation et le bon emplacement.
- Le type de construction extraverti permet à l'espace de s'ouvrir sur l'extérieur par de larges fenêtres qui seront protégées uniquement par des persiennes en bois ou des stores, cette protection sera plus efficace si elle est dotée d'éléments d'ombrage.
- L'éclatement des tissus urbains, augmente aussi les surfaces de contacts avec l'extérieur
- L'usage des matériaux non adaptés aux exigences climatiques, tel que les parois minces en béton et la paroi en bloc de ciment...
- Les transformations réalisées par les propriétaires accentue le problème (effet de serre).

Et pour assurer le bien être, l'utilisateur aura recours aux appareils mécaniques de chauffage et de climatisation et qui aboutissent des consommations énergétiques exagérées (constaté dans les factures d'électricité et de gaz des citoyens de l'habitat collectif)¹⁰.

«Une construction intelligente doit tenir compte de l'environnement climatique : soleil, vent, pluie, orientation des pièces en fonction de leurs usage »¹¹ Pour cela ; Ajuster la conception d'un bâtiment, c'est modifier les effets de l'orientation à la fois sur les conditions d'ensoleillement, de ventilation et donc de température.

- La problématique du sujet concerne l'inadaptation climatique du bâtiment contemporain.
- L'orientation arbitraire de ces façades et qui soulève la question sur la quantité d'énergie reçue sur chaque paroi du bâtiment collectif et son impact sur le confort intérieur. Ainsi que le besoin d'énergie à consommer pour la régulation thermique et son coût.

⁹ - **J. M. BLOCH -LAINE** Construire avec le Climat « ministère de l'environnement et du cadre de vie » Paris 1979 p.23

¹⁰ - **Bernard Château & Bruno Lapillone** la prévision à long terme de la demande d'énergie : énergie et société . centre national de la recherche scientifique –CNRS- Paris 1977

¹¹ - **Eric Durand** Habitat Solaire et Maîtrise de l'Énergie . Revue Systèmes Solaire N°17/18 - oct./nov. 1986 p.10

Objectifs de la recherche :

Afin de répondre à l'objectif du confort, le concepteur doit tenir compte de :

1. La bonne implantation des bâtiments qui prend en compte les apports énergétiques, (Rayonnement solaire et ses effets d'échauffement sur les murs et suivant l'orientation.)
2. La meilleure position par rapport au vent (problème de la ventilation en rapport avec la direction du vent et l'orientation de la façade.)

La prise en compte de ces deux facteurs peuvent aboutir à des exigences d'orientation¹² , qui peuvent minimiser les dépenses d'énergie.

En exploitant les paramètres du bâtiment, on peut réduire les consommations_énergétiques et on peut assurer des ambiances intérieures confortables a savoir :

- L'orientation par rapport au soleil et au vent.
- La couleur et la nature des surfaces exposées de la paroi.
- la taille et la protection des fenêtres.

L'objectif consiste à tester le comportement thermique d'un bâtiment collectif contemporain situé à la nouvelle ville Ali Mendjli de Constantine vis-à-vis les conditions climatiques extérieures. Cela concerne l'étude de l'impact de l'orientation sur la température intérieure de l'habitat collectif. Dont le confort intérieur reste lié à l'environnement thermique qui s'établit entre le corps humain et l'environnement proche, qui dépend de nombreux critères : température de la paroi, température de l'air, déplacement de l'air , l' humidité¹³ .

Approche méthodologique de la recherche :

Afin de répondre aux objectifs assignés au préalable, l'étude a concerné deux parties distinctes :

- Une première partie théorique consiste en une observation de la problématique énergétique ou dans un premier temps le développement du facteur énergie, son importance dans l'économie ainsi que les causes de l'augmentation de la consommation énergétique. Par la suite on ciblera les différents concepts d'architecture qui prennent en considération l'énergie solaire comme composante de conception qui vise la relation de l'architecture avec le climat, tout cela fera l'objet du premier chapitre.

Par la suite, le deuxième chapitre présente une étude climatique et bioclimatique de Constantine ; et qui débutera par le facteur climat et son impact sur le confort de l'être humain. Ce qui permet de développer des diagrammes de confort pour la ville de Constantine ; et qui servira de base pour les interprétations du cas d'étude.

Le troisième chapitre développe l'aspect géométrique et l'aspect énergétique du soleil. Et pour pouvoir étudier le contrôle solaire dans le bâtiment, une analyse des radiations solaires dans les différentes orientations s'impose.

¹² - B. GIVONI L'homme, L'architecture et le climat Edition : Le Moniteur Paris 1978 p.229-230

¹³ -C. R. Croccker –[en ligne].<http://www.cbd-126F-Influence de l'orientation sur les parements exterieur.htm> (consulter le 25 mai 2004)

Les données de base pour une conception bioclimatique nous permettent d'assimiler tous les mécanismes de transfert de chaleur. Cependant le contrôle climatique consiste à moduler ces types de transferts. Maîtriser le rôle de l'ensoleillement sur le bâtiment, la protection des ouvrants ainsi que le rôle de la ventilation nous facilitent la réalisation d'une conception bioclimatique. Une étude détaillée des éléments combinés du climat sur la construction et qui influe sur le confort intérieur, fait l'objet du chapitre quatre.

D'autre part, une revue générale a été établie, concernant l'orientation et ses effets sur la température intérieure, ainsi que les techniques passives de contrôle de l'ensoleillement, déjà employées dans l'architecture traditionnelle et contemporaine. Ceci fera l'objet du cinquième chapitre.

- Une deuxième partie expérimentale concerne en premier temps une investigation in situ qui a permis une lecture de trois échantillons d'habitations situées dans la nouvelle ville Ali Mendjeli à Constantine. Une série de mesures de températures, d'humidités relatives et des températures de surfaces sont réalisées à l'intérieur du local choisi et à l'extérieur. Dans le but d'évaluer l'effet des radiations solaires, du vent suivant l'orientation sur la façade (paroi verticale percée de baie) et son impact réel sur le confort intérieur de la construction. Pour vérifier l'effet de l'orientation et qui fait l'objet du chapitre six.

Puis une modélisation à l'aide d'un logiciel informatique TRNSYS (version 14.1), permettra de valider les résultats de l'investigation et de faire ressortir les paramètres influents sur l'orientation et son impact sur le confort intérieur. La variation de ces paramètres a permis la recherche de l'orientation optimale ainsi que la couleur et la taille des ouvertures appropriées. Selon l'objectif de la recherche la simulation, s'est limitée à l'évaluation de la température intérieure de la zone d'étude, les températures surfaciques intérieure et extérieure du mur extérieur et les quantités de radiations solaires absorbées par le mur extérieur.

Cependant dans le but de chercher l'orientation optimale, une évaluation des différentes orientations a été faite en pivotant l'axe de l'orientation de la face externe suivant plusieurs angles.

Une série de variations telles que l'orientation, la dimension de l'ouverture, la couleur extérieure, système de protection, peuvent facilement déterminer les éléments qui s'avèrent plus performants et plus intéressants pour améliorer les conditions de confort thermique. Ceci a fait l'objet du chapitre sept.

- Enfin une synthèse des résultats des différentes parties avec des recommandations pour les futures recherches. Et pour arriver à concevoir des bâtiments plus performants du point de vue thermique et énergétique, font l'objet du dernier chapitre.

Problématique Energétique & l'architecture bioclimatique

« Nous ne pouvons résoudre les problèmes de notre existence uniquement par la création de quantités illimitées d'énergie, bien que cela soit fort utile pour nous libérer de la fatigue et du besoin, mais en faisant un usage convenable des ressources que cela nous apporte »

Albert. HINKELBEIN (la source d'énergie) p.7

1.1- Introduction et Problématique Energétique :

L'énergie depuis le commencement des âges a été le moteur de l'activité humaine, et c'est un élément qui intervient dans tous les actes quotidiens de l'homme.

Cependant le chauffage, la climatisation, l'éclairage, le transport...etc. représentent les différentes manières du besoin en énergie.

L'augmentation illimitée de l'offre d'énergie relativement à la demande, ainsi que les faibles coûts ont entraîné des gaspillages énormes et une consommation très importante de ces sources ; aussi bien dans le domaine industriel que dans le domaine domestique.

Le besoin brut du bâtiment est la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir, pendant une période de temps donnée, un climat intérieur convenable et satisfaire les prestations du bâtiment (eau chaude, cuisson, éclairage, chauffage, climatisation...). Se caractérise par les différentes formes, c'est pourquoi elle est appelée « protéiforme »¹.

Parmi les sources d'énergie qu'utilise l'homme : le pétrole connu depuis l'aube de l'humanité tient une place particulière, à côté du charbon, et du gaz naturel.....

Les sources alternatives renouvelables d'énergie ont bercé l'enfance de la civilisation humaine ; le soleil, le vent, l'eau ont donné à l'homme la possibilité de nouvelle conquête à savoir un meilleur confort. Par conséquent, le maintien d'un confort thermique agréable semble s'opposer aux recherches d'économie d'énergie. D'où, on ne pourra répondre à cette apparente contradiction que par une conception "globaliste" du bâtiment. Pour se faire, il faut posséder de bonnes notions sur les paramètres climatiques, l'inertie thermique des bâtiments et leur localisation.

Cette approche du besoin d'énergie de chauffage et de climatisation renvoie trois facteurs explicatifs² :

1. Le besoin en température ; est un besoin de climat intérieur, caractérisé par la température intérieure moyenne (qui explique principalement de façon quantitative le besoin d'énergie de chauffage ou climatisation) ce besoin en température est, un besoin « social »
2. Les caractéristiques physiques du logement qui interviennent de façon prépondérante dans la création du besoin d'énergie sont le volume et le degré d'isolation. D'autre caractéristique importante telles que l'exposition au soleil, au vent, le vitrage qu'en doit les prendre en considération dès la conception et l'implantation.
3. Le climat du site, qui détermine la période du besoin.

Le besoin d'énergie se traduit par la demande d'énergie finale, par exemple les besoins de chaleur pour le chauffage d'une maison donnent naissance à une demande d'électricité, du fuel-oil ou de gaz cette demande est schématisée dans la (figure 1-1).

¹ -Encyclopédie De L'électricité : puissance, information, électronique, Larousse, 1969,p.7.

² - **Bertrand CHATEAU & Bruno LAPPILONNE** – La Prévision A Long Terme De La Demande D'énergie- propositions méthodologiques éditions du centre national de la recherche scientifique, paris 1977 p.90

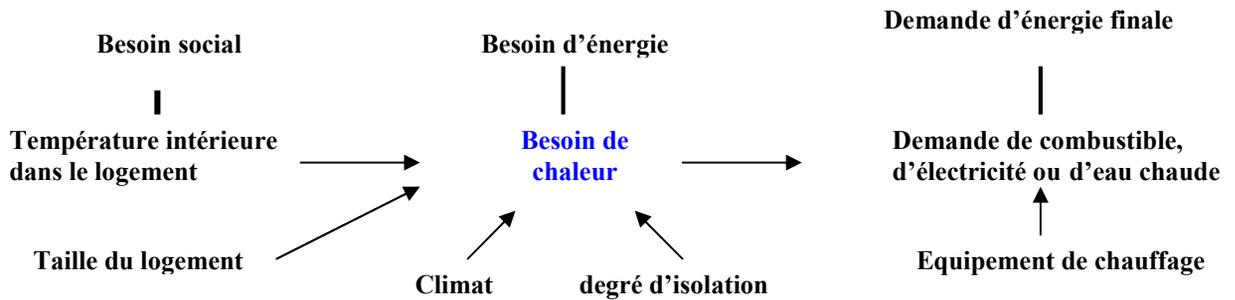


Figure 1-1: Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique.

Source : Bertrand CHATEAU & Bruno LAPPILONNE (1977) 3

Le concepteur doit assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, de faire en sorte que l'impact d'un bâtiment sur l'environnement soit minimisé. L'architecture du 20^{ème} siècle a tendance de céder toutes ces valeurs au détriment de la haute technologie, elle a tendance de négliger la fonction d'offrir un microclimat intérieur plus agréable et plus confortable.⁴

Le chauffage d'hiver, et la climatisation d'été nécessitent beaucoup d'énergie qui va devenir plus rare et plus cher. La crise d'énergie a brutalement mis l'accent sur l'importance des valeurs de combustible utilisé pour le chauffage et la climatisation.

Confronté à ce problème, nous sommes tenu de répondre à des impératifs, économique et de confort. En effet la solution consiste à assurer un niveau de confort thermique acceptable avec une consommation énergétique optimale.

Le confort thermique est estimé essentiellement en fonction des paramètres climatiques extérieurs. L'objectif visé dans le cadre de ce travail est l'obtention d'un niveau de confort thermique en ayant une consommation énergétique optimale. Le moyen le plus efficace est d'éviter le recours abusif à des systèmes de conditionnement d'air « énergivores ». En plus, il est possible d'employer différentes énergies naturelles plus étendues, aussi on peut utiliser l'énergie solaire comme composante de conception architecturale. L'essor de l'architecture « solaire » puis « bioclimatique » permettait de concrétiser cette réflexion dans la production normale du cadre bâti. Exploiter les effets bénéfiques du climat (captage du soleil en hiver, ventilation en été) pour concevoir un projet « a bas profil énergétique ».

Pour palier a cela on va d'abord présenter la consommation de cette énergie et qui pèse à travers le temps très lourd sur les revenus des individus ainsi que l'économie du pays. Ensuite définir les différents concepts d'architecture bioclimatique pour enfin procéder à l'énergie renouvelable « solaire ».

1.1.1- Définition de l'énergie :

Le mot énergie est d'origine latine, « energia »qui veut dire « puissance physique qui permet d'agir et de réagir »⁵

³ -Bertrand CHATEAU & Bruno LAPPILONNE – La Prévision A Long Terme De La Demande D'énergie- propositions méthodologiques éditions du centre national de la recherche scientifique, paris 1977 p.30-31.

⁴ - ABDOU.S et BOUMAZA.M Investigation sur l'intégration climatique dans la maison traditionnelle du ksar de Ouargla, Revue science & technologie, revue semestrielle de l'université Mentouri Constantine. N°21 2004.

⁵ -Grand Larousse De La Langue française, librairie Larousse, tome2 paris, 1972, p.1613.

L'énergie est capable de produire soit du travail, soit de la chaleur, soit tous les deux. Parce que le travail et la chaleur sont fondamentaux pour notre vie.

La définition de l'énergie est vague, a une acceptation large suivant les différents domaines ou on se trouve :

- Par rapports aux physiciens et naturalistes ; l'énergie est la puissance matérielle du travail.⁶
- Par rapports aux économistes ; C'est la quantité de l'énergie mécanique commercialisée ; c'est-à-dire l'ensemble des sources et des formes d'énergie susceptibles d'utilisation massive, aussi bien pour produire de la chaleur que pour actionner des machines.⁷

Dans tous les cas elle contribue au bien être de l'individu c'est pourquoi elle est considéré comme un bien social elle est :

- Limitée : au sens où il ne s'agit que d'un bien de consommation pour les ménages,
- Et considérable : Car sans énergie tout s'arrête. Ce qui explique l'importance qu'on y attache.⁸

Vu qu'elle est indispensable au confort, L'énergie peut s'introduire dans l'architecture à travers deux axes principaux :

- Le coût énergétique « initial » de la construction à partir du coût énergétique des matériaux et de la construction.
- Le coût énergétique « vécu » de la consommation du au chauffage, climatisation, éclairage et alimentation.

Ceci est démontré dans le schéma ci-dessous (figure1-2):

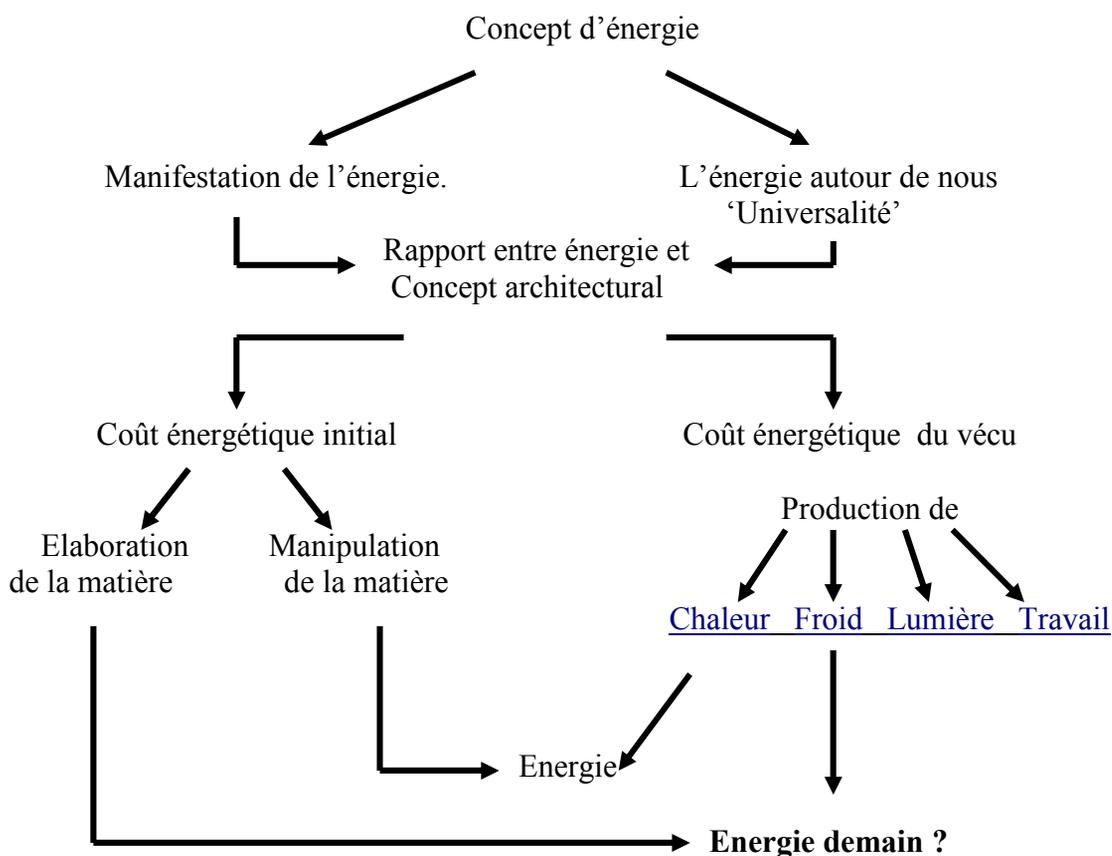


Figure 1-2 : Organisation des contenus sur le thème de l'énergie.

Source : DEPECKER.P, 1985

⁶ - Donald.W.Curran, la nouvelle donnée énergétique, Masson, collection géographie 1981,p.17

⁷ - DONALD. W. CURRAN, La Nouvelle Donnée Energétique, Masson, collection géographie 1981.p.17

⁸ - LOUAFI CHAHRAZED –L'énergie Electrique En Algérie – Université de Constantine 1998. p.191.

1.1.2- Consommation Energétique :

1.1.2.1- l'homme et l'énergie à travers les ages :

La seule source dont disposait l'homme primitif était sa nourriture où il consomme environ 200 Kcal/jour, soit environ 66Kg de pétrole par an ou 100Kg de charbon.

Il y a environ 10 000 ans, l'homme après la maîtrise du feu, avait plus d'aliments et brûlait du bois pour se chauffer et cuisiner ; il consommait environ 5000 Kcal/jour.

Par contre au moyen âge, l'homme utilisait déjà le charbon pour se chauffer, l'énergie hydraulique, éolienne et l'énergie animale pour le transport ; sa consommation d'énergie était double de la précédente soit 24 000 Kcal/jour.

Avec la révolution industrielle, l'homme consommait en moyenne 70 000 Kcal/jour. Dont environ 10% pour sa nourriture, 10% pour le transport, 50% pour le domestique et le tertiaire (chauffage...) et 30% pour l'industrie et l'agriculture.

La société technique se représente vers les années 70, l'énergie était disponible à l'échelle de l'unité individuelle. Le taux de croissance de la consommation d'énergie par habitant aux Etats-Unis par exemple avait atteint 230 000Kcal /jour /habitant.

Donc la plus grande partie de cette énergie était consommée sous forme d'électricité. Les valeurs de la consommation d'énergie de l'homme à travers les ages sont indiquées dans le (Tableau 1-1)

Consommation individuelle exprimée en [10 ³ Kcal/j]	Alimentation, domestique et unitaire		Industrie et agriculture	transport	total
	unitaire	domestique			
1- Homme primitif -(1million d'années)	2	-	-	-	2
2- chasseurs (- 100 000 ans)	3	2	-	-	5
3-Agriculteur primitifs (- 7000 ans)	4	4	4	-	12
4-Agriculteur évolué (+ 1400 ans)	6	12	7	1	26
5- Hommes industriels (+ 1870 ans)	7	32	24	14	77
6-Homme technologique (Etat Unis)(+ 1970 ans)	10	66	91	63	230

Tableau 1-1: Evolution de la consommation énergétique de l'homme de la préhistoire à nos jours. Source : CHITOUR.Ch.E, 1994

La remarque qu'on peut faire est que ces consommations énergétiques ont évolué au cours des âges, surtout dans les secteurs autre que l'alimentation

Après les deux crises énergétiques successives de **1973** et **1979**, les consommations mondiales en matière d'énergie ont diminué à partir de **1980** comme c'est remarqué dans le (Tableau 1-2)

	1925	1955	1960	1972	1980	1984	1992	2000
Etat unis	568	957	1119	1810	2170	2019	-	-
Europe-Ouest	388	438	670	1240	1570	1207	-	-
Le japon	29	37	9	333	524	362	-	-
URSS+ Europe Est +Chine	78	380	976	1595	2047	2377	-	-
Reste du monde	56	146	452	904	1143	1138	-	-
total	1113	1958	3310	5880	7154	7105	8000	9275

Tableau 1-2: Etat de la consommation de 1925 à nos jours par grandes régions en million de tonnes. Source : CHITOUR.Ch.E, 1994

1.1.2.2- La consommation énergétique des différents secteurs en Algérie :

L'importance de l'énergie dans la vie socio-économique a multiplié les travaux sur les questions énergétiques, il est connu que pour notre pays, les produits pétroliers et surtout le gaz ont déjà affiné leur primauté comme matière première pour la pétrochimie et la thermoélectricité, et comme source d'énergie essentielle pour le transport, l'industrie et les besoins ménager.

« Cela est justifié par la décision du 24 février 1971, l'Algérie prend la décision de nationaliser le secteur pétrolier et recouvre ainsi la maîtrise et le contrôle de ses ressources pétrolières et gazières. »⁹

La consommation globale d'énergie en Algérie, sera probablement multipliée par quatre entre les années 1980 et 2000¹⁰ cette évolution est indiquée sur le (Tableau 1-3) et cela pour les différents types d'énergie utiliser par différents secteurs.

	1980	1983	1985	1990	1993	1995	1997	1999
Secteur « industrie et BTP »	2609	3577	4270	3874	4077	4167	3802	4218
Secteur « transports »	2598	3373	3688	4384	4583	4262	4148	4324
Secteur « ménages et autres »	3286	4148	5285	5942	6990	7317	7276	8658
Consommation finale	8493	11098	13243	14200	15650	15746	15226	17200

Tableau 1-3: Consommation d'énergie en million de tonnes équivalentes pétrole (tep)¹¹ par secteur

Source : DGE, 2000

Concernant la consommation de l'énergie en Algérie (figure 1-3), c'est le secteur résidentiel et tertiaire qui domine de l'ordre de 45.7%, suivi du secteur des transports de 27.8% et ensuite industriel BTP de 26.8%.

La consommation d'énergie finale par habitant est de 0.48 TEP en 1990 son évolution passera de 0.71 TEP en 2000 à 1.35 TEP en 2010 et 1.88 TEP en 2020¹²

⁹ - CHITOUR.Ch.E, *L'énergie -les enjeux de l'an 2000* – vol/2 offices des publications universitaires, 1994 p.

¹⁰ - Ministère De L'énergie - *BILAN ENERGETIQUE NATIONAL DE L'année 1999* / DGE,2000.EPE novembre,2000

¹¹ - TEP = tonnes équivalente pétrole (voir annexe).

¹² - CHITOUR.Ch.E *l'énergie – LES ENJEUX DE L'AN 2000* - Vol/1 Office des Publications Universitaires ALGER 1994 p.91

Plusieurs facteurs interviennent directement dans la détermination de l'utilisation de l'énergie :

- Facteurs socio-économiques en rapport avec le niveau de vie des algériens
- Facteurs de la caractéristique de l'habitat et l'aménagement urbain (par les caractéristiques thermiques de la construction, la densité des groupements...)

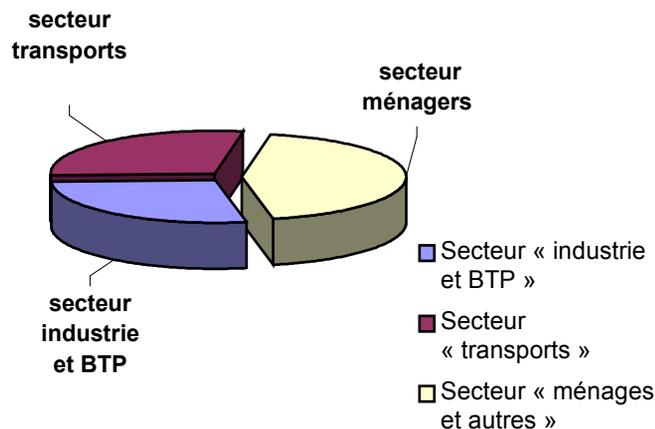


Figure 1-3 : Consommation d'énergie par secteur (période 1980-2000)

Source : D.G.E, 2000

Pour cette raison le besoin d'énergie de chauffage ou de climatisation dans un logement résulte du maintien d'une certaine température à l'intérieur. Et ce maintien dépend des caractéristiques physiques du logement et du contexte climatique dans lequel il se trouve.

La caractéristique du logement intervient sur le besoin énergétique ; où la relation du volume de l'habitation, du degré d'isolation et de son exposition au soleil et au vent demeure essentielle.

1.1.2.3- Consommations dans le secteur ménager en Algérie :

L'électricité, le gaz naturel (en conduites ou en bouteilles), fuel, charbon, bois et même piles électriques sont les vecteurs d'énergie du secteur domestique. Les différents types d'énergie nous servent globalement à quatre différents usages : ¹³

- Le chauffage qui représente la plus forte dépense environ 60% de l'énergie domestique.
- L'éclairage, l'électroménager, l'audio visuel et la climatisation représentent près de 20% de l'énergie.
- L'eau chaude sanitaire nécessaire, représente près de 15%.
- La cuisson représente près de 5%.

¹³ - **Chitour.ch.E** l'énergie – LES ENJEUX DE L'AN 2000 - Vol/1 Office des Publications Universitaires ALGER, 1994. Page. 41.

La lecture du (tableau 1-4) fait ressortir que la consommation du gaz et l'électricité pour le chauffage et pour l'éclairage présente le taux le plus élevé par rapport à d'autre consommation ménagère, ce qui explique la forte demande pour le secteur habitat dont le premier besoin est le chauffage en hiver et la climatisation en été.

Secteur ménages	1980	1983	1985	1990	1993	1995	1997	1999
Combustible solide	10	23	15	15	54	54	54	77
Produits pétroliers	1167	1378	1862	1410	1486	1463	1355	1573
Gaz naturel	432	685	952	1177	1724	1878	1918	2211
Autre gaz	851	1020	1210	1552	1723	1541	1524	1662
Electricité	826	1042	1246	1788	2003	2381	2424	3134

Tableau 1-4 : Consommation dans le secteur ménager en Algérie (en milliers de tonne) .

Source : DGE, 2000¹⁴

1.1.2.3.1-consommation du gaz naturel :

La consommation intérieure de gaz naturel a démarré en 1961 au rythme de 156 millions de m³, et elle atteint 1.4 milliards de m³ à l'an 2000.

Tableau 1-5 donne l'évolution de la consommation de gaz ou on peut constater que l'utilisation du gaz naturel va se multiplier par 30 en l'an 2000 donc l'évolution prévisible de la consommation d'après (CHITOUR.Ch.e,1994) va au rythme annuel de 4.6% .

	unité	1980	1983	1985	1987	1990	1993	1995	1999
Consommation par habitant	Millier de tonnes	851	1020	1210	1369	1552	723	15.41	1662
Nombre de ville alimentée	-	1	22	50	80	150	nd	nd	nd

Tableau 1-5: Evolution de l'activité gazière en Algérie d'après BOUTARFA

Source : -CHITOUR.Ch.E, 1994 p.627, - DGE, 2000.

1.1.2.3.2-consommation de l'électricité :

La consommation et la production d'électricité ont augmenté de 1980 à 1990 avec un rythme soutenu d'environ 6 à 7%, voir Tableau 1-6.

	unité	1976	1980	1985	1990	1995	1999	2000	2001	2002
population	milliers	16450	18666	21863	25022	28060	29965	30416	30879	3137
Consommation	Gwh	321	5392	9408	13008	15697	19932	21144	22245	23202
Nbres abonnés	-	1161651	1602362	2296755	3159680	3934619	nd	4544000	nd	4897000

Tableau 1-6 : Evolution de la consommation électrique en Algérie.

Source : -CHITOUR. Ch.E, 1994 p.627, - DGE, 2000.

¹⁴ - **Ministère De L'énergie - BILAN ENERGETIQUE NATIONAL-** DE L'année 1999 / DGE,2000.EPE novembre,2000

Cette évolution rapide de la consommation énergétique montre que le niveau de vie de l'individu algérien est en nette amélioration. On peut déduire que la forte consommation est due à l'usage multiplié des climatiseurs surtout dans les bâtiments contemporains.

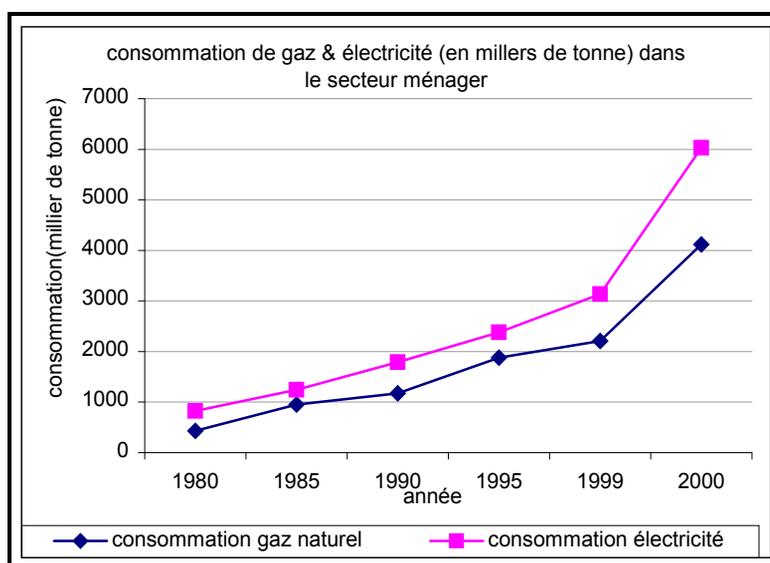


Figure 1-4 : Consommation de gaz et électricité (en milliers de tonne) en Algérie. Source : DGE/EPE, 2000.

Il peut être constaté d'après la (figure 1-4) que la consommation électrique est très important surtout pour les années 2000. La consommation d'électricité domestique par rapport à la consommation, nationale finale s'est élevée de 19.2 % à 30.17 % durant la période 1996 à 2002 (qui est considéré comme un taux très important) et on peut constater que :

- 1- Evolutions de la consommation avec des taux élevées au contraire que le taux moyen à connu son amont durant la première crise pétrolière de 1970-1973, 15.05% et puis dans les années 1996 au 2000 est de 5.79%, et en 2000 au 2002, de 5.2%.
- 2- L'évolution de la consommation d'électricité s'est accompagnée par l'augmentation de la consommation / habitant de 126.26 kWh en 1970 à 702 kWh en 2002 comme le montre le (tableau 1-4) ci-dessous :

Année	1970	1980	1990	1995	1996	2000	2002
Consommation/habitant	126.2	327.03	539.51	568.4	577.26	658	702

Tableau 1- 7 : consommation d'électricité par habitant (en kWh)

Source : Tableau établi par le chercheur de la base des données (SONELGAZ, bulletin statistique 1970-2002, ONS, 2002¹⁵)

¹⁵ - ONS **démographie** : Projection De La Population, collections statistiques n° 66-0994 p.32,35,38

La consommation d'électricité et de gaz des ménages par rapport aux autres secteurs a connu une augmentation à **36.75 %**, cette augmentation est due :

- à l'expansion en surface (plus de constructions)
- coût de l'électricité et du gaz qui est resté gelé durant 1963-1989

1.1.3- Consommation énergétique niveau de la nouvelle ville (Uv7) et la ville de Constantine :

D'après les statistiques, la consommation énergétique à Constantine est en perpétuelle croissance. Entre 1996 et 2001 la consommation électrique connaît une augmentation accélérée (figure 1-5). D'autre part entre 2001 et 2002 le rythme de la croissance de la consommation électrique a pris un abaissement dû à la hausse des prix des énergies qui fait que les individus réduisent l'usage des climatiseurs juste pendant le moment où il est nécessaire.

Par conséquent le même phénomène se produit pour la consommation gazière, mais en inverse. Les consommations n'ont cessé d'évoluer et vu que le prix du gaz naturel qui n'est pas très élevé, et l'utilisateur le consomme de façon normale ou même plus. Un abaissement dans la consommation du gaz qui s'est fait sentir à partir de l'année 2000 dû à l'augmentation des prix. (Figure 1-6)

La (figure 1-8) montre que l'évolution trimestrielle des consommations électriques par abonné au niveau de la nouvelle ville Ali Mendjli qui atteint sa valeur maximale en été. Pendant le trimestre le plus chaud de l'année : où elle atteint la valeur de 500.32Kwh par abonné. Cependant en hiver, les consommations électriques sont très réduites et atteignent généralement leurs valeurs minimales pendant le trimestre qui correspond aux mois les plus froids de l'année : où la consommation comptait près de 367.94Kwh/abonné. Par conséquent, s'il peut être admis que cette valeur représente toutes les consommations de l'éclairage et des appareils électroménagers autre que le climatiseur et le ventilateur, et qu'elle reste plus ou moins constante durant tous les trimestres, alors la consommation d'un climatiseur et ventilateur peut prendre la valeur de 132.38Kwh/abonnée. Par conséquent, sa consommation représente 7.85% de la consommation annuelle électrique par abonnée et du point de vue financier, elle coûte 2462.53 DA soit 20.52% par rapport à un salaire moyen de 12.000 DA.

Par ailleurs, pour la consommation gazière la (figure 1-7) montre que l'évolution trimestrielle des consommations par abonné atteint sa valeur maximale en hiver. Pendant le trimestre le plus froid de l'année : Janvier et février, où elle atteint la valeur de 4707.36thermies par abonnée. Cette valeur arrive à son minimum de 1712.89 thermies par abonnées en été durant le trimestre le plus chaud.

Il peut être admis que cette dernière valeur ne représente que la consommation due à la cuisson, et qu'elle reste plus ou moins constante durant tous les trimestres, alors que la différence entre les consommations hivernale et estivale est forcément attribuée à celle consommée par le chauffage et elle est de 2994.47thermies par abonnée. Cette valeur représente 11.5 % de la consommation moyenne annuelle. En d'autre terme c'est l'équivalent de 492.52 DA, et qui représente 38.27 % d'un salaire moyen de 12.000DA.

Cette approche approximative fait rappeler que cette consommation influe sur l'économie du pays.

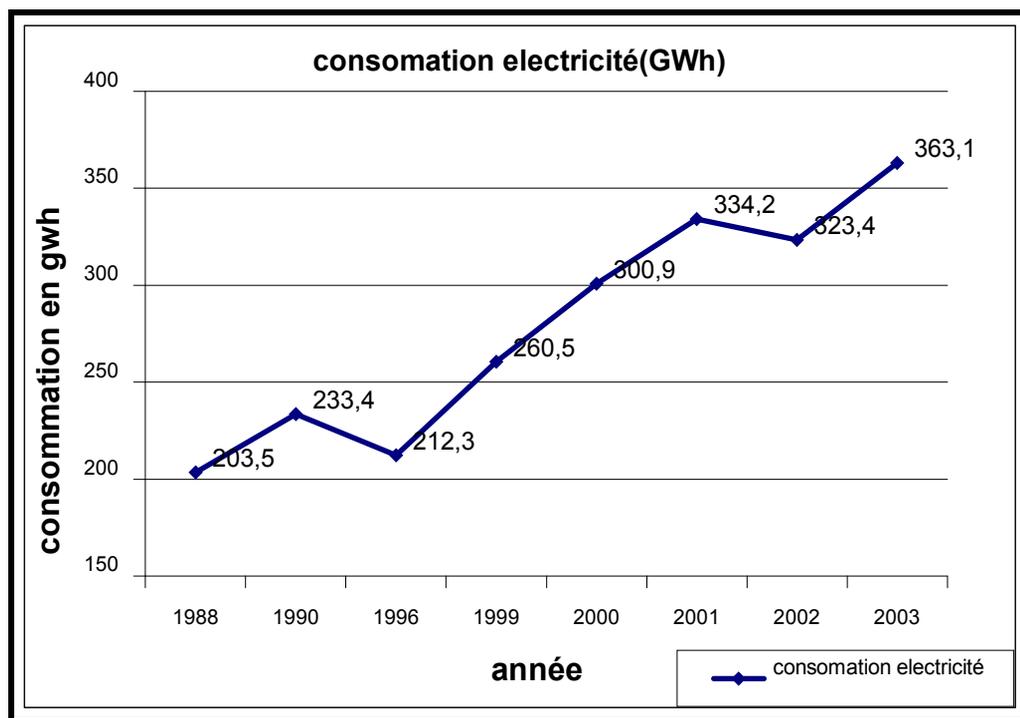


Figure 1-5 : consommation électrique de la ville de Constantine en (GWh)

Source : tableau établi par le chercheur de la base des données (SONELGAZ, bulletin statistique 1980-2004)

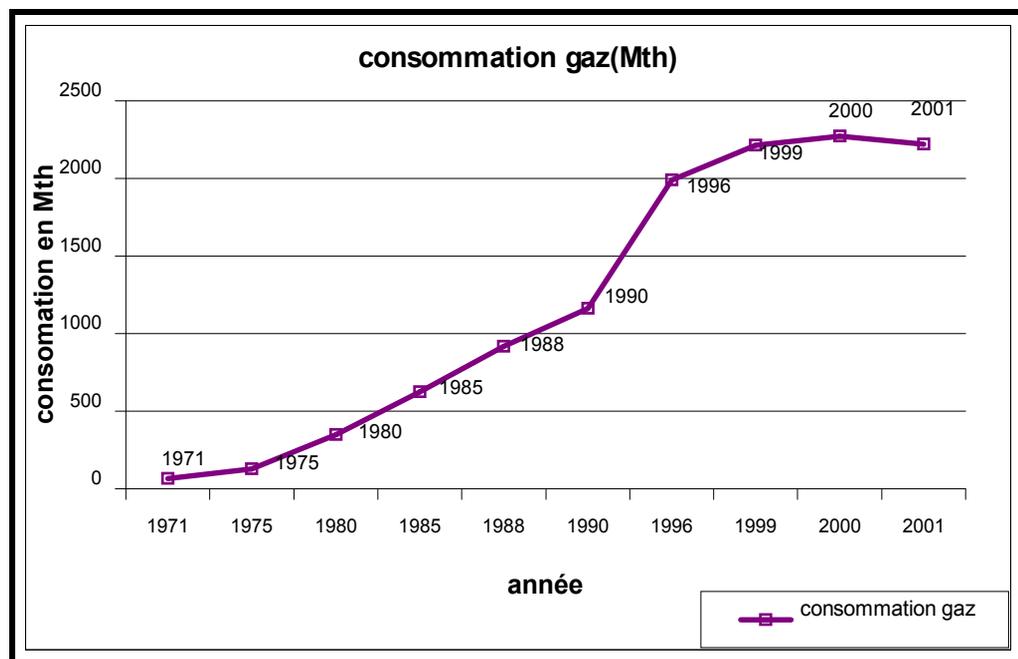


Figure 1-6 : Consommation gazière de la ville de Constantine (en Mth).

Source:Tableau établi par le chercheur de la base des données (*SONELGAZ, 2002¹⁶, *ONS, 1996¹⁷)

¹⁶ - SONELGAZ -bulletin statistique « direction de la planification -Annuaire statistique 62-86, p.38 - Divers bulletins annuels statistiques 87-2002

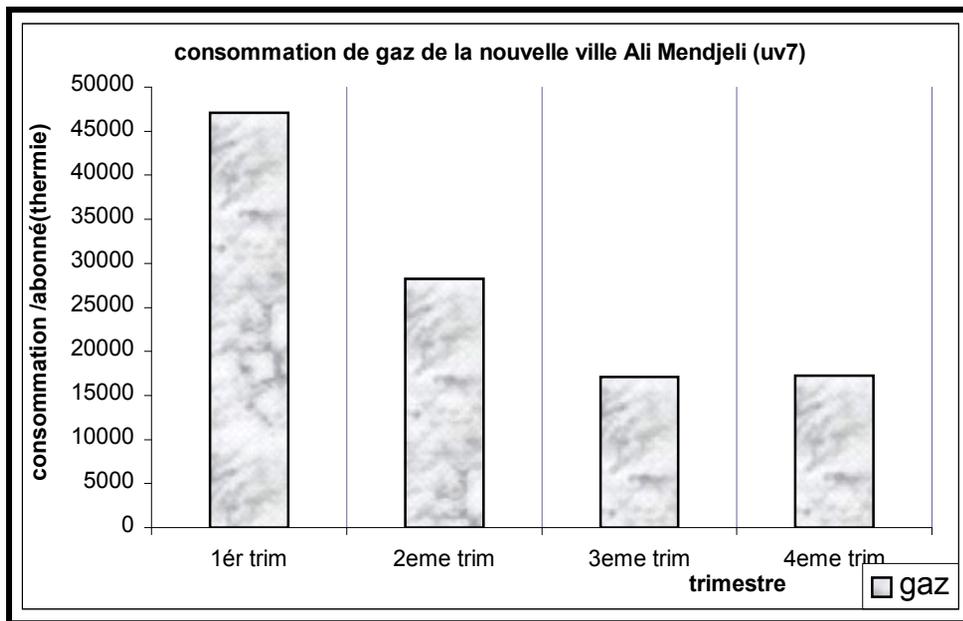


Figure 1-7 : consommation de gaz à la nouvelle ville Ali Mendjeli (UV7).

Source : SONELGAZ De Constantine, 2005.

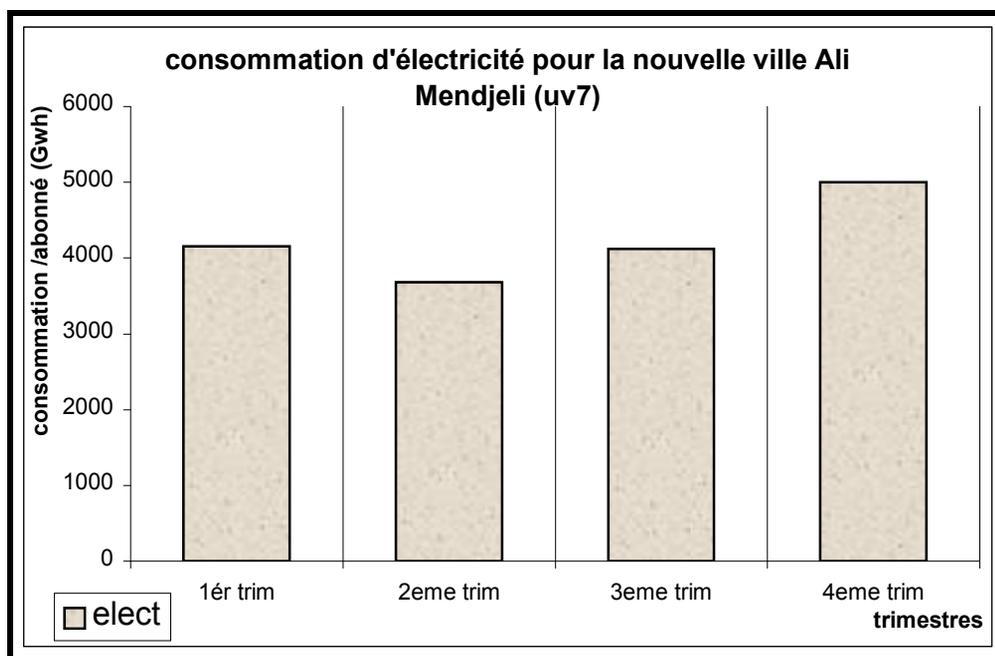


Figure 1-8 : consommation d'électricité pour la nouvelle ville Ali Mendjeli.

Source : SONELGAZ de Constantine, 2005

¹⁷ - ONS : rétrospectives 62-90, bulletin statistique, n° 31, p.31-33- n°163/décembre 96 p.20&46 (juin 96.)

1.2- Les concepts nouveaux de l'architecture :

On constate que le climatiseur et le chauffage consomment une portion non négligeable en matière d'énergie. Cependant devant les besoins sans cesse croissant de la population algérienne pour les années à venir, on doit chercher comment économiser cette énergie et développer d'autres sources d'énergie, dans le but d'assurer un développement durable en harmonie avec l'environnement.

Pour cela on doit adapter le bâtiment au climat et au mode de vie des futurs habitants ; Car un mauvais choix peut coûter très cher à long terme sur le plan énergétique.

En considérant l'architecture dans une recherche d'intelligence, celle-ci doit créer elle-même, par son enveloppe (forme, matériaux, répartition des ouvertures) et ses structures intérieures, un microclimat confortable¹⁸ l'architecture doit être étudiée en fonction du climat.

Des concepts nouveaux dans le vocabulaire architectural tel que : « Architecture bioclimatique » où « solaire passive » ou « architecture climatique » ou une conception consciente de l'énergie ont pris en considération les mécanismes du confort et l'économie d'énergie. ALEXANDROFF - G et J.M, 1982 insiste sur la relation de l'habitation au climat en vue de créer des ambiances « confortable » par des moyens spécifiquement architecturaux.¹⁹

Maîtriser naturellement les confort d'été et d'hiver, en privilégiant des solutions simples et de bon sens. Orientations, matériaux, prise en compte de l'environnement proche et notamment adaptation des surfaces vitrées sont autant de mesures simples mises en œuvre pour une cohérence globale du projet.

Ces concepts ont pour objectif, de tirer parti des apports solaires et de protéger l'habitat des rigueurs du climat.

L'espoir suscité par cette nouvelle prise de conscience était de voir enfin l'aspect climatique, reconnu et intégré comme partie intégrante dans le processus de conception et cela doit être la tâche essentielle de toute architecte.

1.3- Le soleil source d'énergie renouvelable :

« L'essentiel de l'activité climatique extérieure est directement ou indirectement liée aux rayons solaires : en effet toutes les énergies disponibles proviennent directement ou indirectement du soleil »²⁰.

De toutes les ressources énergétiques renouvelables, l'énergie solaire n'a pas besoin d'une technologie de pointe pour son utilisation. Elle est disponible à tous les niveaux du globe terrestre, naturellement à différentes intensités et son utilisation ne produit pas de pollution.

L'énergie renouvelable a connu une première phase de développement à l'occasion du choc pétrolier de 1973 et 1978, puis une période de repli à été observé après le contre choc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 à la suite de la signature du protocole de KYOTO « protocole qui prévoit notamment une baisse de 5.2% des émissions de gaz à effet de serre des pays riches sur la période 2002 à 2012 par rapport à 1990 »²¹

¹⁸ - LAVIGNE Pierre –Architecture climatique- une contribution au développement durable. Tome1 EDISUD 1994 P.13.

¹⁹ - ALEXANDROFF -G et J.M, Architectures et climat- soleil et énergies naturelles dans l'habitat ; édition architectures, Berger- levrault, Paris1982 page.216

²⁰ - Site Internet [en ligne] <http://www.domus-construction.fr/>. Page consulté le 17-octobre 2004

²¹ - Idem ; Site Internet.

Le recours à l'énergie solaire passive est généralement considéré comme la façon la plus facile et la plus rentable de chauffer les nouvelles constructions ou des facteurs tels que l'orientation, la taille, l'emplacement, les pans vitrés et les matériaux du bâtiment peuvent être contrôlés afin de maximiser l'absorption solaire. Au lieu d'employer le matériel de chauffage mécanique, cette approche est axée sur la collecte, par les parties du bâtiment comme les murs, les fenêtres, les planchers et les toits, de la chaleur générée par le rayonnement solaire.

Le soleil est un bien précieux pour l'humanité, il constitue une source inépuisable d'énergie vitale. Mais il est la source de réapprovisionnement énergétique quotidienne qui crée le vent et la pluie, et ses énergies constamment renouvelées peuvent être récoltées et consommer sans polluer l'environnement.

Le soleil a souvent été pour l'homme une source d'attraction bien particulière. De nombreuses civilisations ont le vénéré, la majorité des cultures ayant admis son rôle significatif dans le cycle de la vie. Outre son importance calendaire, par l'intermédiaire des repères que sont les solstices, les équinoxes.²²

Depuis toujours, l'ensoleillement commande la forme de l'habitat et de ses composants, « Pendant la période de l'entre deux guerres, des études de nature scientifique ont été entreprises pour connaître l'ensoleillement, direct en fonction de l'orientation, le problème posé étant de doser la pénétration du rayonnement solaire direct à l'intérieur de l'habitation en jouant sur les dimensions des ouvertures, de l'orientation des façades, la proportion relative des façades et en tenant compte des écrans constitués par des constructions voisines. Elles ont eu pour effet de compléter et de corriger certaines données intuitives. L'orientation du bâtiment a été reliée au cycle thermique jour et nuit »²³

Le concepteur qui a pour objectif de créer des ambiances intérieures plus confortables, doit prendre en considération l'apport où le rejet de la chaleur à l'intérieure des espaces, et qui peut gérer et contrôler le microclimat ambiant.

1.4- Conclusion :

« Si l'architecture n'a pas de rêve, le bâtiment n'a pas d'âme. Mais s'il ne respecte pas les contraintes physiques ou s'il ne sait pas interpréter son rêve dans le langage des contraintes physiques, son rêve ne trouvera pas de matérialisation »²⁴

L'art de bâtir en prenant en compte l'influence des facteurs climatiques n'est pas une invention du 20^{ème} siècle. L'architecture bioclimatique se distingue de l'architecture conventionnelle par le fait que l'exploitation de l'énergie solaire est intégrée dans la conception du bâtiment, cette conception permet de diminuer considérablement les besoins de chauffage et de climatisation. Cependant pour minimiser ces dépenses énormes en matière de consommation énergétiques, (Chauffage, climatisation), on doit adapter l'habitation aux éléments du climat.

²² - site Internet [en ligne] <http://www.domus-construction.fr/>. Page consulté le 17-octobre 2004

²³ - Recherche et architecture, Rédacteur en chef : Marie –Thérèse Mathieu, 1981, N° 46 , p 22.

²⁴ - L. MUDRI in Bennadji .A –Adaptation climatique ou culturelle en zone arides « cas du sud-est Algérien » thèse de doctorat ; Université Aix-Marseille, 1999 page.

Climat Et Confort

2-1- Introduction :

Le thème principal de la présente recherche s'articule autour de la relation entre le climat, l'architecture et l'homme. Cependant le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien être et le confort (GIVONI, 1978) ¹

Ce chapitre est une compréhension théorique basée sur une bibliographie climatologique et environnementale générale.

Afin de traiter et comprendre les ensembles des phénomènes climatiques; il faut définir les éléments du climat, les caractéristiques des zones arides et semi- arides et tout cela, pour arriver à spécifier le climat de la ville de Constantine. Ainsi que le microclimat du site d'étude.

L'homme de par sa constitution physiologique, ne pouvant s'adapter aux conditions climatiques extrêmes, a toujours tenté de rechercher un environnement favorable, tout en le développant à travers les temps, en essayant d'optimiser ses qualités, dans l'objectif d'atteindre les conditions de confort optimales souhaitées.

Cependant l'interaction entre le climat et l'homme nécessite un équilibre avec l'environnement, qui dépend de la conjugaison de plusieurs facteurs , qui vont être traité pour pouvoir comprendre toutes les caractéristiques d'une ambiance confortable.

Une fois les connaissances acquises, il faut avoir recours à des outils de traitement de ces données par une analyse bioclimatique qui nous permet de déterminer la température neutre et la zone de confort ainsi que les paramètres de conception qui peuvent influencer sur le confort. Tout cela nous permet de déterminer les limites de ce confort.

Cette étude bioclimatique est nécessaire pour définir les techniques de contrôles micro climatique et de conception architecturale capable de créer des conditions de confort requis.

2.2- Approche climatique & bioclimatique :

2.2.1- Analyse Climatique :

2.2.1.1- Le climat :

2.2.1.1. a- Définition :

Le climat est l'une des principales données de la morphologie des systèmes architecturaux et urbains (DUPLAY, 1982)

Il est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs, incluant la température, la vapeur d'eau, le vent, les radiations solaire et les précipitations dans un endroit particulier et à travers une période de temps.

Le climat est défini comme une généralisation des conditions « temps » de jour en jour et à travers toute l'année. [KENDREW, 1957)

Le climat : comme phénomène physique, est le résultat d'un grand nombre d'éléments qui se combine entre eux.

¹ - GIVONI. B – L'Homme, L'Architecture et le Climat édition : Le Moniteur, paris 1978 page.39

A cet effet, il est reconnu qu'une bonne connaissance des phénomènes climatologiques, ses variables, ainsi que leur utilisation de manière judicieuse, pourraient être d'un grand apport aux conditions de confort en générale, et particulièrement le confort des espaces intérieurs.

2.2.1.1. b- Eléments utiles du climat :

On peut distinguer un ensemble d'éléments, et de facteurs climatiques rapportés en catégorie (REMADE, 1993) ²:

- Facteurs énergétiques : rayonnement, lumière, et température
- Facteur hydrologique : précipitations, et hygrométrie.
- Facteurs mécaniques : vents, et enneigements.

Le climat d'une région donnée est déterminé par les régimes de variations de plusieurs éléments et par leurs combinaisons. Les principaux éléments climatiques à considérer dans la conception urbaine en générale et lors de la conception d'un bâtiment en particulier, et qui influent sur le confort humain sont :

- Le soleil (radiations)
- La température
- L'humidité
- Le vent
- Les précipitations (pluies, neiges.) ³

Etant donné que les conditions climatiques peuvent varier d'une journée à une autre ou d'une année à une autre ; il est nécessaire de tenir compte des variations à partir de ces moyennes pour une vision plus claire et plus réaliste.

2.2.1.1. c- Les échelles des éléments du climat :

Tout concepteur a besoin de connaître le climat du lieu où il doit construire. C'est-à-dire le régime de température et de l'humidité de l'air, le régime et la nature des précipitations, l'ensoleillement, le régime et la nature des vents.⁴ Ces éléments peuvent orienter la conception architecturale et influence le confort à l'intérieure des espaces.

A partir de ce principe on rencontre différents types de climats (climats zonaux, généraux, régionaux locaux et microclimat) En fait, ce sont les bilans radiatifs locaux et le mouvement de l'air de faible amplitude qui joue le rôle essentiel dans la conception bioclimatique.

Il est difficile de comprendre la nature d'un climat à partir d'une donnée, il faut combiner les facteurs les plus significatifs (températures, précipitation et humidité relative) la confrontation des données est très utile pour plusieurs domaines scientifiques dont l'architecture.

Pour une bonne conception thermique de l'habitat, les critères déterminants sont : l'ensoleillement, les vents, les températures. Les précipitations, l'humidité et gel interviennent moins directement.

La recherche touche les effets des bâtiments sur un des paramètres climatiques caractérisant l'Algérie et plus précisément la ville de Constantine, et pour cela une description des caractéristiques climatiques de Constantine s'avère essentielle.

² - REMADE, 1993 In BELKACEM SEGUIROU. Effet d'un groupement sur l'écoulement de l'air et le confort des piétons dans les espaces extérieurs- thèse de magistère. Université de Biskra 2003.

³ - GIVONI.B L'Homme, L'Architecture et le Climat édition : Le Moniteur, paris 1978 p.21

⁴ - PIERRE LAVIGNE – Architecture climatique - une contribution au développement durable, tome1, EDISUD -1994 p.67

2.2.1.4- Analyse Climatique De La Ville De Constantine :

Le climat peut être identifié selon des aspects qualitatifs mais peut être apprécié grâce à des données quantitatives à l'orientation de la construction, différents facteurs influents sur son climat :

-La ville de Constantine est située au Nord-est de l'Algérie (figure 2-1) au méridien $6^{\circ} 37'$ (longitude) et la parallèle $36^{\circ} 17'$ (latitude)⁵

Sa position par rapport aux coordonnées Lambert est de **284** à **289** pour les abscisses et **4024** à **4029** pour les ordonnées. Elle présente, par sa position dans la région des hauts plateaux, la majorité des caractéristiques climatiques générales des régions internes d'Algérie, qui sont influencé par les abaissements atmosphériques, provenant de l'Ouest vers l'est et découlant du rapprochement des eaux chaudes de la méditerranée avec les eaux froides de l'atlantique.

-La situation de Constantine, dans une zone limitée au sud par le Sahara avec son climat continental et au nord par la méditerranée avec son climat tempéré, lui permet d'avoir des caractéristiques spécifiques.

D'après la classification donnée par Recommandation Architecturale (1993)⁶ la ville de Constantine appartient à la zone climatique **E2** d'été et **H2a** d'hiver, figures (2-2) et (2-3) qui possède deux saisons principales :

- Un été plus chaud moins humide ou l'écart de température diurne est important.
- Un hiver froid et sec, avec un écart de température diurne important.



Figure 2-1 : Carte du Nord de l'ALGERIE (situation de la ville de Constantine)
Source : ENCARTA, 2003

⁵ - CAPDEROU.M - Atlas solaire de l'Algérie – tome 2 : aspect énergétique. OPU Alger,1985.Page, 398

⁶ - MINISTERE DE L'HABITAT Recommandations Architecturales. ENAG édition, Alger 1993 p.9

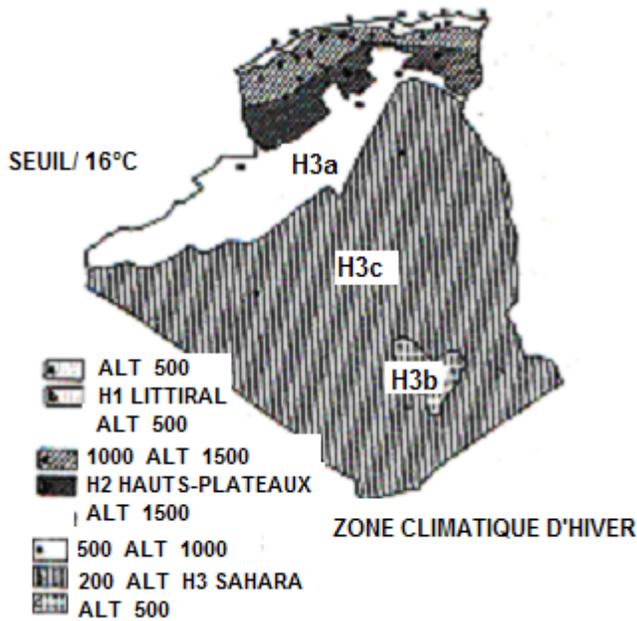


Figure2-2 : Les zones climatiques d'été.
Source : (ENAG. 1993)

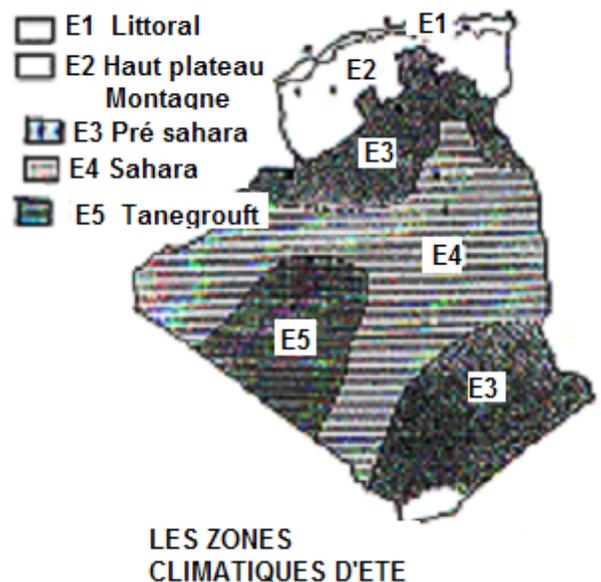


Figure 2-3: Les zones climatiques d'hiver. Source : (ENAG, 1993)

2.2.1.4.1- Le Rayonnement Solaire :

Le rayonnement solaire est défini comme le déplacement de l'énergie sous forme de radiation solaire, cette radiation solaire transmet la chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques constituant ainsi le spectre solaire. Comme le rayonnement solaire traverse l'atmosphère terrestre, son intensité est diminuée et la distribution spectrale est modifiée par l'absorption, la réflexion et la diffusion.

A Constantine le rayonnement solaire est une composante importante sa durée d'insolation est très importante durant toute l'année (figure 2-4)

Celui-ci est intense est de l'ordre de 7480wh/m²/jour sur une surface horizontale pendant le mois de juillet. La durée de jour maximale est de 11h5mn le mois ou le ciel est plus clair, reçoit une fraction d'insolation importante de 80%.

En hiver le rayonnement solaire global atteint son maximum en janvier est de l'ordre de 2334Wh/m²/jour avec une durée de 15h/mois (le mois ou le ciel est couvert, une fraction d'insolation de 45%⁷

Ces valeurs montrent que l'intensité des radiations globale augmente durant la période chaude et sèche et diminue pendant la période froide et humide. L'ensoleillement joue un rôle très important dans la variation de la température.

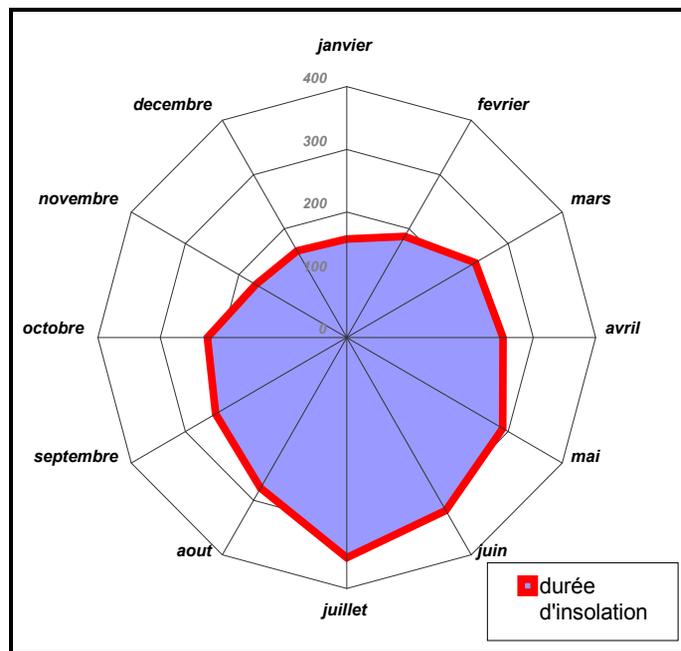


Figure 2-4 : Moyenne mensuelle de la durée d'insolation (en heure). Période de 1994-2003. Source : ONM de Ain el bey de Constantine.

2.2.1.4.2- la température de l'air :

C'est une grandeur physique qui indique le taux d'échauffement et de refroidissement de la surface de la terre.⁸ Elle est définie : comme étant « l'état atmosphérique de l'air du point de vue de son action sur nos organes : degré de froid ou de chaleur » (Larousse, 1986)

De ce fait, les régimes diurnes et nocturnes de la température de l'air dépendent des variations de la température de surface. (A savoir que les mêmes surfaces continentales et maritimes ne se comportent pas de la même manière ; sous les mêmes conditions de rayonnement solaire, les masses d'eau chauffent plus lentement que les masses de la terre)

La température de l'air est aussi modifiée avec le changement d'altitude.

⁷ - CAPDEROU.M - Atlas solaire de l'Algérie – tome 2 : aspect énergétique. OPU Alger,1985. Pages,61 ;399

⁸ - Centre De Recherche En Architecture Et En Urbanisme (Crau) En Collaboration Avec L'université Des Nations Unies (UNU) : Village Solaire Intégré. Edition. OPU 1988, p.186

L'interprétation des données climatiques de Constantine montre qu'on peut distinguer d'après le (tableau 2-3) et le (graphe 2-5) que la courbe des températures moyennes mensuelles évolue d'une manière régulière et que la température moyenne annuelle est de **16°C**. la température moyenne minimale est de **7.2°C** en janvier, le mois le plus froid.

Les amplitudes ne sont pas trop contrastées, par contre l'amplitude annuelle est de **19.3°C**, ce qui distingue les deux périodes qui forment l'année.

- Une période chaude et courte s'étend depuis juin jusqu'en septembre et où les températures moyennes varient entre **39°C** et **42°C**. Toutefois les températures les plus élevées, sont enregistrées pendant les mois le plus chaud de l'année : Juillet avec une température moyenne de **25.7°C** et août avec une température moyenne minimale de **26.5 °C** et une moyenne maximale de **33.6 °C**
- Une deuxième saison froide et longue s'étend d'octobre jusqu'en mars où les températures moyennes sont comprises entre **12°C** et **18°C** qui peut atteindre un minimum en janvier de **2.8 °C** et ce qui caractérise la saison froide.

Ces températures élevées sont dues à son éloignement des surfaces maritimes.

L'amplitude diurne de la température d'air est très large La température du sol atteint son maximum en mi-journée mais la nuit, il se produit un échange rapide de rayonnement d'ondes longues entre le ciel et le sol, entraîne de ce fait de grandes déperditions de chaleur et qui donne une diminution des températures.

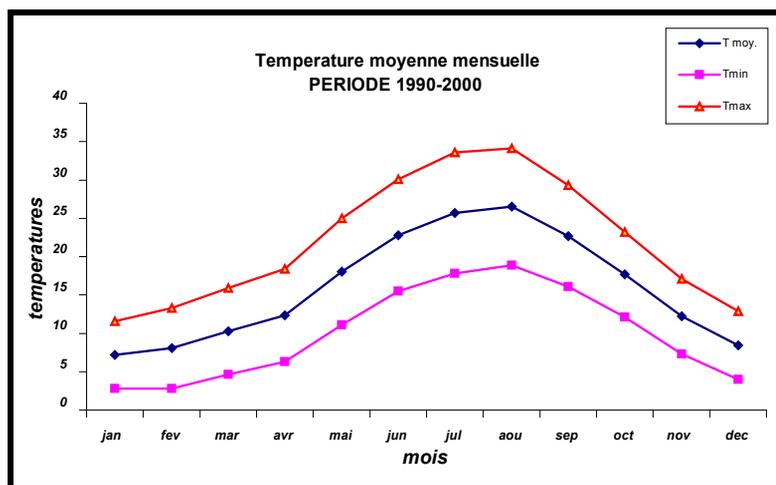


Figure 2-5 : Température de l'air extérieur. Période « 1990-2000 »

Source : O.N.M Ain el bey Constantine.

2.2.1.4.3- Humidité Relative :

Indique une évaluation directe du pouvoir évaporant de l'air. Elle est l'expression en pourcentage du degré hygrométrique ce qui représente le rapport entre la quantité de vapeur d'eau dans l'air que l'air peut contenir pour la même température. GIVONI, 1978)

On constate d'après le (tableau 2-3) et le (graphe 2-6) que :

La courbe de l'humidité relative varie dans le sens inverse des températures et des radiations solaires, les moyennes mensuelles dépassent la valeur de 70% pour les périodes humides.

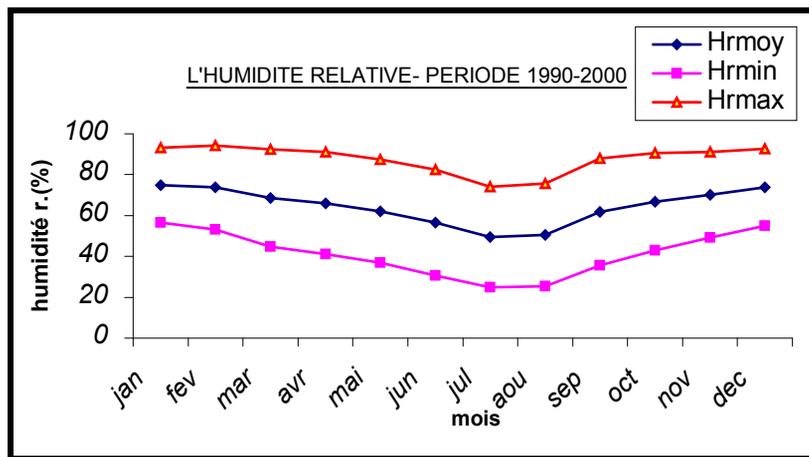


Figure 2-6:Humidité relative (%) période « 1990-2000 »

Source : O.N.M Ain el bey Constantine.

Avec une valeur moyenne minimale de 25 % enregistrées depuis mai jusqu'en septembre, elle augmente pour atteindre la valeur de 92.7% en décembre avec un maximum moyen de 93.3 % en mois de janvier.

Plus les températures sont hautes, les humidités baissent et plus les températures sont basses, les humidités augmentent ; Ce qui suggère que le climat de la ville de Constantine soit humide et froid en hiver et assez sec et chaud en été

2.2.1.4.4- Vent :

Cet élément est défini par deux paramètres : Sa vitesse moyenne et Sa direction.

L'échelle de beaufort de 1806, basée essentiellement sur l'observation est utilisé jusqu'à ce jour, Explique les caractéristiques du vent suivant sa vitesse, voir tableau 2-1

Vitesse du vent		Caractéristique du vent
force	Z=2m	
2	1,5 - 3	Les visages ressentent le froid, les feuilles bruissent
3	3 - 4.5	Feuilles et petits rameaux en mouvement permanent, le vent déploie pleinement les drapeaux, les cheveux ont dérangé, les vêtements amples battent au vent.
4	4.5 - 7	Les poussières et les papiers se soulèvent, les branches s'agitent, les cheveux se décoiffent.
5	7 - 9	Les petits arbres avec les feuilles oscillent, la marche est légèrement perturbée.
6	9 - 11	Les grosses branches se mettent en mouvement, le vent siffle dans les fils téléphoniques, la marche devient instable.
7	11 - 14	Les branches d'arbres très en mouvement, grosse difficulté à marcher contre le vent.
8	14 - 17	Le branches d'arbres se cassent, progression pedestre très difficile et dangereuse.
9	17 - 20	Risque d'être violemment projeter à terre.

Tableau 2-1 : Echelle de Beaufort. Source : LAVIGNE, 1994.

Les vents qui prédominent à Constantine sont de direction Nord-ouest (figure2-8) avec des vitesses moyennes qui varient entre 2.2 et 2.9 m/s (figure2-7), avec une moyenne annuelle de 2.4 m/s et une fréquence moyenne de 45%.

En ce qui concerne la direction du vent il se diffère suivant la saison :

- En hiver : vent dominant du Nord et Nord-ouest (vents froids)
- En été : elles proviennent du Nord et Nord-ouest (vents chauds et secs)⁹

S-O	N-O	N-O	N-O	N-O	N	N	N	N	N-O	O	S-O
2.3	2.6	2.6	2.7	2.3	2.4	2.2	2.2	2.2	2.2	2.6	2.9
											

Tableau 2-2 : Vent : vitesse (m/s) et direction (période 1990-2000)

Source : ABDOU.S, 2003

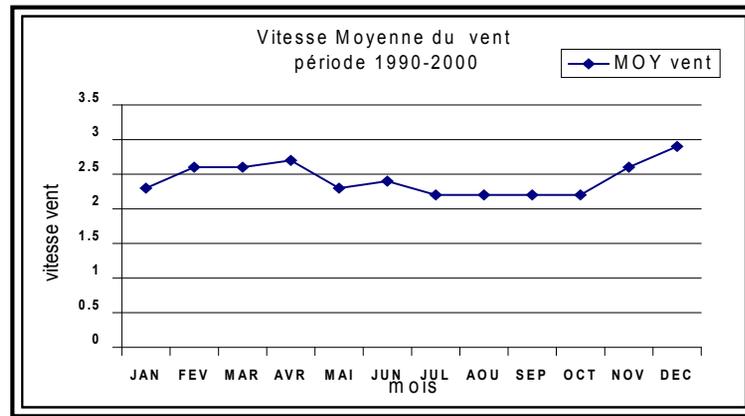
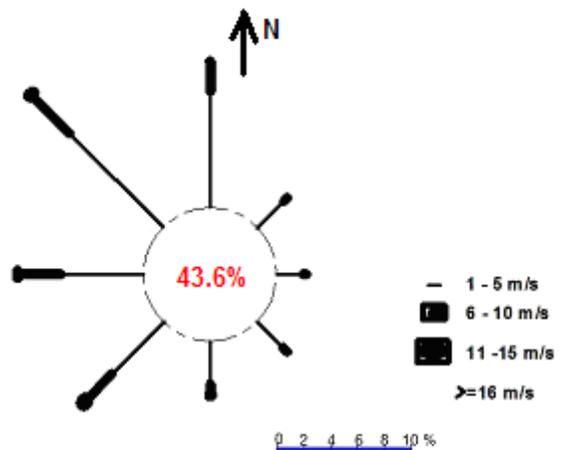


Figure 2-7 : vitesses moyenne du vent (en m/s).

Source : ONM Ain el bey CONSTANTINE période de 1990-2000.

Figure2- 8 : Rose des vents pour la ville de Constantine

Source : ONM Ain el bey CONSTANTINE période 1995-2004



Rose des vents (frequences vents en%) période 1995 - 2004

⁹- MERIDJA.S villes nouvelles -Ali Mendjli- Constantine, production urbaine nouvelle, thèse de magistère Université de Constantine, 2002. p.32

2.2.1.4.4- Précipitations :

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)

Les précipitations sont influencées notamment par les mouvements des vents et les changements des régimes de températures. Elles sont considérées comme un élément déterminant dans la classification des climats.

La répartition annuelle des précipitations à Constantine (figure2-9) est marquée par une période courte de sécheresse, durant laquelle les précipitations sont très faibles et tombent sous forme d’orage.¹⁰

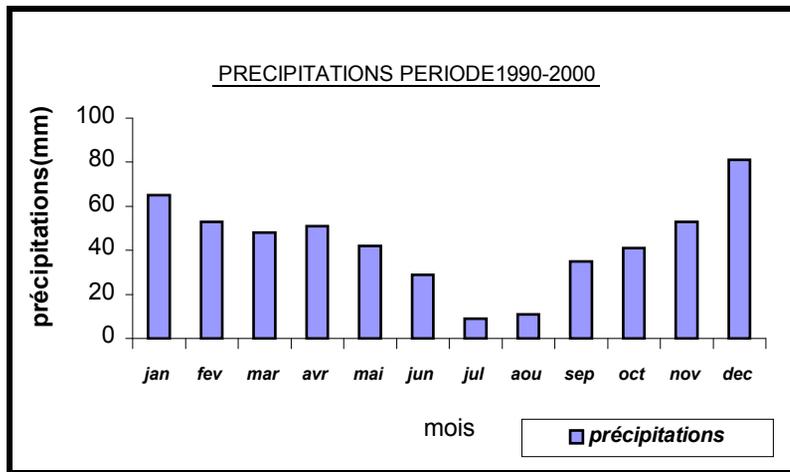


Figure 2-9 : Précipitation en (mm) période (1990-2000)

Source : ONM Ain el bey Constantine, 2004

2.2.1.5- Conclusion :

D’après cette analyse il se révèle que le climat de Constantine est :

- Très dure, surtout en été, à cause du rayonnement solaire intense, avec des températures très élevées.
- Très froid en hiver.
- Une humidité relative moyenne.
- Une précipitation considérable en hiver et presque rare en été.
- Un écart de températures diurne très important.

En effet le climat de Constantine à travers les données est un climat froid en hiver et chaud et sec en été, marqué par un climat semi-aride et le calcul ci-dessous l’illustre :

Calcul D’indice D’Aridité D’après E.D MARTONNE

Im= indice d’aridité
 P= précipitation de l’année
 T= température moyennes annuelle

$$Im = \frac{P}{(T + 10)} \dots\dots\dots [1]$$

$$= \underline{19} \qquad \text{On a donc : } 10 < Im < 20$$

¹⁰ - **ABDOU, S-** Investigation Sur L’intégration Climatique De L’habitat Traditionnel En Région Aride Et semi-Aride D’algerie. --Cas de Constantine et Ouargla -- Université De Constantine 2003-2004 p. 43

la lecture caractéristique de cet indice se fait de la manière suivante :

- $Im < 5$ c'est l'indice de l'aridité absolue où l'hyper aridité
- $5 < Im < 10$ c'est l'indice d'aridité
- $10 < Im < 20$...c'est l'indice de semi-aridité.

Donc le climat de Constantine à travers les données est un climat semi –aride.

Notamment pour créer des conditions de confort, surtout liées à la distribution de la chaleur et aux risques de surchauffes.

- Des apports de chaleur pour le chauffage. Pour la période froide (d'hiver)
- D'une protection du rayonnement solaire pour éviter les surchauffes surtout en été.

		Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aot	Sep	Oct	Nov	Dec
températures	Températures moyennes max. °C	11.6	13.3	15.9	18.4	25.0	30.1	33.6	34.1	29.3	23.2	17.1	12.9
	Températures moyennes min °C	2.8	2.8	4.6	6.3	11.1	15.5	17.8	18.9	16.1	12.1	7.3	4.0
	Températures moyennes annuelles. °C	7.2	8.05	10.25	12.35	18.05	22.8	25.7	26.5	22.7	17.7	12.2	8.45
humidité	Humidité relative moyenne max. %	93.3	94.33	92.5	91.16	87.33	82.5	74.16	75.6	87.66	90.66	91.16	92.66
	Humidité relative moyenne min. %	56.66	53.16	44.66	41	37	30.5	25	25.5	35.66	43	49.16	55
	Humidité relative annuelle. %	74.98	73.74	68.58	66.08	62.16	56.5	49.58	50.55	61.66	67.08	70.16	73.83
vent	Vent moyen. m/s	2.3	2.6	2.6	2.7	2.3	2.4	2.2	2.2	2.2	2.2	2.6	2.9
préci pitation	Précipitations. mm	65	53	48	51	42	29	9	11	35	41	53	81

Tableau 2-3 : Données météorologiques de la ville de Constantine (période de 1990 – 2000)

Source : Station Météorologique Ain El Bey Constantine.

2.2.2- ANALYSE MICROCLIMATIQUE :

Le site et l'environnement proches d'un bâtiment vont influencer sur le type de construction. L'architecte soucieux d'une insertion réussie cherchera en effet à exploiter le potentiel du site, à contourner ses contraintes défavorables, et à accorder les ambiances de et hors de son bâtiment au "microclimat" du lieu.

Le microclimat est « l'ensemble des conditions de température, d'humidité, de vent particulier à un espace homogène de faible étendu à la surface du sol »¹¹
L'emplacement de la construction joue un rôle important dans le bilan énergétique de celle-ci. Le coût de climatisation en été ou de chauffage en hiver, peut être réduits en étudiant

¹¹ - Dictionnaire Encyclopédique Pour Tous –Petit Larousse En Couleurs- librairie larousse 1986 p.583.

correctement le site. La végétation, la géologie et la topographie jouent chacun son rôle en créant un microclimat unique pour chaque site.

Ces conditions sont effectivement affectées par : la topographie du site, la nature de la couverture du sol et les objets environnants tridimensionnels.

Donc la notion du microclimat est très importante dans l'amélioration des caractéristiques locales, elle est d'une très grande signification quant à la conception architecturale bioclimatique.

Le microclimat est l'examen des conditions étroites à l'endroit ou l'objet architectural sera placé.

2.2.2.1- Facteurs influençant le microclimat :

Il procédera à la collecte de l'information par une analyse du site et à une estimation des interactions entre le projet et les cinq éléments fondamentaux suivants :

- **La topographie :** (l'azimut de la pente conditionne fortement les paramètres du microclimat...), le bon choix du site d'implantation à un effet sur le vent, la pluie et e rayonnement solaire. Les variations des orientations et des pentes des terrains peuvent changer l'intensité des radiations solaires. Les pentes Sud reçoivent plus de rayonnement solaire par rapport aux pentes Nord où plat.¹²
- **Le contexte urbain** (la forme urbaine va modifier l'ensoleillement disponible et la pression du vent sur les façades...),
- **Le type de terrain** (inertie, humidité, albédo du sol...), la nature du sol à ne grande influence sur les valeurs de températures et de l'humidité.
- **La végétation** (effets sur l'humidité et la vitesse du vent...)
- **Le vent**

2.2.2.2- Microclimat de la ville de Constantine :

La ville, selon sa taille et sa densité, affecte le climat de la région, en le modifiant pour gérer son propre microclimat ; Ces modifications se manifestent au niveau de la température de l'air, l'humidité de l'air, vent et rayonnement solaire.

Généralement, la température de l'air dans une ville est toujours plus supérieure que celle de l'environnement cette différence est due par la chaleur générer par les moyens de transport, le conditionnement d'air et les usines...

Le microclimat de Constantine est influencé par :

- La topographie de son terrain accidenté, les reliefs ont de différentes orientations, Qui peuvent avoir une influence sur le vent, l'intensité des rayonnements solaires.
- La densité urbaine qui se caractérise par une disposition arbitraire des blocs des bâtiments influence le mouvement d'air et crée des zones de turbulences et fait des blocs des expositions au soleil différent.
- La nature du sol qui se caractérise par des grandes surfaces goudronnées et espaces nus qui permet d'augmenter l'absorption et la réflexion des rayons solaires.

¹² - S.V.SZOCOLAY « Environmental science handbook » for architects and builder. The construction press (London, New York, Lancaster; 1979 page.291

La réflexion de la couleur des toitures des constructions et des façades et des sols ; l'absence de la couverture végétale défavorise l'évapotranspiration (rejet global de vapeur d'eau par un terrain et des plantes qui le couvrent)¹³, en plus l'apport gratuit des industries, qui participe aux réchauffements de l'atmosphère.

Pour le site d'étude de la nouvelle ville Ali Mendjli se présente sur un plateau d'une hauteur de 780 mètres, le site vaste, surface plane très légèrement ondulée, présente des pentes variées mais généralement faible de l'ordre de 2 à 5% (figure 2-10)

Cette situation fait que le site reçoit des quantités importantes de l'énergie solaire durant les mois d'été, ce qui explique l'absence de zones d'ombre, où d'après FROMMES.B le relief du terrain influence l'apport de l'énergie solaire¹⁴(figure 2-11) pour cette raison qu'il faut prendre en considération l'implantation des constructions.

L'existence de la montagne FELTEN, OULED SLEM et LEKBEB,¹⁵ joue un rôle de barrière contre les vents venant du côté Ouest qui fait que le site est protégé contre les vents froids d'hiver.

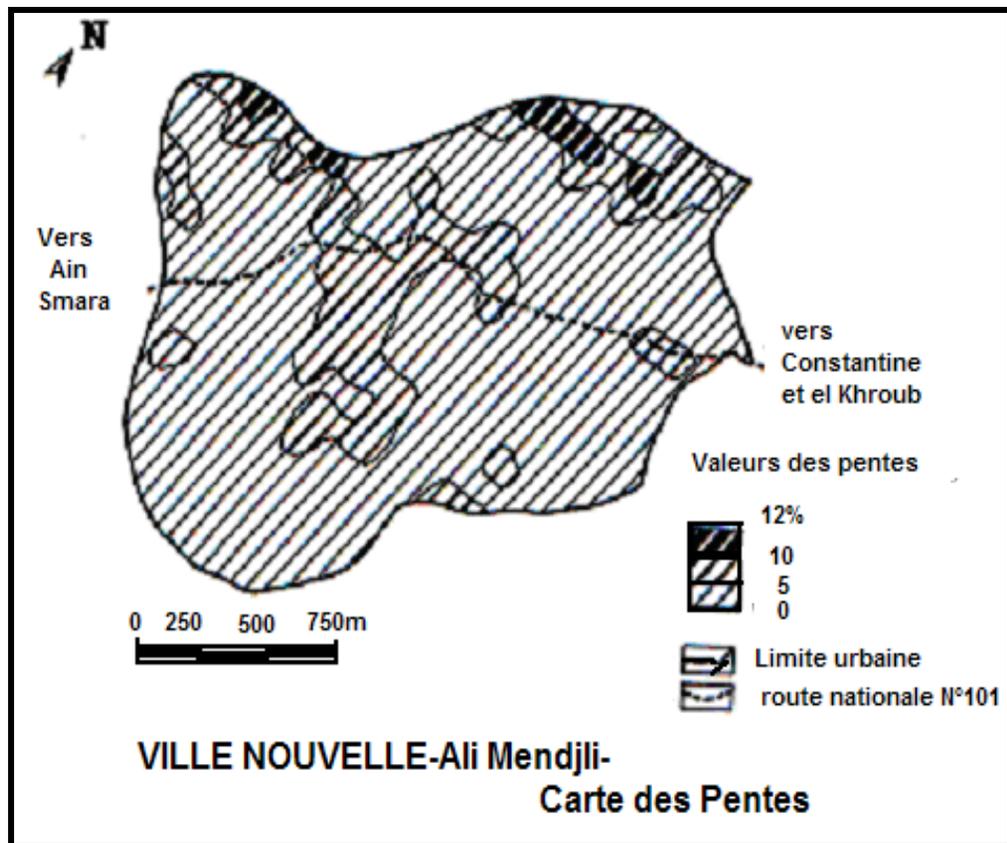


Figure 2-10 : Carte des pentes de la nouvelle ville –ALI MENDJELI-

Source : carte topographique de Oued el Atmania N° 3-4 (1-25.000)

¹³ -Petit Larousse En Couleur dictionnaire encyclopédique pour tous, librairie Larousse 1980

¹⁴ - FROMMES.B –Connaissance fondamentales de climatologie en urbanisme et architecture, Luxembourg,1980 p.

¹⁵ - P.D.E.A.U, 1998.



Figure 2-11 : Influence du relief du terrain. Source : FROMMES.B (1980)

2.2.3- Conclusion :

Dans les milieux à climat chaud et sec, l'aspect micro climatique du confort s'avère très important, et déterminant dans l'utilisation des espaces intérieurs des bâtiments. Le contrôle de l'environnement semble être très poussé, en considérant les répercussions du milieu externe sur l'intérieur des locaux.

Cette partie nous a permis de dégager les caractéristiques du climat semi-aride de la région et de la ville de Constantine ainsi que les paramètres définissant les facteurs climatiques, où on a exposé leurs effets.

En conclusion, la qualité du confort au niveau des espaces intérieurs ou extérieurs s'exprimera par les effets des caractéristiques du climat sur le site.

De cette analyse climatique et micro climatique de la ville de Constantine, il ressort que les plus grandes parties de l'année présente des conditions de climatiques rigoureuses et inconfortables se répartissent sur une longue période de l'année, des étés chauds et secs et des hivers froids. Par conséquent, il se révèle la nécessité d'une étude bioclimatique s'avère nécessaire pour définir les techniques de contrôles micro climatique et de conception architecturale capable de créer des conditions de confort.

2.3 - Le Confort & L'analyse Bioclimatique :

2.3.1- Confort :

L'examen de la notion de confort thermique a pour objectif de situer le confort dans les espaces intérieur pour les climats semi-aride (chaud et sec en été et froid en hiver).

Toutefois il faut souligner que le confort est tout ce qui contribue au bien être des individus par la commodité de la vie matérielle, intellectuelle et sociale.

Le confort est l'ambiance qui évite au corps de réagir aux conditions extérieures et d'économiser de l'énergie de son métabolisme.

La base de la sensation de confort est simplement le manque de sensation de malaise, le confort physiologique s'établit par un équilibre thermique nécessitant une quantité minimum de régulation thermique ceci est dû à la faculté du corps humain de maintenir sa température constante en dépit des conditions d'ambiance.

2.3.1.1- Confort Thermique :

L'intérêt porté à la notion de confort thermique date depuis le 19^{ème} siècle avec la naissance du mouvement de la réforme des conditions de travail dans l'industrie et dans l'habitat. Les premières réglementations ont été établies aux endroits les plus touchés par les

accidents et les maladies dues aux excès de chaleurs, d'humidité et d'obscurité, c'est à dire dû aux éléments de l'environnement.

Le confort thermique peut être défini comme l'absence de « gêne thermique » en psychologie, on dit qu'il y a confort thermique lorsque pour une activité sédentaire et un habillement donné, les systèmes thermorégulateurs n'ont pas à intervenir selon des taux dépassant des valeurs de seuils (sudation, métabolisme)

Le confort thermique peut être défini comme étant « l'état d'esprit qui exprime la satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique » (A.S.H.R.A.E)

Le **confort thermique** est le bilan équilibré entre les échanges thermiques du corps humain et de l'ambiance environnante [B. GIVONI 1978, M. EVANS 1980, S. SZOCOLAY 1980]

Le **confort thermique** est d'abord un phénomène physique soumis à un faible part de subjectivité, il peut être défini comme une sensation complexe produite par un système de facteurs physiques, physiologiques et psychologiques, conduisant l'individu à exprimer le bien être de son état.¹⁶

2.3.1.1.1- Les effets climatiques sur l'homme

La sensation de confort est basée sur deux groupes d'organes des sens. Ces organes enregistrent les flux d'émission et de réception de chaleur par le corps. La base de sensation de confort est simplement le manque de sensation de malaise.

La sensation thermique peut être notée selon la sévérité de la sensation de froid ou de chaleur. Dans de nombreuse étude d'ambiance, on a utilisé l' échelle suivante :

0 - froid insupportable ; 1 - très froid ; 2 - froid ; 3 - frais ; 4 - neutre ; 5 - légèrement chaud ; 6 - chaud ; 7 - assez chaud ; 8 - très chaud ; 9 - chaleur insupportable.

Les expériences ont montré qu'une personne pouvait non seulement faire la différence entre les divers niveaux, mais aussi déterminer des niveaux intermédiaires [B. GIVONI, 1978]¹⁷

« La sensation de confort thermique est tout ce qui constitue le bien-être d'un individu en rapport avec la chaleur »

« Le confort thermique est une sensation qui fait intervenir des facteurs physiques, physiologiques et psychologiques » [LAVIGNE. P ; 1989]¹⁸

Le confort physiologique s'établit donc par un équilibre thermique nécessitant une quantité minimum de régulation thermique, ceci est dû à la faculté du corps humain à maintenir sa température constante en dépit des conditions ambiantes.

Le confort peut être résumé comme une interaction permanente entre le métabolisme activité (= production de l'énergie), la tenue vestimentaire (= isolation thermique), la température de

¹⁶ -BOUCHA HM. Y –Une Investigation Sur La Performance Thermique Du Capteur A Vent Pour Un Rafrâchissement Passif Dans Les Régions Chaudes Et Arides- cas de Ouargla. Thèse de doctorat d'état, université de Constantine, 2004.page.21

¹⁷ - B. GIVONI : L'homme, L'architecture Et Le Climat- édition : le Moniteur Paris, 1978. pp. 71-72

¹⁸ - LAVIGNE.P : Energie, Climat, Confort Thermo Hygrométrie -Soleil Et Architecture - tome1 1989 [page .72]

l'air, la température radiante de l'environnement et la vitesse de l'air (= données climatiques) [IZARD.J.L ; 1993]¹⁹

Donc le maintien de l'équilibre entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort thermique.

« Le but du concepteur est donc de proposer une architecture dans laquelle l'évolution des paramètres physiques permettra en fonction de l'environnement climatique de maintenir les conditions thermiques dans la zone de confort que (GIVONI.B, 1991) définit comme étant la plage des conditions climatiques dans laquelle la majorité des personnes ne sentent pas le confort dû à l'excès de chaleur ou de fraîcheur »²⁰

2.3.1.1.2- L'équilibre du corps avec son environnement :

L'équilibre du corps humain dépend :

- Des **facteurs d'ordre individuel** [activités – acclimatation –le vêtement....]
- des **facteurs de l'environnement** [la température d'air - le rayonnement - l'humidité - le mouvement de l'aire]

La prise en compte de l'environnement relatif à l'individu nécessite la connaissance précise de quatre paramètres micro climatiques importants :

- température de l'air
- température radiante moyenne
- humidité de l'air
- vitesse de l'air

2.3.1.1.3- Les exigences thermiques du corps humain :

La température du corps humain est pratiquement constante quelles que soient les conditions d'ambiance ou l'activité physique. Elle oscille autour de 36.7°C (Alain Liébard et André De Herde, 2003)²¹, l'effet du changement de la température est montré dans la figure (2-5)

Pour assurer l'équilibre thermique du corps humain, l'individu dispose d'un système de régulation qui lui permet de lutter contre le froid et la chaleur par des réactions appropriées (frissons, sudation, vasomotricité)²²

¹⁹ - IZARD.J.L -Architectures D'été, construire pour le confort d'été- EDISUD, Paris (1993) page.9

²⁰ - ABDOU.S -Investigation sur l'intégration climatique de l'habitat traditionnel en région aride et semi-aride d'Algérie-cas de Constantine et Ouargla, université de Constantine 2003-2004 page.

²¹ - Alain Liébard et André De Herde – Guide de l'architecture bioclimatique- Tome :4 construire avec le développement durable édition LEARNET Observ'ER, 2003 –page.223.

²² - Internet [en ligne] [www. Section 1a_ introduction to thermal comfort.htm](http://www.Section1a_introduction_to_thermal_comfort.htm) (1998) ["peyush@cyberdude.com"](mailto:peyush@cyberdude.com) page consulter le 03.mai.2003.

2.3.1.1.4- Echange de chaleur entre corps humain et ambiance environnementale :

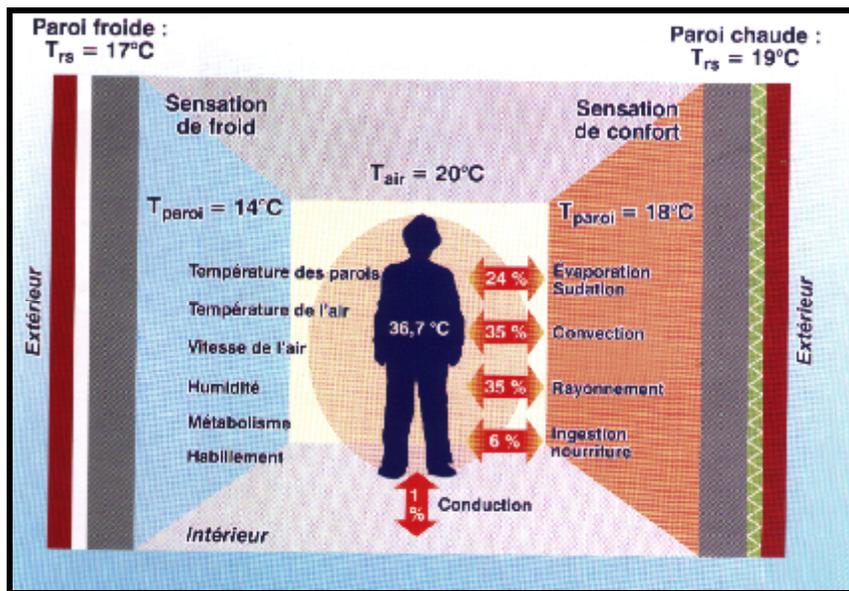
Les différents échanges thermiques sont les transferts de chaleur sensible (échange radiatif et convectifs) ainsi que les pertes par respiration, diffusion et par sudation (tableau 2-5) Les échanges entre la surface du corps et des vêtements et l’ambiance se font suivant quatre modes principaux :

1. **Echanges de chaleur par convection** avec l’air, dépend de la température de la peau du corps, température de l’air et la vitesse de l’air, pour cela le corps perd ou gagne de la chaleur selon les différences de températures entre l’air et la peau.
2. **Echanges par conduction** qui se produit entre le corps humain et les objets en son contact direct et qui dépend de la différence de température entre eux.
3. **Echanges par rayonnement** avec l’environnement [les parois, le soleil ...] qui dépend de la différence de température entre la peau et l’objet environnant. L’échange augmente avec l’augmentation de la surface du corps exposé.
4. **Evaporation** de la sueur ou transpiration.

42°C	✘	Mort probable
41°C		Transpiration des arrêts. Ensembles de coma dedans. Dommages de mai le cerveau.
40°C		Coup de chaleur
		L'hyperthermie (chauffage inévitable de corps) se produit.
		Refroidissement par évaporation - sueur (pendant des périodes courtes au taux de jusqu'à 4 litres/hr)
		Vasodilatation (skin surface dilates). Augmenter dans le transport de la chaleur à la surface. Se lever dans la température de peau et la dissipation de la chaleur de convection radiante et. 37°C
37°C		Conditions saines, normales
		Vasoconstriction. Abaisser la peau température, les oie boutons (construction des poils)
		Tremblement (augmentation de métabolisme musculaire)
35°C		Hypothermie (abaissement inévitable de la température de profond corps)
25°C		Mort probable

Tableau 2-4 : Effets des changements de température dans le corps humain

Source: Section 1a_ introduction to thermal comfort, 2003



En bref, les échanges de chaleur entre le corps humain et l'ambiance (figure 2-11) s'établissent ainsi :

Figure 2-12: Echanges thermiques entre l'homme et son environnement

Source: Alain Liébard et André De Herde, 2003.

- **gains :**
 - A- Chaleur créée par l'activité métabolique, énergie rayonnante reçue (énergie solaire directe et réfléchie),
 - B- d'autre source de chaleur,
 - C- convection et conduction de la chaleur vers le corps (par l'intermédiaire de l'air ou par contact),
 - D- condensation de l'humidité atmosphérique (occasionnelle.)
- **perdes :**
 - B- énergie rayonnante émise (vers l'ambiance des objets),
 - C- convection et conduction de la chaleur (à partir du corps humain et par contact),
 - E- perte par évaporation.

La température du corps augmente en fait, avec l'activité physique le corps doit perdre de la chaleur à la même vitesse qu'elle a été produite en l'échangeant avec l'environnement, pour qu'il puisse garder la température de 37°C dans le but d'assurer santé et confort.

Pour qu'il y ait confort il faut donc que l'équation d'équilibre métabolique soit vérifiée :

$$M - E_{vp} \pm C_v \pm C_d \pm Rad = 0 \dots\dots\dots [2]$$

2.3.1.2- Les Facteurs Influençant Le Confort Thermique :

Il existe plusieurs facteurs variables qui interviennent dans la notion de confort. Il y a qui sont relatifs à l'individu et ceux qui sont relatifs à l'ambiance climatique environnementale :

2.3.1.2. A- Les facteurs climatiques environnementaux :

2.3.1.2.A1- La température de l'air est le facteur le plus influent sur le confort humain d'après « recommandation architecturale » [1993] ²³ une température de l'air allant de **22°C** à **27°C** est acceptable.

La température de l'air contrôle directement les échanges par convection qui est l'un des termes principaux du bilan thermique.

La température de l'air dans un local n'est pas uniforme, des différences de températures d'air se présentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe.²⁴

2.3.1.2. A2-L'humidité de l'air n'a pas un grand effet sur la sensation de confort thermique, si les températures d'air sont confortables ; Sauf si elle est extrêmement haute ou extrêmement basse. Il est admis des variations de l'humidité relative entre **19** à **65 %** « recommandation architecturale » [1993] ²⁵

L'humidité de l'air peut être exprimée comme sa pression de vapeur d'eau, l'humidité de l'air à l'intérieur des bâtiments influence le corps humain de façon directe et indirecte, pouvant provoquer l'inconfort, la sensation de chaleur et de sécheresse des muqueuses des voies respiratoires.

2.3.1.2. A3- Le mouvement de l'air et la vitesse de l'air possèdent un effet considérable sur la sensation de confort ; Plus le mouvement de l'air est important plus le refroidissement du corps ou l'échange de chaleur par convection avec l'air ambiant est accéléré.

-si la température de l'air est inférieure à celle de la peau, les pertes par convections augmentent

-si la température de l'air est très élevée l'air chauffe la peau.

-aussi si l'air est moyennement humide l'air accélère l'évaporation.

2.3.1.2.A4- Le rayonnement influence le confort thermique, dépend de la position du corps par rapport au soleil, la tenue vestimentaire et l'albédo des objets environnante et la vitesse du vent.

GIVONI,1978 a estimé à partir des expérience que la quantité de rayonnement direct tombant sur un homme à demi nu dans une position debout est d'environ 70% de celle tombant sur un sujet assis le dos tourné au soleil.²⁶

2.3.1.2. B- Les Variables dépendant du sujet :

B.1 Les activités de l'individu

B.2 Le vêtement

2.3.1.2. C- Les facteurs subjectifs :

L'individu peut contrôler les échanges thermiques qui se produisent par le choix de la tenue vestimentaire et il y a d'autres facteurs non qualifiables qui varie d'un individu à un autre [acclimatation, l'âge, le sexe les conditions de santé, l'activité....] (B.GIVONI- 1978, S.SZOKOLAY- 1980)

²³ - **Ministère de L'habitat** – RECOMMANDATIONS ARCHITECTURALES – ENAG/édition, Alger 1993 p.17.18.et20.

²⁴ - **NEUF** ; 1978/ « climat intérieur/ confort, Santé.confort visuel » revue européenne d'architecture N° 77, novembre - décembre 1978. p. 12

²⁵ - **MINISTERE DE L'HABITA. ENAG** - Recommandations Architecturales édition Alger, 1993 page.18

²⁶ - **GIVONI .B** - L'homme, L'architecture Et Le Climat- édition : le Moniteur Paris, 1978 page.98

La sensation du confort thermique dépend d'après (Alain Liébard et André De Herde, 2003.) :

- Le métabolisme représentant la production de chaleur interne du corps humain nécessaire pour le maintenir à une température constante de 36.7°C, soit environ 80w au repos.
- L'habillement représentant la résistance thermique aux échanges de chaleur qui ont lieu entre la surface de la peau et l'ambiance.
- La température de surface du corps ou température de la peau variant en fonction du métabolisme et de l'habillement
- La température ambiante concernant les échanges par convection avec l'air ambiant
- La température moyenne de surface des parois concernant les échanges par rayonnement avec les parois, proportionnellement à leurs superficies
- L'humidité relative concernant les échanges thermiques par évaporation à la surface de la peau
- La vitesse de l'air influençant les échanges thermiques par convection et par transpiration.

2.3.2- Conditions d'ambiance proche au confort :

Une ambiance est confortable que par rapport à un individu caractérisé par son activité et sa vêtue. [IZARD.J.L, 1993] définit les conditions d'ambiance correspondant au confort d'été sont :

- En air calme, et si la température des parois est proche de l'air, la zone de bon confort correspond à une température entre **23°C** et **26°C** et le confort reste acceptable entre **21°C** et **25°C**
- En ventilation transversale, la création de courant d'air doit pouvoir être réglée par l'occupant. L'effet de la vitesse de l'air est lié à la température, plus la vitesse est grande, plus la température de l'air est élevée.

Par rapport à des différences individuelles, il est impossible de spécifier un environnement thermique absolu qui pourra satisfaire chaque individu, cependant, des limites de confort sous formes de diagrammes et d'indice thermique ont été développées dans des ambiances contrôlables.²⁷

2.3.3- Les différentes températures utilisées :

Du fait de l'existence de diverses réglementations et de la nécessité de faire intervenir certaines grandeurs physiquement mesurables dans les calculs, il est nécessaire d'utiliser plusieurs notions différentes de ce que sont les températures susceptibles de caractériser l'état dans lequel se trouve un local.

2.3.3.1- Température sèche de l'air :

C'est la température mesurer en absence de tout contact et de toute irradiation, la grandeur physique que l'on appelle la température sèche de l'air où plus simplement la température de l'air (t_a)

2.3.3.2- Températures humides :

²⁷ - IZARD.J.L - - Architecture D'été, Construire Pour Le Confort D'été- édition : sud, 1993. page .8

C'est une température mesurer par le même thermomètre entouré à sa base d'un coton plongé dans l'eau qui donne une indication différente de 5 à 10 degrés en moins, du fait de l'évaporation de l'eau dans l'air ; il s'agit alors de la température mouillée où humide.

2.3.3.3- Températures de rayonnement des parois :

Température ressentie en un point d'une pièce sous l'effet du seul rayonnement de chacune des parois. L'influence de chacune d'elle dépend de sa proximité du point de mesure²⁸

2.3.3.4- Températures résultantes sèche :

En hiver, où généralement les parois sont plus froides que l'air, l'égalité entre les échanges thermiques d'un individu, d'une part avec l'air d'autre part avec les parois par rayonnement. Cette égalité permet de définir la température résultante sèche en air calme sa valeur est :

$$T_{rs} = (T_{air} + T_{parois}) / 2 \dots \dots \dots [3]$$

2.3.3.5- Température d'ambiance ou température « globe » :

C'est une température mesurée au milieu d'une pièce à 1,50m de hauteur par un thermomètre globe qui établit la moyenne entre la température sèche de l'air et la température radiante des parois. L'air est supposé sans mouvement (air calme), on l'appelle aussi température résultante.²⁹

2.3.4- Les Indices De Confort Thermique :

La sensation de confort thermique dans une ambiance déterminée dépend des conditions physiques réelles et de l'habillement du sujet mais encore des facteurs purement personnels.

De nombreux travaux, généralement réalisés à l'intérieur des bâtiments, dans des conditions expérimentales parfaitement contrôlées, ont recensé les principales causes d'inconfort et ont permis d'établir un certain nombre d'indices.

Les indices qui ont dans un premier temps été développés pour définir le confort intérieur sont la température résultante, la température effective, L'indice **PPD**, l'indice de, **PMV** (vote moyen prévisible) .

L'influence des paramètres climatologiques sur les conditions de confort a motivé de nombreux travaux de recherches. Le bilan des échanges énergétiques à l'interface individu atmosphère montre que les apports d'énergie thermique sont principalement dus au rayonnement solaire direct, diffus et réfléchi ; Et que les pertes se font surtout par convection (effet du vent.) La température du milieu ambiant joue également un rôle essentiel.

Parmi les multitudes indices, il sera cité :

- 1- **Température effective (T.E) :** l'indice de la température effective a été développé en 1923-1925 au laboratoire de recherche (A.S.H.A.C.E)³⁰ par HOUGHTEN. F.C-YAGLOU.D.P- MILLER.A. L'abaque (figure2-12) peut déterminer la température effective. Les facteurs qui entrent dans ce facteur sont : la température de l'air,

²⁸ - **Guide Pour La Région Province Alpes Côte D'azur –Conception Thermique De L'habitat-** édition EDISUD , 1988 page 104-105

²⁹ - **Guide Pour La Région Province Alpes Côte D'azur –Conception Thermique De L'habitat-** édition EDISUD, 1988 pages 104-105

³⁰ - **A.S.H.A.C.E=** American Society of Heating and Air Conditioning Engineers

l'humidité et la vitesse de l'air. Développée principalement pour les besoins de la climatisation.

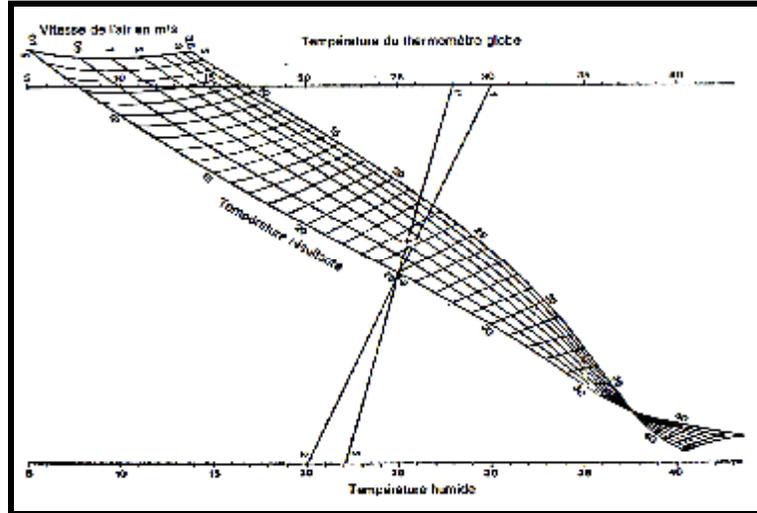


Figure 2-13 : Abaque pour la détermination de la température résultante (d’après le Ashve Guide). Source : GIVONI. B, 1978

2- Température résultante : (T.R)

L’indice de la température résultante (TR) a été développé par A.MISSENARD Cette température existe sous deux formes, sèche et humide.

- La température résultante sèche prend en compte la température de l’air, les vitesses de l’air et le rayonnement et elle peut être exprimée par :

$$T_{res} = [t_r + 3.17 t_a \sqrt{v}] / [1 + 3.17 \sqrt{v}] \dots\dots\dots[4]$$

Où :

- T_{res} : température résultante sèche (°C)
- t_r : température radiante moyenne de l’environnement (°C)
- t_a : température de l’air (°C)
- v : vitesse de l’air (m/s)source : IHVE guide

- Quant à la température résultante humide, elle considère en plus le facteur humidité. Le CSTB a fourni de la température résultante (physiologique) la définition suivante : « par définition deux ambiances sont dites avoir la même température résultante si elle provoque la même impression de confort pour le même degré d’activité et le même habillement, et valeur absolue, la valeur de la température résultante d’une ambiance est égale à la température d’un local fictif provoquant la même sensation de confort et égale à celle de l’air, l’air serait calme et son humidité égale à 100% »³¹

3- Vote moyen prévisible (PMV) : Exprime la réponse physiologique moyenne de sensation thermique d’un très grand nombre de sujets, placé après équilibre thermique dans une ambiance déterminée. L’échelle des réponses demandées aux sujet comporte 7 niveaux : (+3 chauds), (+2 tiède), (+1 légèrement tiède), (zéro neutre), (-1 légèrement frais), (-2 frais), (-3 froid).

La valeur numérique de PMV d’une ambiance se calcule à partir d’un système d’équations fourni, pour les conditions usuelles, par la norme en fonction d’un grand nombre de paramètres :

³¹ - **BONHOMME ANDRE** –isolation thermique des bâtiments- conception des projets ventilation, apport solaires, besoin de chaleur et économie d’énergie. Editions du MONITEUR paris1986 page 26

- W métabolisme énergétique ;
- I_{ci} résistance thermique des vêtements ;
- T_a température de l'air ;
- T_r température moyenne de rayonnement ;
- V_{ar} vitesse de l'air....etc.

4- **Pourcentage de personnes non satisfaites (PPD)** : l'indice PPD indique en pourcentage l'importance du nombre des insatisfaits, c'est-à-dire votant -2 où +2 (au-delà, l'indice n'est plus utiliser)

M.Evans,1980 – Sszokolay,1980- R.J.e Dear, 1998- M.A.Humphrey, 1998- J.F.Nicol, 1998 ont concluaient que les température de confort varient d'une étude à une autre et que les limites acceptées pour une population peuvent être estimées trop froides où trop chaudes pour une autre.

Humphrey, 1970 arrive à déterminer une expression mathématique de la température neutre ;

$$T_n = 11.09 + 0.534 T_0 \dots\dots\dots[5]$$

où T_n = la température neutre (°C)

T_0 = la température extérieure moyenne pour un mois en question°C

En 1981, A.Auliciemes révisé cette même formule et propose une expression légèrement différente.

$$T_n = 17.6 + 0.31T_0 \dots\dots\dots[6]$$

2.3.5- Les outils d'aide à la conception bioclimatique:

En plus des indices thermiques, il y a des tentatives qui ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphiques qui permettent de ramener les conditions intérieures dans la zone de confort ou plus proches.

V.OLGYAY était le premier à mettre au point une procédure qui est basée sur un diagramme bioclimatique où il détermine une zone de confort avec des plages d'été et d'hiver et les mesures de corrections dans le cas où la combinaison entre l'humidité et la température se situe hors la zone de confort, aussi les tableaux de MAHONEY qui ont perdu quelque peu de leur utilité à cause des nouveaux développements et malgré tout ils restent encore fiables, Ensuite le diagramme bioclimatique de B. GIVONI qui établi une méthode plus performante que celle de V. OLGAYAY, évaluent les exigences physiologiques du confort. Pour cela il préconise deux approches de refroidissement passif (soit par ventilation, soit par réduction des températures intérieures par rapport à l'extérieur).

S. V. SZOCOLAY a mis, une nouvelle méthode bioclimatique qui ressemble à celle de GIVONI, où l'élaboration de la zone neutre est déterminée avec plus d'exactitude et les zones propres à chaque région, selon les données météorologiques.

2.3.6- ANALYSE BIOCLIMATIQUE DE CONSTANTINE :

Pour l'analyse bioclimatique de Constantine on s'est basé sur l'utilisation des tableaux de MAHONEY, le diagramme bioclimatique de B.GIVONI et le diagramme psychométrique de S.V.ZOCOLAY pour les recommandations concernant la ville.

D'après les tableaux de MAHONEY (voir annexe3) appliqués à la ville de Constantine on peut déduire les recommandations suivantes :

- Orientation Nord sud (des grands axes est-ouest)
- Compacité du plan de masse et du volume.
- Ouvertures petites de 20 à 40 %
- Les murs extérieurs et intérieurs doivent être épais (inertie forte)
- Les toits épais (massif et isolé) (temps de déphasage supérieur à 8 heures)
- Espaces extérieurs pour terrasse est demandés, pour dormir le soir.

Par l'application de la méthode de ZOCKOLAY il était nécessaire de calculer la température neutre établie d'après HUMPHREY (1978) :
 Les températures neutres pour Constantine (S.ABDOU 2003) sont de 20.04°C pour la période hivernale et de 25.89°C pour la période estivale.

D'après le diagramme bioclimatique (figure 2-14) et le diagramme psychométrique appliqué aux conditions climatiques de la ville de Constantine (figure 2-15) on peut distinguer :

- Une période où les températures sont très élevées et l'humidité relative basse correspond aux mois de juin, juillet, août qui nécessite un contrôle de la radiation, une inertie par absorption avec une ventilation nocturne.
- La nécessité de rajouter un système de rafraîchissement par évaporation pour les mois de juillet et août (durant les périodes caniculaires)
- Une période fraîche caractérisée par des températures basses, s'insère dans la zone de chauffage d'appoint pour les mois de décembre, janvier et février.
- Les mois d'avril, mai et octobre sont considérés confortable

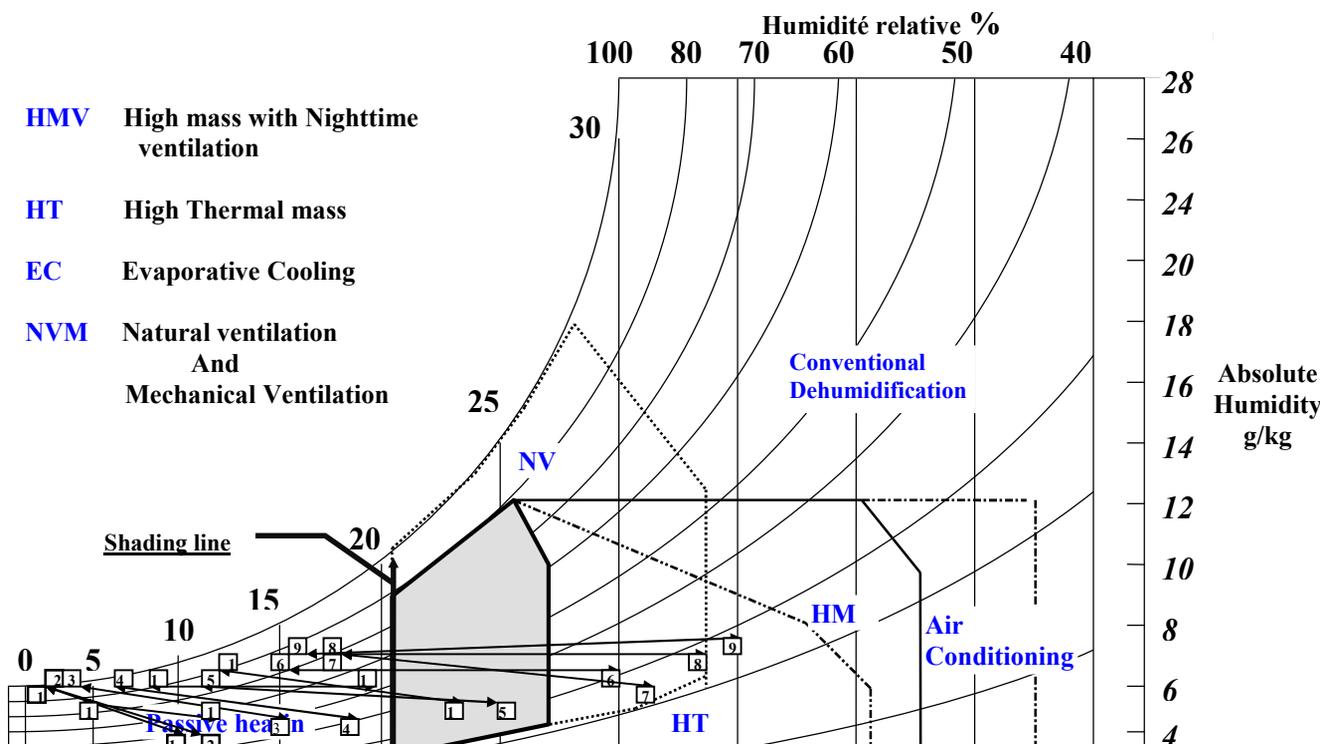


Figure2-14 : Diagramme Psychométrique Applique à La Ville De Constantine d’après B.GIVONI.

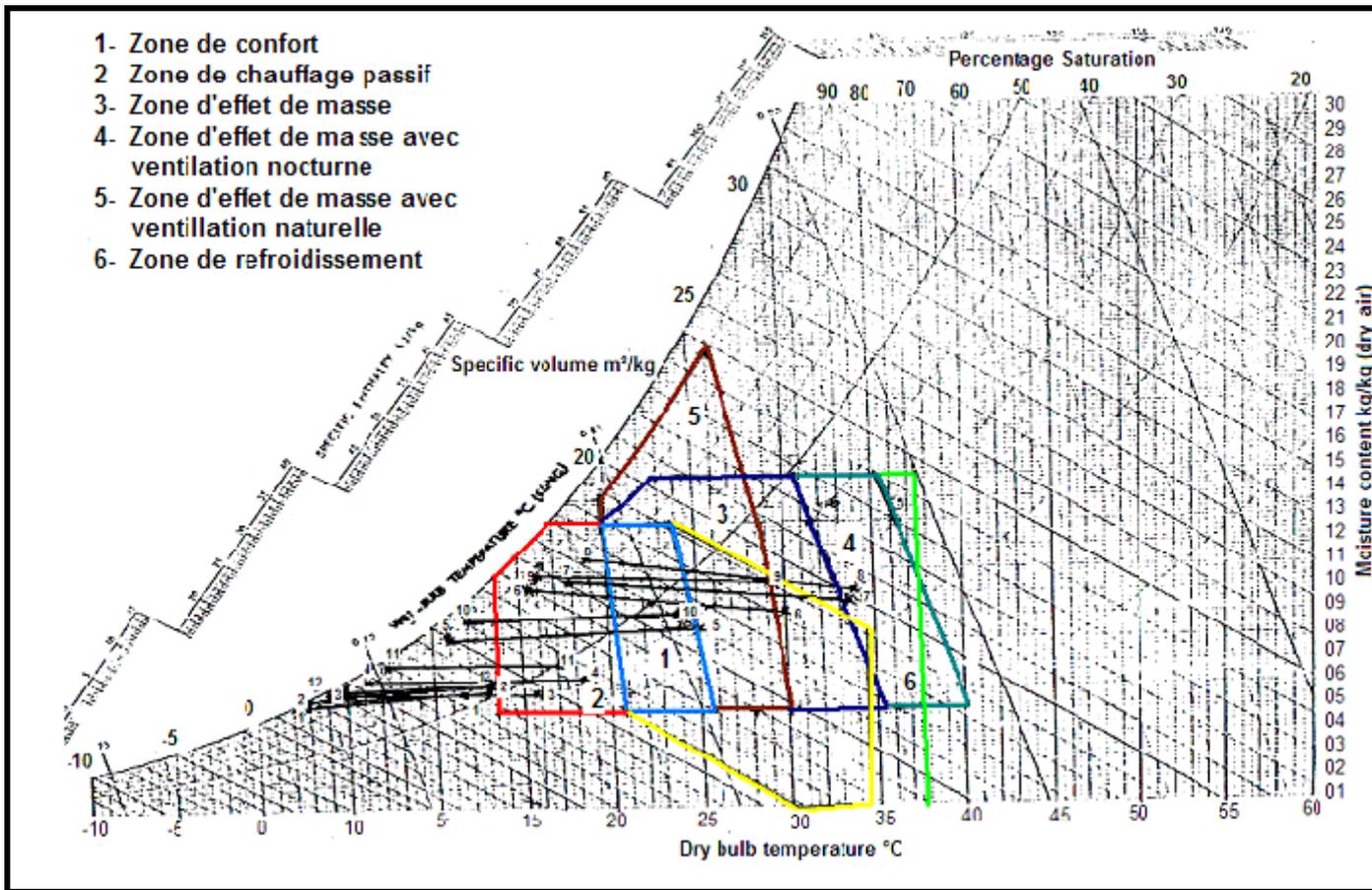


Figure 2-15 : Diagramme psychométrique pour la ville de constantine. D’après S.SZOCOLAY

Il ressort de l'analyse que la radiation solaire constitue un facteur important, vu l'importance de son intensité. Le facteur vent est une contrainte en hiver, seulement il constitue aussi un élément positif pour la ventilation en été.

Des résultats de l'analyse bioclimatique, il apparaît qu'en début de l'été seul l'effet de masse et la ventilation nocturne suffisent pour rétablir les conditions de confort à l'intérieur. Cependant durant les périodes de surchauffe (juillet et août) le système de refroidissement par évaporation s'ajoute aux techniques précédentes.

Pour la saison froide le chauffage passif ressort comme recommandation, il suffirait de bien dimensionner et orienter les ouvertures. Cependant pour les moments du grand froid (décembre et janvier) le chauffage d'appoint s'impose.

2.4- CONCLUSION :

« Le principe consiste à donner pour un certain bâtiment les conditions extérieures pour lesquelles les réponses de l'enveloppe et de la structure conduira à des ambiances intérieures comprises à l'intérieure d'une zone de confort préalablement définie. La réponse du bâtiment étant intrinsèque, se sont les données météorologiques qui, utilisées en entrées du diagramme, permettent de dire si telle ou telle solution architecturale est correcte ou non, par rapport au climat du lieu ou quelles conditions devront être prises pour réintégrer les conditions de confort. »³²

D'après cette analyse bioclimatique, il apparaît que toutes ces stratégies de refroidissement passives sont importantes, par conséquent le confort ne dépend plus des dispositifs mécaniques.

A cet effet il existe deux stratégies pour arriver à un confort thermique idéal:

* En été, il faut se protéger du rayonnement solaire, des apports de chaleur, minimiser les apports internes, dissiper la chaleur en excès et refroidir naturellement.

* En hiver, il faut capter la chaleur du rayonnement solaire, la stocker dans la masse, la conserver par l'isolation et la distribuer dans le bâtiment tout en la régulant.

La conception du logement avec des techniques passives est possible, par le choix judicieux de la bonne implantation, de l'orientation optimale, ainsi qu'une bonne maîtrise des facteurs climatiques environnementaux.

Pour cela il est très important de prendre en considération la position du soleil par rapport à l'enveloppe pour pouvoir assurer le confort adéquat.

³² - *Jean-louis Izard- Alain Guyot* - *Archi Bio* – éditions: parenthèses; Paris, 1979. Page.

LE SOLEIL SOURCE D'ENERGIE & LES RADIATIONS SOLAIRES

3.1- INTRODUCTION:

Le soleil a été toujours une source intarissable de créativité chez l'architecte, de L'héliotropisme jusqu'au solaire passif, le soleil à toujours inspirer les architectes en quête d'idées et de formes nouvelles.

Le soleil étant la source de réapprovisionnement énergétique quotidien qui crée le vent et la pluie, son énergie constamment renouvelée peut être récoltée et consommée sans polluer l'environnement.

En architecture bioclimatique, le soleil est considéré comme le matériau par excellence de toute conception pouvant offrir confort et économie pour ses utilisateurs, toujours étant, son adaptation aux besoins de l'être humain est très complexe et suscite d'innombrables paramètres d'étude, donc sa consommation doit être faite avec modération afin de palier notamment aux problèmes de sur échauffement et d'effet de serre¹.

Connaissant ces phénomènes, l'étude de l'ensoleillement est primordiale lors du choix des orientations des façades caprices, la proportion des vitrages et des serres. Aussi, lorsqu'on connaît avec exactitude comment le soleil frappe une construction, il devient possible de calculer avec précision la longueur de la projection d'un brise-soleil, la profondeur d'une lame, l'inclinaison d'un capteur solaire, la position d'une cour, la longueur des ombres projetées par des bâtiments voisins ou même de savoir si le lever du soleil est affecté par des collines éloignées ou d'autres objets qui s'érigent à l'horizon.

La densité du flux incident est fonction de l'orientation des différentes surfaces de l'enveloppe, de la latitude et la déclinaison du soleil.

Afin de concevoir correctement l'enveloppe d'un bâtiment, il est nécessaire de connaître à tout moment l'énergie solaire effectivement reçus par celle-ci.

Ce chapitre, concernera l'analyse des radiations solaires dans les différentes orientations dans la ville de constantine. Cependant, l'aspect géométrique et l'aspect énergétique du soleil sont déterminants pour pouvoir étudier le contrôle solaire dans le bâtiment.

3.2- LE SOLEIL ET LA GEOMETRIE SOLAIRE :

Le soleil est l'une des étoiles de notre Galaxie, il est un astre gazeux d'hydrogène et d'hélium. Source de l'énergie rayonnée vers l'espace et la terre que les hommes peuvent capter pour se procurer de l'énergie. Le Soleil est une chaudière atomique massive qui travaille en convertissant de l'hydrogène en hélium². Un noyau d'hélium à 99.3% du poids de quatre noyaux d'hydrogène. Cet excès (0.7%) de masse d'hydrogène comparé avec la masse d'hélium est convertis en énergie (fig3-1).

En perspective, le Soleil convertit 638 millions de tonnes d'hydrogène en 596 millions de tonnes d'hélium chaque seconde. Les 4 millions de tonnes supplémentaires sont converties en énergie - cette radiation est sous forme de rayons gamma.

¹ - MAZRIA.ED effet de serre: « un phénomène qui permet de piéger la chaleur », dans :- le guide de l'énergie solaire passive- éditions parenthèses, 1981.

² - « Sun control: shadows and shading »[En Ligne] www.squ1.com .le 07/2004.

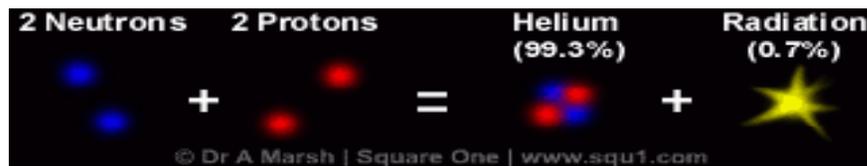


Figure 3-1 : La fusion de quatre noyaux d'hydrogène en des noyaux d'hélium & radiation. Source : MARSH.A, 2003 ³

La fusion thermonucléaire, qui se produit dans la masse du soleil, libère de l'énergie sous la forme d'ondes ou radiations électromagnétiques⁴

L'énergie électromagnétique qui traverse l'espace se compose de radiations de différentes longueurs d'onde, et l'énergie émise est principalement contenue dans le visible et le proche infrarouge.



Figure3-2: Le spectre visible du rayonnement solaire. Source : MARSH .A, 2003.

Le rayonnement solaire met environ 8 mn pour parvenir jusqu'à la terre, sa température moyenne à la surface est de 5500°C, la surface du soleil émet une grande quantité d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques dont certaines sont visibles et d'autre non.

Cet ensemble d'onde appelée lumière blanche, constitue le spectre du rayonnement solaire qui s'étend de la longueur d'onde de 0.25 microns (UV) « ultra violet » à celle de 3 microns (I.R) « infrarouge » comme le montre la (figure3-2) et la (figure 3-13). La terre reçoit une proportion faible d'énergie solaire, qui est estimé à 1390 W/m² à la limite supérieur de l'atmosphère.

La connaissance du mouvement et la position du soleil, permettent de mettre à jour les principales spécificités d'ensoleillement et de ressources solaires d'un site. Ces données solaires fixent déjà un certain nombre de contraintes ou d'attitudes à adopter pour la prise en compte des facteurs solaires dans le projet. Pour cela, elles facilitent l'utilisation de techniques simples de contrôle et d'évaluation de l'ensoleillement des différentes composantes du bâtiment.

Afin de mettre à jour ces données, il paraît essentiel de déterminer les éléments clés de la théorie qui règlent la géométrie des mouvements apparents du soleil tels qu'ils nous apparaissent dans notre vision terrestre ; qui peut présenter deux aspects : géométrique et énergétique comme le montre la (figure3-3)

3.3- Importance Et Effet Du Rayonnement Solaire En Architecture :

Les rapports entre l'architecture et le soleil sont quasiment passionnels. Le soleil occupe par ses connotations culturelles et psychologiques une place très importante. « Il y a dans l'inconscient de tout architecte, mais aussi de tout consommateur d'architecture, un esthétisme du soleil et de sa lumière ».⁵

³ - MARSH.A site Internet [En ligne]SQUone-www-qu1.com.(page consulté le janvier 2004)

⁴ - MAZRIA. Ed -Le Guide De L'énergie Solaire Passive- éditions parenthèses,1981 page.14

⁵ - F.Bouvier –soleil et architecture ---in technique de l'ingénieur C6 p.2 (c3310)

La course du soleil dans le ciel est l'une des connaissances de base de l'architecte. Il doit savoir le repérer ou implanter un bâtiment en fonction à cette course, et par conséquent jouer avec l'ombre et la lumière à l'intérieur et à l'extérieur des espaces aménagés.

La dimension énergétique du soleil qui est souvent à l'origine des solutions architecturales originales. Le soleil doit être connu par l'architecte pour les questions élémentaires d'énergie, le potentiel solaire d'un site fait implicitement partie des connaissances à assimiler dans toute étude thermique. Il est donc nécessaire de renforcer nos connaissances sur les effets thermiques du soleil et de mettre en évidence son rapport avec le bâti.

« Si l'on rappelle enfin la fonction hygiéniste de notre étoile, on voit qu'elle pèse beaucoup sur les processus de conception quelles que soient les parties prises »⁶.

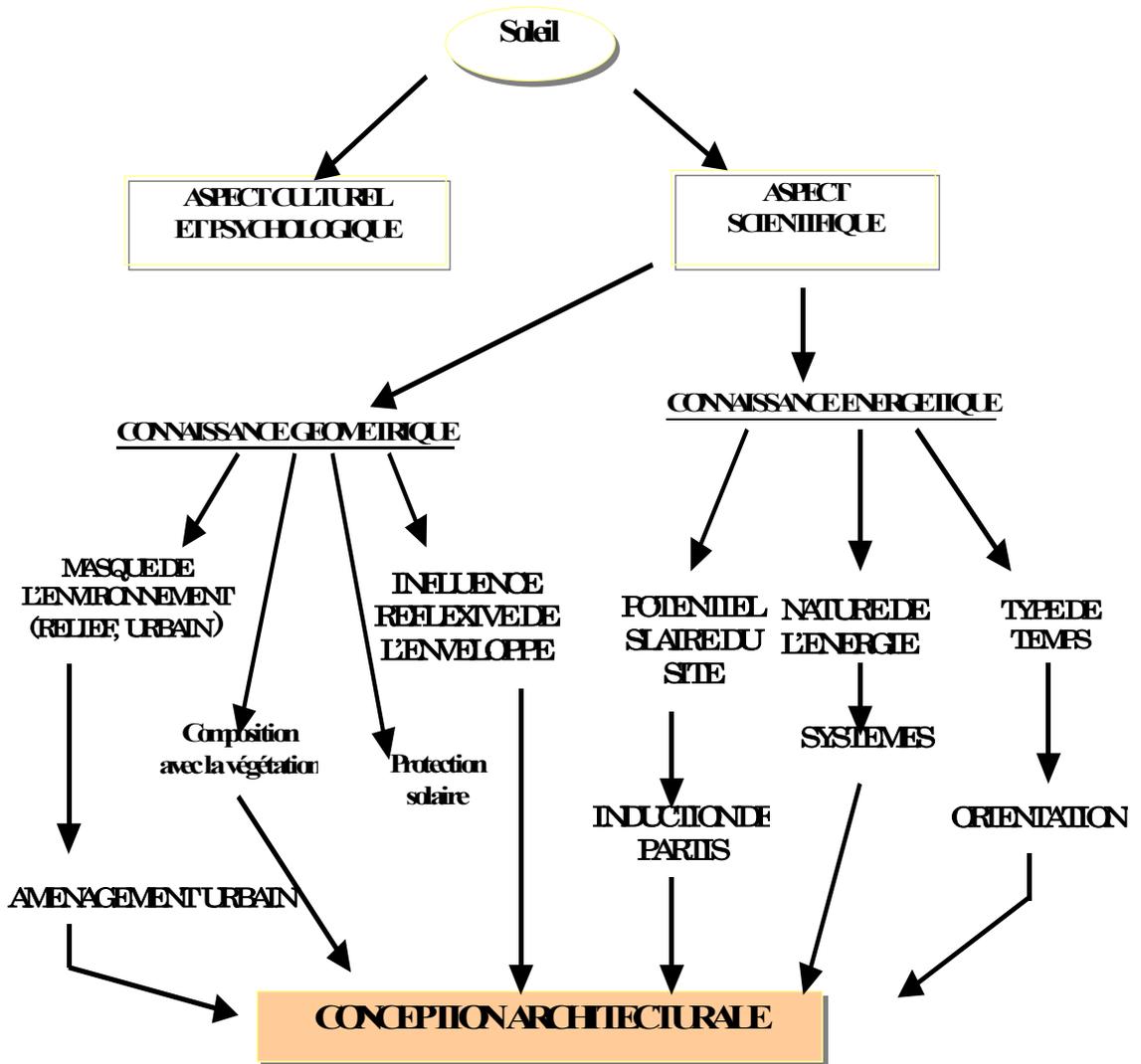


Figure 3-3: Orientation Des Contenus De L'analyse Climatique « Dans Le Cas De La Composante Soleil » Source : p.depeker, 1985 In (S. Mazouz,2000)

⁶ - charte d'Athènes : le point N° 10

3.4 - ASPECT GEOMETRIQUE DU SOLEIL :

La toute première contrainte qui s'impose, c'est la présence variable du soleil, qui suit plusieurs rythmes bien connus : jour - nuit et printemps, été, automne, hiver. Dans chaque lieu, la trajectoire du soleil dans le ciel diffère tout au long de l'année. Le rayonnement varie donc selon la saison, la latitude, l'altitude ou les conditions locales de nébulosité. L'énergie journalière moyenne à une époque de l'année et le type de ciel (clair, moyen, couvert) influencent directement le climat du lieu étudié.⁷

3.4.1- Le mouvement annuel de la terre autour du soleil :

On peut considérer, avec quelques simplifications, que :

- La trajectoire décrite par la terre autour du soleil est elliptique.
- Le mouvement de la terre sur sa trajectoire est uniforme, la terre se déplace à vitesse constante (une vitesse moyenne de 29.8 km/s soit 107'000 km/h) ;
- La durée du parcours est d'une année ; le déplacement de la terre sur sa trajectoire circulaire est donc d'environ 1° par jour ($360^\circ / 365$ jours) ;
- Le plan qui contient la trajectoire de la terre autour du soleil fait un angle de $23^\circ 27'$ avec le plan de l'équateur ; on l'appelle l'écliptique. C'est dans ce plan qu'un objet placé entre le soleil et la terre peut produire des éclipses ;
- Lors de son déplacement, l'axe des pôles de la terre reste parallèle à lui-même ; le mouvement annuel de la terre autour du soleil s'apparente ainsi à un mouvement géométrique de translation s'effectue sur une trajectoire circulaire (figure 3-4)

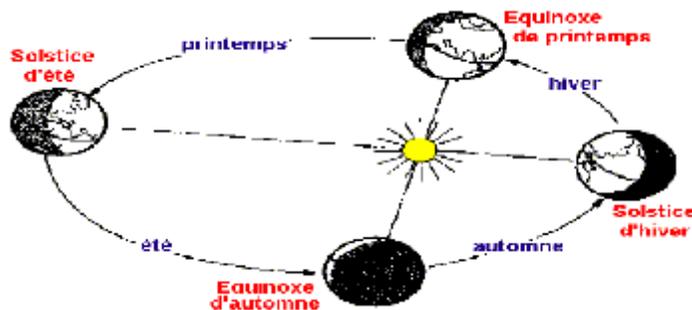


Figure 3-4: Le mouvement annuel de la terre autour du soleil⁸.

Source : Outils solaires, 2004(site Internet).

L'examen des propriétés géométriques du mouvement de la terre autour du soleil dans le plan de l'écliptique permet de déterminer que la déclinaison varie au cours de l'année, de $-23^\circ 27'$ à $+23^\circ 27'$ et que ses variations décrivent une sinusoïde. Le sens des variations de la déclinaison peut être appréhendée au travers des quatre positions clés (figure 3-5), Elles correspondent respectivement :

- **au solstice d'hiver** (21 décembre) : les rayons solaires frappent la terre avec un angle de déclinaison de $-23^\circ 27'$; c'est la valeur minimum de la déclinaison.

⁷ - Site Internet [en ligne] : <http://www.domus-construction.fr/> . Les dossiers de Bio respect_com. sur l'écologie, l'environnement, la cuisine, les OGM et les médecines douces.htm (page consulter-le mai 2004)

⁸ - Site Internet [en ligne] : www.outilssolaire.com . (Page consulter le 07-07-2004)

- **aux équinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (22 septembre)** : le rayon solaire est dans le plan de l'équateur et la déclinaison vaut alors 0° ; cette position traduit l'égalité des jours et des nuits;
- **au solstice d'été (23 juin)** : la position de la terre est opposée à celle du 21 décembre et le soleil frappe l'hémisphère Nord avec l'angle maximum de déclinaison de $23^\circ 27'$.

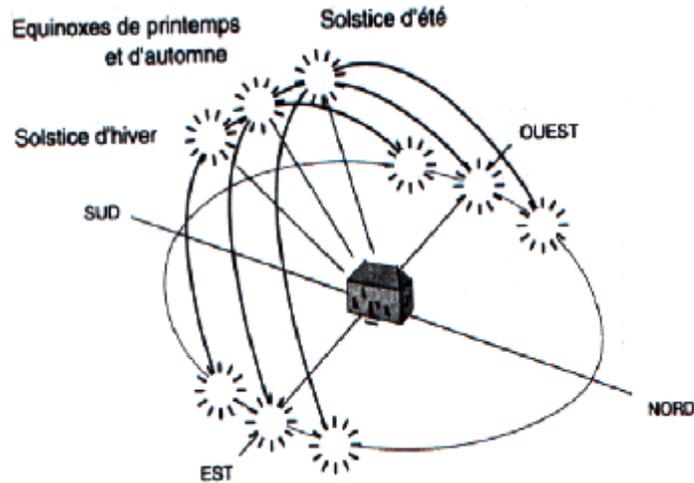


Figure 3- 5 : Trajectoires apparentes du soleil au cours de l'année.

Source: BENJAMIN.D & PHARABOD.F, 2002.

3.4.2- Le mouvement diurne de la terre sur elle-même :

Au cours d'une journée, la terre tourne autour d'elle-même présentant ainsi un secteur géographique différent, face au soleil. Ce deuxième mouvement de rotation s'effectue autour de l'axe des pôles ; dans un mouvement uniforme, donc à vitesse constante, d'Ouest en Est en 24 heures. A chaque heure, la rotation est de 15° ($360^\circ / 24$ heures).

Au cours de ce mouvement diurne, à une date donnée, un point **A** situé à la surface de la terre va donc successivement se trouver placé dans une situation particulière par rapport au soleil et voir son état d'éclairement modifié. Ainsi, il passera :

- D'un état limite entre l'ombre et la lumière, correspondant au lever du jour ; le point **A** appartient au contour d'ombre de la terre, le rayon solaire étant tangent au point **A**.
- A un état d'ensoleillement maximum lorsque le point **A** fera face au soleil (plus précisément lorsque le soleil sera dans le plan du méridien du lieu **A**, plan qui contient l'axe des pôles et le point **A**, et qui correspond au plan Nord-sud du lieu) ; il est alors 12 Heures Solaires pour ce point ;
- De nouveau, à un état limite entre l'ombre et la lumière, indiquant ainsi la fin du jour pour le point **A** ; pour finalement, être dans une situation d'ombre correspondant à la période de nuit.

Suivant son positionnement sur la terre, pour une même date, ces différentes périodes d'ensoleillement seront plus ou moins longues, inversées, voire inexistantes. On peut ainsi identifier certains lieux où le soleil ne se lève pas à certaines dates.

3.4.3- La latitude et les conditions saisonnières d'ensoleillement :

La position d'un lieu sur la terre d'après la définition de CERMA est déterminée par sa latitude (figure 3-6), angle entre la droite joignant le point considéré sur la terre et le centre de la terre avec le plan de l'équateur terrestre. Cette droite constitue la verticale du lieu.⁹ Le plan horizontal du lieu est tangent à la sphère terrestre et perpendiculaire à la verticale du lieu.

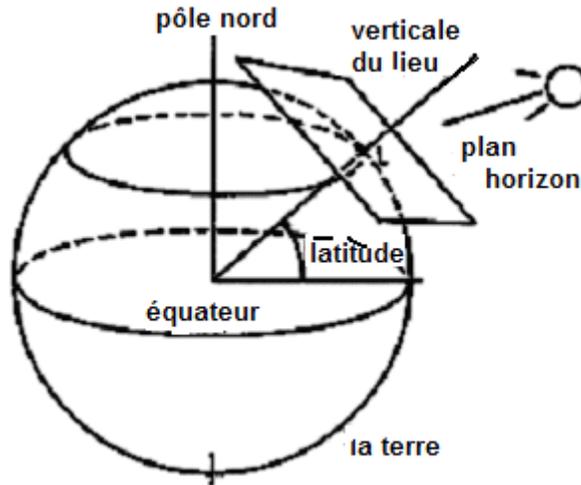


Figure 3- 6 : La latitude d'un lieu. Source : CERMA, 2004.

L'ensemble des points terrestres de même latitude constitue un parallèle terrestre. Du fait, de la rotation diurne de la terre autour de son axe des pôles, chacun des points d'un même parallèle se trouve ainsi, à un décalage horaire près, dans une situation d'ensoleillement identique.

Selon la latitude, les conditions d'ensoleillement sont différentes au cours de l'année. On peut, en chaque latitude, déterminer précisément ces conditions et obtenir les coordonnées terrestres du soleil correspondantes.

3.4.3.1- Les coordonnées solaires :

3.4.3.1. A- La sphère céleste équatoriale et les coordonnées équatoriales du soleil :

Le soleil étant situé à l'infini, deux angles sur cette sphère permettent de repérer la direction du soleil. Les coordonnées équatoriales du soleil sont alors dans ce repère :
-la déclinaison et -l'angle horaire.

3.4.3.1. A1. La déclinaison (δ) : (angle entre le rayon solaire et le plan équatorial), spécifique d'une date, permet de déterminer sur la sphère céleste une position du soleil (figure 3-7)

La valeur de la déclinaison « voir annexe 5 » est indépendante de la position de l'observateur sur la terre. Elle ne dépend que du temps saisonnier, qui lui résulte seulement de la position de la terre par rapport au soleil. Sa variation peut donc s'appréhender en examinant le mouvement annuel de rotation de la terre autour du soleil.

⁹ - CERMA « La géométrie solaire » [En ligne] <http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/theorie/solaire/.html>. (Page consultée le 14/07/2004).

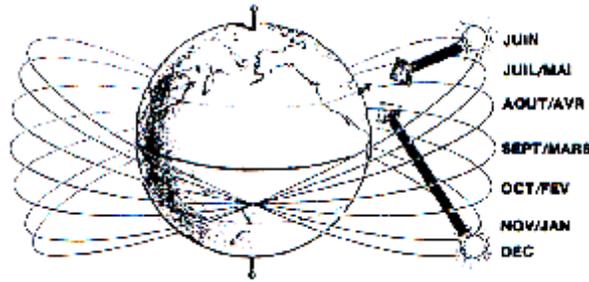


Figure 3-7 : la déclinaison du soleil, telle qu'elle apparaît depuis la terre, le 20^{ème} jour de chaque mois. Source : MAZRIA, 1981.

3.4.3.1. A2-L'angle horaire solaire (ω) : Traduit le mouvement journalier du soleil sur sa trajectoire. Les trois dates significatives de l'année peuvent ainsi être aisément tracées. Les cercles horaires constituent des grands cercles verticaux, espacés de 15° en 15° , passant par les pôles de cette sphère fictive circulaire (0° correspond à midi solaire, 90° à 18H solaires).

Ces coordonnées solaires sont indépendantes de la position de l'observateur sur la terre. Mais ces trajectoires apparentes du soleil vont apparaître différemment dans le ciel de l'observateur terrestre, en fonction de sa position sur la terre déterminée par la latitude.

3.4.3.1. B- La sphère céleste locale et les coordonnées horizontales du soleil pour un observateur terrestre :

La sphère céleste locale de l'observateur (figure 3-8) utilise un repère spécifique du lieu dans lequel il se trouve. Son repère local est défini par le plan horizontal et la verticale du lieu. La voûte céleste de l'observateur peut être décomposée en deux réseaux de cercles, les uns horizontaux marquant les hauteurs, les autres verticaux indiquant les directions azimutales. Ces deux réseaux de cercle permettent le repérage des objets célestes pour l'observateur terrestre. Les objets du ciel sont visibles quand ils sont situés au-dessus du plan horizontal, du côté du zénith « intersection de la verticale du lieu avec la sphère fictive, à la hauteur de 90° . » Ils sont invisibles quand ils sont situés en dessous, du côté du nadir. (Point opposé du zénith sur la sphère)

3.4.3.1. B1- La hauteur angulaire du soleil (l'altitude) :

La hauteur est définie comme étant l'angle formé par le plan horizontal du lieu et la direction du soleil. Cette hauteur est comprise entre 0° (*soleil à l'horizon*) et 90° (*soleil au zénith*) entre le rayon solaire et le plan horizontal du lieu. (Fig.3-8)

3.4.3.1. B2- L'azimut du soleil :

L'azimut est défini comme étant l'angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et le plan de référence (le méridien du lieu).

Le plan vertical, varie entre -180° et $+180^\circ$, négatif à l'Est, positif à l'Ouest, par convention et vaut 0° au Sud dans l'hémisphère nord. (Fig.3-8)

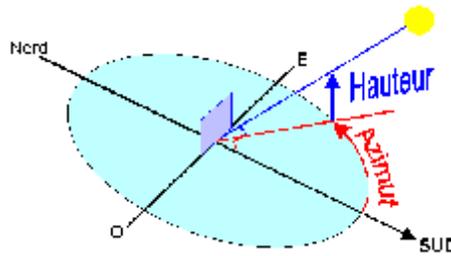


Figure 3- 8 : Hauteur et Azimut solaire. Source: WBDG, 1980.¹⁰

Sa connaissance s'avère indispensable quant au calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale. L'angle solaire peut être déterminé par deux méthodes ;

- Par la méthode de calcul théorique précis.
- Par la lecture graphique des abaques

3.4.3.2- Calcul de la position solaire :

3.4.3.2. A- Usage de l'outil informatique :

La forme suivante utilise une méthode mathématique de calcul d'une série de données solaires à une date et une heure particulière. Il faut simplement entrer la latitude, la longitude et la zone horaire de la localisation désirée et établir la date et l'heure souhaitées (tableau 3-1). Il est prudent de sélectionner la zone horaire correcte pour régler la longitude de la localisation.

INPUT PARAMETERS	
Latitude:	-11.12 °
Longitude:	5.20 °
Time Zone:	(GMT)1hr30m
Required Date:	21 June
Local Time (24hr):	10:00 <input type="button" value="Calculate"/>
OUTPUT RESULTS	
Declination:	23.441 °
Equation of Time:	-1.575 minutes
Solar Altitude:	66.0 °
Solar Azimuth:	103.64 °
Solar Time:	10:09 Hrs
Sunrise:	04:36 Hrs
Sunset:	18:42 Hrs

Tableau 3-1: Calcul mathématique de la position solaire à Ouargla le 21 juin à 10h.

Source : MARSH.A « Solar position », [En ligne] www.squ1.com (consulté janvier2005)

¹⁰ - Internet, www.WBDG sun control and shading devises. HTM by PROWER, FAIA. Le 07/2004.

3.4.3.2. B- La méthode manuelle :

Il en existe plusieurs méthodes de calculs. Cette méthode proposée est utilisée pour déterminer la position du soleil pour n'importe quel emplacement sur terre. L'azimut et l'altitude du soleil sont calculés par les formules proposées par SPENCER [1965], puis affinées par SZOKOLAY [1996]¹¹.

Le calcul des angles solaires pour une latitude donnée et en un temps donné obéit aux étapes suivantes :

- Détermination de la déclinaison solaire.
- Détermination du zénith en comptant le nombre de degrés qui séparent la latitude du lieu et la déclinaison.
- Faire la soustraction du zénith de l'angle 90°, on obtient ainsi la position exacte du soleil.

Le calcul d'après MARSH.A, 2003 :

• **Altitude solaire : h**

-Calcul de l'angle horaire : ω

$$\text{Angle horaire} = (15 * (\text{heure locale} - 12)) \dots\dots\dots [1]$$

- Calcul de l'altitude courante :

$$\sin h = \sin (\text{Déclinaison}) * \sin(\text{Latitude}) + \cos (\text{Déclinaison}) * \cos(\text{Latitude}) * \cos(\omega) \dots\dots\dots [2]$$

$$\text{Altitude} = \arcsin (\sin (\text{Déclinaison}) * \sin(\text{Latitude}) + \cos (\text{Déclinaison}) * \cos(\text{Latitude}) * \cos(\omega)) \dots\dots\dots [3]$$

• **Azimut solaire : A**

$$\cos A = [\cos (\text{Latitude}) * \sin(\text{Déclinaison}) - \cos (\text{Déclinaison}) * \sin(\text{Latitude}) * \cos (\text{Angle horaire})] / \cos (h) \dots\dots\dots [4]$$

$$\text{Azimut} = \arccos ([\cos (\text{Latitude}) * \sin(\text{Déclinaison}) - \cos (\text{Déclinaison}) * \sin(\text{Latitude}) * \cos (\text{Angle horaire})] / \cos (h)) \dots\dots\dots [5]$$

3.4.3.2. C- La méthode graphique :

C'est la méthode développée par plusieurs chercheurs à travers le monde, et proposé par MICHEL CAPDEROU dans l'atlas solaire de l'Algérie sous forme d'abaques (figure 3-8) et (figure 3-9) ou l'on peut déterminer l'angle solaire pour n'importe quelles heures de la journée d'un mois de l'année, pour une latitude précise. (CAPDEROU.1985)¹²

¹¹-« Solar position », [En ligne] www.squ1.com (consulté janvier2005)

¹²- CAPDEROU. Michel –Atlas Solaire de l'Algérie – tome 3 Aspect géométrique (l'office des publications universitaires.1988) page.66

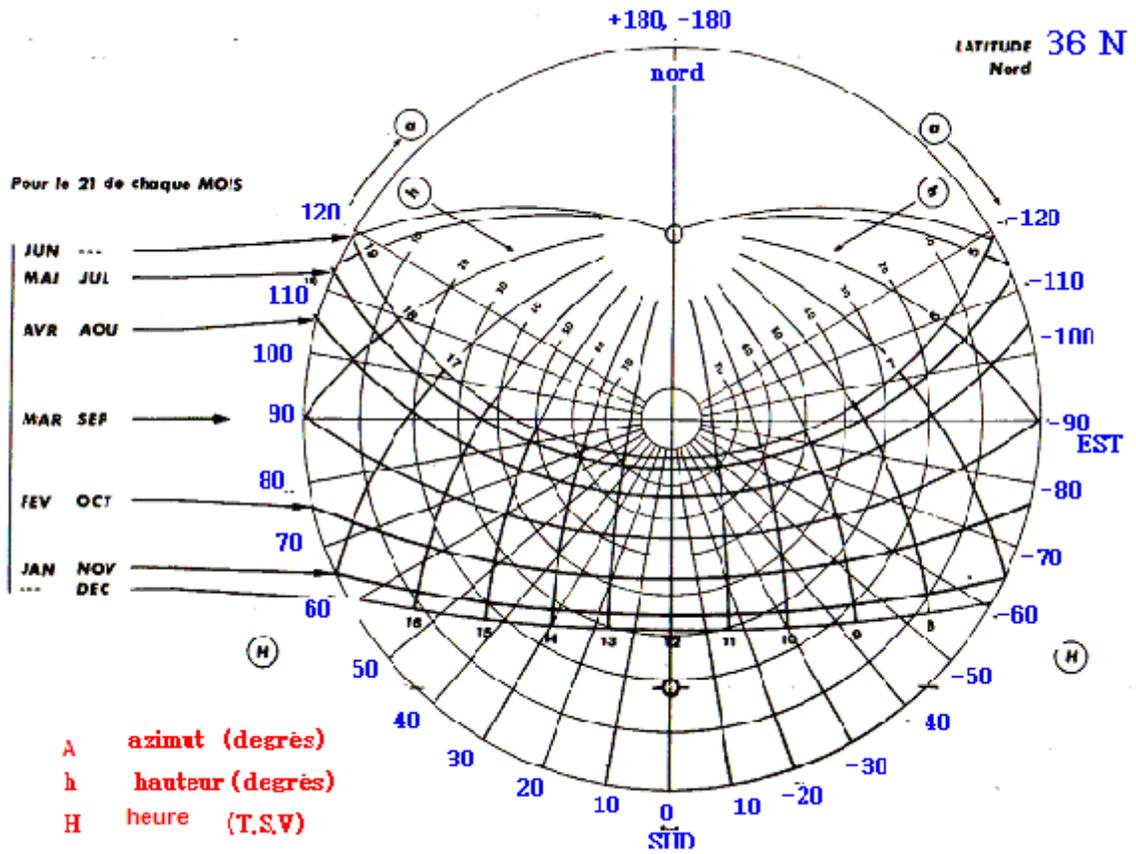


Figure 3- 9 : Diagramme solaire en projection stéréographique pour la latitude 36°(Constantine)
 Source : CAPDEROU .M, 1988.

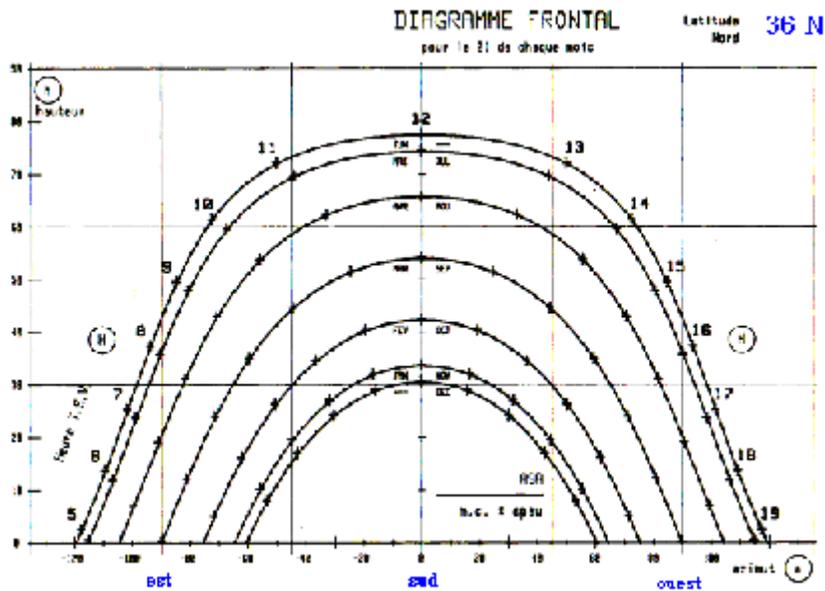


Figure 3-10 : Diagramme solaire en projection Frontale pour la latitude 36°N.
 Source : CAPDEROU.M, 1988.

3.4.3- Détermination du temps solaire :

1. Le temps solaire moyen : TSM

Dans son mouvement de rotation, la terre tourne autour de l'axe des pôles, ainsi le temps qui sépare deux passages successifs du soleil au méridien d'un même lieu, définit la journée solaire égale à 24 heures.00mn.00 s. c'est le temps solaire moyen.(GIVONI 1978 BRICHAMBAUT et VAUGE 1982, CAPDEROU 1988.)

2. Le temps solaire vrai : TSV

Il est défini comme étant l'angle horaire du soleil en un lieu et instant précis. Théoriquement, la vitesse de la terre sur son orbite est variable au cours de l'année, ainsi la somme des irrégularités du TSV est dite « équation du temps ».

L'écart entre TSV et TSM variant selon la date, il est considéré nul en moyenne par définition. (BRICHAMBAUT et VAUGE 1982).

TSV est considéré selon la formule suivante :

$$\text{TSV} = 12 + (H / 15) \dots\dots\dots[6]$$

Ou H est exprimé en degré, et TSV en heures.

3. L'angle horaire :

La notion de TSV se rattache à celle de l'angle horaire du soleil, qui est représenté par l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan du méridien du lieu.

La trajectoire qui se décrit uniformément en 360° en 24 heures, l'angle horaire du soleil augmente de 15° par heures : $360^\circ / 24H = 15^\circ$.

La valeur 0° est celle du passage du soleil dans le plan méridien (midi solaire vrai = 12H -TSV), à ce moment l'angle horaire est compté négativement avant midi, et positivement après midi.

$$\omega = 15 (\text{TSV} - 12) \dots\dots\dots[7]$$

Ou t est exprimé en degré, et TSV en heure.

L'angle horaire sert pour le calcul des coordonnées solaires (hauteur (H) et azimut (A))

3.5- ASPECTS ENERGITIQUE DU SOLEIL :

Le soleil, corps chaud à une température de plus de 6000Kelvin, émet une énergie sous forme d'un rayonnement électromagnétique. Les longueurs d'onde de ce type de rayonnement dépendent de la température. En raison de la température élevée du soleil, les longueurs d'onde dans lesquelles le maximum d'énergie est émis recouvrent le visible entre 0.4 à 0.75 microns et le proche InfraRouge. Le rayonnement recouvre un spectre qui intéresse donc à la fois les problèmes lumineux (éclairage lumineux) et les problèmes énergétiques. (Rayonnement solaire)

Le rayonnement solaire est le déplacement de l'énergie sous forme de radiations solaires, transmettant de la chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques constituant le spectre solaire. L'ensemble des rayonnements électromagnétiques est très vaste (figure3-13) puisqu'il va des rayons cosmiques qui nous parviennent de l'espace intersidéral jusqu'aux ondes hertziennes (grandes ondes, ondes moyennes, courtes et ultracourtes utilisées en radio et télévision) en passant par l'énergie solaire et la lumière visible¹³.

¹³ - CERMA, « Le rayonnement solaire »[En ligne] [http : //Audience.cerma.arch.fr/cerma/pageweb/théorie/solaire](http://Audience.cerma.arch.fr/cerma/pageweb/théorie/solaire). [page consulter, mai 2004]

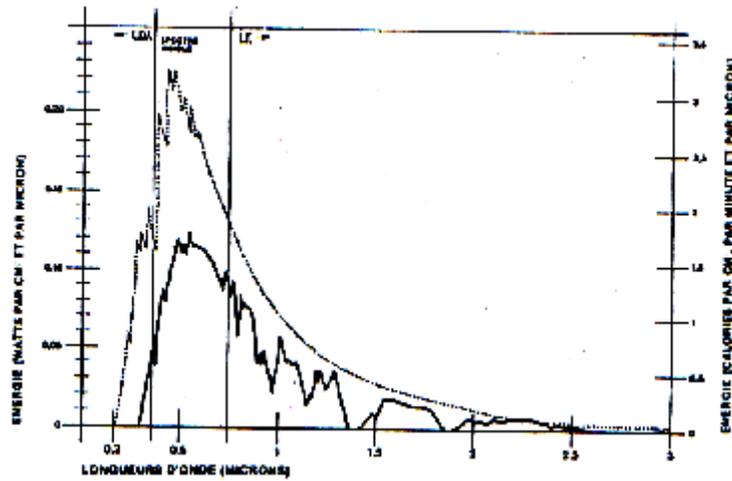


Figure 3-11: Composants du spectre électromagnétique du soleil. Source : Mazria .ed, 1980

3.5.1- Les Effets atmosphériques sur le rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire, en traversant l'atmosphère comme le montre (la figure 3-12) subit une diminution d'intensité par absorption, réflexion et diffusion (GIVONI, 1978)

Ou il y a au moins **35 %** de rayonnement solaire intercepte par la terre et son atmosphère, sont réfléchis vers l'espace ¹⁴ ; ce phénomène s'appelle l'ALBÉDO du corps (L'albédo de la surface définit le pourcentage de réflexion du rayonnement), l'angle que font les rayons du soleil avec une surface déterminée est la DENSITE ENERGITIQUE que reçoit cette surface.

Près de la moitié du rayonnement solaire incident hors atmosphère est absorbé au sol.

Le rayonnement infrarouge émis par la terre du fait de sa température est en grande partie absorbé par l'atmosphère. Rayonnements incidents et ré émis s'équilibrent. ¹⁵

L'importance du rayonnement solaire reçu à la surface du sol dépend de la spécificité de chaque région (latitude du lieu, le relief –montagne, vallées, rivières..._et la nature du sol peuvent qui influer directement la qualité du rayon incident.)



Figure 3- 12 : Effets de l'atmosphère sur l'irradiation solaire

Source : MARSH.A, 1980 [www.squ1.com]

¹⁴ - MAZRIA. Ed –Le Guide De L'énergie Solaire Passive (édition /parenthèses) Paris, 1981 Page 15

¹⁵ - BENJAMIN.DESSUS, FRANCOIS PHARABOD – L'énergie Solaire- QUE SAIS-JE ? presse universitaire de France, VENDOME, OCT 2002

Trois facteurs essentiels déterminent l'importance du rayonnement solaire sont :

- L'épaisseur et la qualité de l'atmosphère
- La durée de l'ensoleillement
- L'inclinaison des rayons solaires (l'angle solaire) ¹⁶

Le rayonnement solaire mesuré hors atmosphère, à une puissance de 1300 W/m² de surface exposée, et lorsqu'il atteint le sol il est de 1100W/m² pour un ciel clair et bien dégagé. (MAZRIA, 1980) ¹⁷ Le rayonnement en provenance du soleil et tombant sur n'importe quel plan du sol présente trois composantes :

- Le rayonnement direct.
- Le rayonnement diffus.
- Le rayonnement réfléchi ou albédo qui dépend de la nature du sol.

Les radiations solaires sont à l'origine de toute l'énergie sur la terre ; Et elles constituent le facteur prédominant pour tous les phénomènes climatiques.

3.5.1.1- Rayonnement Direct : (I)

Un rayonnement est dit direct dans la mesure où il ne subit pas de déviation dans son parcours à travers l'atmosphère jusqu'au sol (est bien lisible dans un ciel clair, dégagé de nuages), le rayon direct qui provient directement du soleil et qui peut être nul par temps couvert. ¹⁸

BIRD et HULSTROM ¹⁹ suggèrent la formule de calcul des radiations solaires incidentes sur une surface inclinée :

$$I_{DN} = I_0 \cdot 0.9751 (\tau_m - a_w) \tau_a \dots\dots\dots [8]$$

- I_0 = irradiations extraterrestres
- T_m = transmittance de l'atmosphère
- A_w = absorption des radiations solaire par la vapeur d'eau
- T_a = transmissivité

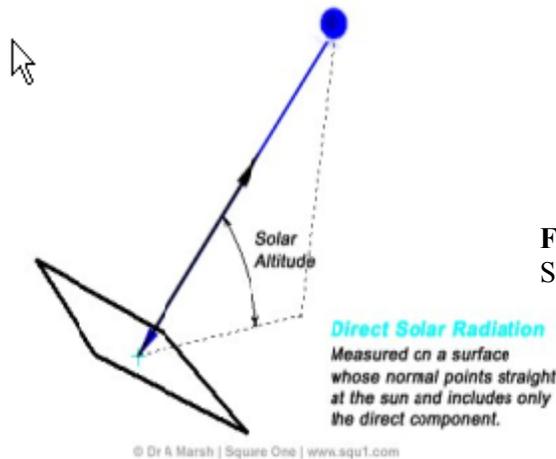


Figure 3- 13 : rayonnement solaire direct sur une surface
Source : MARSH.A, 2003

¹⁶ -MAAZOUZ. S ---L'intégration des facteurs physique de l'environnement dans le processus de conception architecturale----thèse de doctorat d'état 2000 p.34

¹⁷ - MAZRIA. E - Le Guide De L'énergie Solaire Passive- (édition /parenthèses) paris, 1980 P .15.

¹⁸ - LAVIGNE.P- Architecture Climatique- Une Contribution A Développement Durable, tome1. EDISUD, 1994.p.74

¹⁹ - BIRD.R et HULSTROM.R.L « A Simple Clear Sky Model For Direct And Diffuse Isolation On Horizontal Surfaces », U.S. solar energy research institute, technical report TR-642-761, DOLDEN, COLORADO, 1981.

Bien que, le rayonnement direct ou principal provienne de la direction du soleil (figure 3-13), il est toujours accompagné d'un rayonnement diffus provenant de l'ensemble du ciel et que l'on mesure en conséquence, par watts reçus par mètre carré de plan horizontal.²⁰

3.5.1.2- Rayonnement Diffus :(D)

Contrairement au rayon direct, le rayon diffus est dévié dans toutes les directions à cause des obstacles rencontrés dans son parcours (voir figure 3-15) tels que les nuages, le brouillard, les molécules d'air, la vapeur d'eau et les aérosols (particules microscopiques en suspension dans l'atmosphère) .

Le rayonnement diffus qui provient de la diffusion du rayonnement solaire par les particules de l'atmosphère et qui en quelque sorte est « émis » par la voûte céleste (figure 3-14), est faible par ciel très pur, ce rayonnement n'est jamais nul.²¹

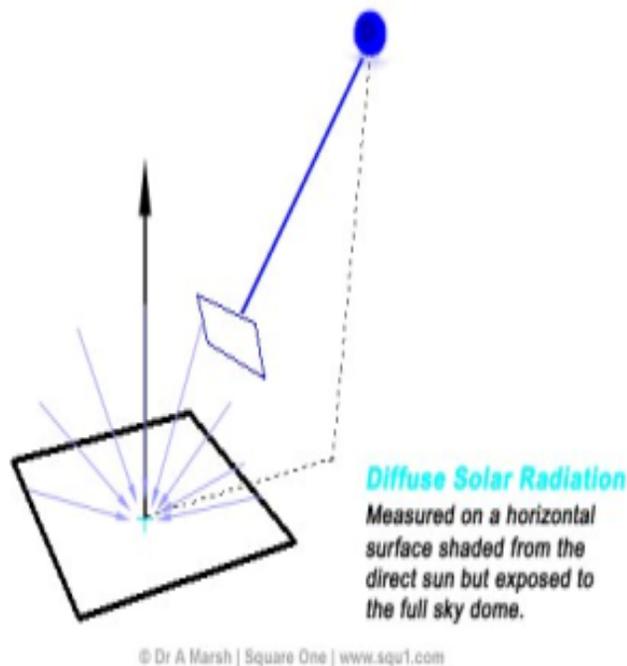


Figure 3-14 : rayonnement solaire diffus, sur une surface au sol.

Source : MARSH.A, 2003. (www.squ1.com)

La réduction de la densité du flux d'irradiation arrivant sur la surface terrestre est d'autant plus forte que la couche d'atmosphère est importante ; elle est donc en fonction directe de la hauteur du soleil. C'est alors qu'en été, la densité du flux atteignant une surface peut valoir dans les meilleures conditions de 900 à 1000 W/m².

Ces divers rayonnements s'apprécient différemment selon que l'on considère qu'ils sont reçus par une surface plane horizontale, inclinée fixe ou orientée en direction du soleil.

Hors atmosphère, le rayonnement solaire direct est un flux d'énergie quasi constant, dont la puissance est de 1367 w/m² de surface exposée perpendiculairement à la direction des rayons incidents « surface normale »

²⁰ - ANDRE BONHOMME – L'isolation thermique des bâtiments- conception des projets, ventilation, apport solaires, besoin de chaleur, économie d'énergie. Edition du moniteur, paris 1986. page.24

²¹ - LAVIGNE.P- Architecture Climatique- Une Contribution A Développement Durable, tome1. EDISUD, 1994.p.74

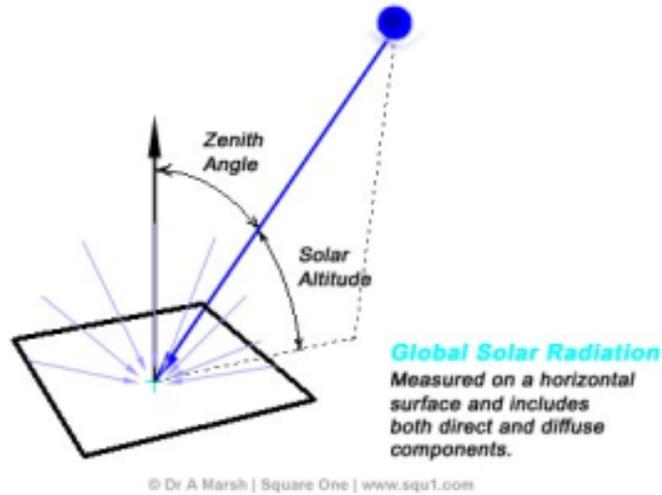


Figure 3-15 : Rayonnement solaire global sur une surface au sol. (Incluse les radiations directes et diffuses)
 Source : MARSH.A, 2003. (www.squ1.com)

Les valeurs du rayonnement direct dans des conditions de beau temps se mesurent par la quantité d'énergie incidente sur une surface de 1 m² perpendiculaire à la direction du soleil. Les ordres de grandeurs R retenus pour les calculs (tableau 3-2) sont les suivants en fonction de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon d'après le C.S.T.B, 1986.(voir figure 3-16)

Hauteur du soleil	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
Energie R en W/m ²	320	550	680	750	800	850	860
En Kcal/h/m ²	280	475	580	645	690	730	740

Tableau 3-2 : Valeur du rayonnement solaire en fonction de la hauteur solaire.

Source : ANDRE BONHOMME, 1986

Les rayonnements solaires ne sont généralement pas perpendiculaires aux façades, non plus qu'à la majorité des toitures, en sorte qu'il commode de définir un ensoleillement type qui soit lié, non plus aux conditions de la latitude, mais à l'orientation de la façade étudiée (cet ensoleillement est rapporté au mètre carré de façade)

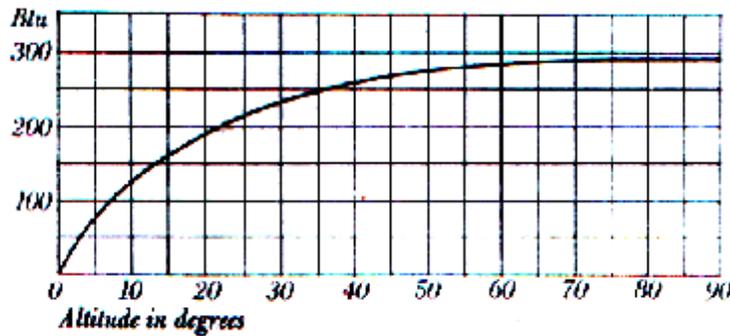


Figure 3-16: Variation du rayonnement direct normal avec la hauteur du soleil.

Source: OLGAYAY.A & OLGAYAY.V, 1957

D'après le C.S.T.B trois courbes dans la figure (3-17) dites d'enseillement de base qui fournissent en conséquence directement les ordres de grandeur des rayonnements solaires tombant sur chaque mètre carré de façade dans trois cas type d'exposition EST, OUEST et SUD.²²

On constate à l'examen de ces courbes que, bien que les quantités totales d'énergie incidente qui sont mesurées par les aires soient à peu près les mêmes, la façade SUD est, en matière de maximum, très favorisée par rapport aux deux autres expositions puisqu'elle reçoit 25% de moins.

La symétrie des deux courbes d'enseillement de base des façades EST et OUEST ne concerne que les apports solaires. Les conséquences pratiques sont très différentes, du fait que les températures d'air de façades, sont très différentes dans la matinée et l'après midi ; De ce fait l'inconfort en façade OUEST est considérablement aggravé alors que la situation des façades EST et SUD est assez semblable.

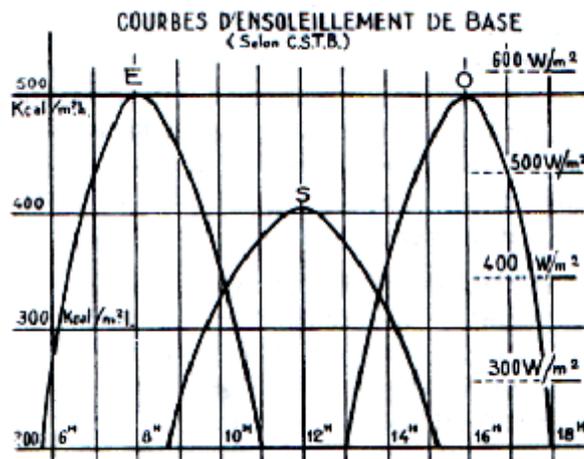


Figure 3-17 : Courbes d'enseillement de base selon C.S.T.B.

Source : ANDRE BONHOMME, 1986²³

3.5.2- Variations diurnes et saisonnières de l'enseillement:

L'alternance des jours et des nuits réduit de moitié la disponibilité annuelle de l'énergie solaire. Au cours d'une journée sans nuage, l'enseillement croît au levé du soleil à midi (TSV) « temps solaire vrai », puis décroît ensuite.

Au cours de cette évolution l'intensité du rayonnement varie plus ou moins vite selon la clarté de l'atmosphère. La présence des nuages légers ou denses de brumes ou de brouillards, perturbe de façon quasi aléatoire la régularité de ces variations diurnes.²⁴

Un local recevant le soleil voit son éclairage et sa lumière varier suivant l'heure et l'endroit où tombent les rayons solaires.

Le soleil influence directement sur les conditions de la lumière ainsi que la physique et le psychique de l'habitant. Seulement beaucoup de soleil peut rendre la vie quotidienne parfois

²² - ANDRE BONHOMME – L'isolation thermique des bâtiments- conception des projets, ventilation, apport solaires, besoin de chaleur, économie d'énergie. Edition du moniteur, paris 1986. page.125

²³ - - ANDRE BONHOMME – L'isolation thermique des bâtiments- conception des projets, ventilation, apport solaires, besoin de chaleur, économie d'énergie. Edition du moniteur, paris 1986. page.125

²⁴ - BENJAMIN.DESSUS, FRANCOIS PHARABOD – L'énergie Solaire- QUE SAIS-JE ? presse universitaire de France, VENDOME,OCT 2002

insupportable, il convient donc de tenir compte du besoin d'ensoleillement par rapport aux exigences densité, à l'orientation des bâtiments et à l'écartement entre les bâtiments.

L'exigence d'ensoleillement est devenue donc une nécessité réglementaire et non une simple recommandation, notamment vu son importance dans l'apport solaire et son impact sur l'économie de l'énergie (LUGEZ, 1995)²⁵

L'ensoleillement peut être défini comme l'ensemble des interactions entre la lumière naturelle directe, dans sa composante géométrique, et les objets d'un environnement architectural ou urbain. Ces interactions se manifestent sous la forme de taches d'ombre ou de soleil sur les surfaces. Ces taches sont des traces des interactions entre lumière et l'environnement considéré et représentent des effets d'ensoleillement potentiels. Les taches d'ensoleillement acquièrent différentes valeurs, ces valeurs sont généralement examinées du point de vue énergétique, lumineux et plastique (Siret, 1997).

3.6- L'ENSOLEILLEMENT A CONSTANTINE:

Le concepteur doit assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, pour cela la réalisation des conditions de confort dans un bâtiment et l'utilisation des énergies renouvelables ; Exige une prise en compte de son environnement.

A cet effet les architectes doivent adopter une démarche bioclimatique dans leur projet, un moyen d'exprimer « une philosophie des relations entre nature et architecture. »²⁶

L'art de construire en harmonie avec le climat, suivant les heures de la journée et les saisons, est tout simplement, une architecture plus confortable et plus conviviale pour les habitants

Une construction qui dépend étroitement du site et du paysage, du climat et des matériaux et aussi du « SOLEIL »²⁷.

Les constructions doivent être conçues de telle manière qu'elles prennent en considération la position du soleil, dans le but de consommer ou capter de grandes quantités d'énergie pour leurs chauffages et leurs réfrigérations ; Pour cela, il faut penser à faciliter la pénétration du rayonnement solaire à l'intérieur des pièces.

L'ensoleillement d'un bâtiment désigne l'exposition de ses baies au rayonnement directe du soleil. « Exposition (d'un lieu) aux rayons de soleil ; durée d'exposition au soleil »²⁸

3.6.1 - Température Et Rayonnement :

Les rayons du soleil, en tombant sur un bâtiment élèvent sa température intérieure ; Mais la presque totalité de l'énergie passe directement à travers une ouverture vers l'intérieure et apporte des quantités d'énergie qui peuvent modifier son équilibre thermique en période chaude, par contre en hiver cette insolation est une source gratuite de chaleur.

En été ; bien que la température ambiante soit la même (37°C), la zone ombragée sera appréciée car elle est plus fraîche que la zone soumise aux effets thermiques du rayonnement solaire.

L'énergie solaire qui arrive sur un élément de construction dépend de très nombreux facteurs mais pour le principal :

²⁵ - LUGEZ, J - Exigence Et Performance. Connaissance de base, traite de physique de bâtiment tome 1 ; partie a1 paris 1995 centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) p.41

²⁶ - A.Chatelet- P.Fernandez- P.Lavigne---Architecture Climatique ---EDISUD (1998) p.15

²⁷ - A.Chatelet- P.Fernandez- P.Lavigne---Architecture Climatique ---EDISUD (1998) p.10

²⁸ ENCARTA 2003 (DICO)

- Des facteurs météorologiques, c'est-à-dire du temps qu'il fait et de la nébulosité ;
- De la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon, hauteur qui dépend de la latitude, de la date et de l'heure ;
- Enfin, de l'inclinaison des rayons solaires sur la surface frappée.

Cependant, en hiver, c'est l'effet inverse qui se produit pour une même température ambiante extérieure, (-2°C) la zone réchauffée par les rayons du soleil sera plus agréable que la zone d'ombre.²⁹

C'est pour cette raison qu'une occultation nécessaire doit être recherchée pour créer un confort adéquat.

3.6.2- Exigence d'ensoleillement :

La notion de la durée d'insolation a donné naissance au seuil réglementaire en matière d'urbanisme solaire et qui édicte que « la moitié au moins des façades percées des baies servent à l'éclairage des pièces d'habitation doit bénéficier d'un ensoleillement de 2 heures/jour au moins (deux cent jours par année) »³⁰

Il est assez difficile d'approcher précisément la satisfaction psychologique liée à l'ensoleillement. Grand jean, 1981³¹ estime qu'une durée d'ensoleillement minimale doit attirer et il fixe des seuils minimaux et désirables à 90 et 120 minutes pour la salle de séjour, 30 à 90 minutes pour les chambres sont nécessaires pour des raisons d'hygiène.

3.6.3- Détermination des zones d'ensoleillements et d'ombres :

3.6.3.1- Zone de surchauffe (isothermes de Constantine)

OLGAY, cité par GIVONI (1978) indique que la période de surchauffe est définie à partir de 21°C pour la latitude 40°N , ceci pourra constituer une base de travail. L'utilisation du diagramme psychométrique indiquant une zone de confort comprise entre 20°C et 24°C nous permet de définir des périodes de sous chauffe et de surchauffe, ainsi que les besoins d'ensoleillement.

Par la lecture de l'isotherme de Constantine (figure3-18), il peut être partagé selon les courbes des températures en cinq zones :

- **Zone de surchauffe** : englobe le mois les plus chaude qui sont juillet et août, de 12h jusqu'à 16h ; $T^{\circ} > 25^{\circ}\text{C}$ en ce moment, le soleil est perpendiculaire, et son intensité est maximale, ou on doit chercher le maximum d'ombre et de protection.
- **Zone chaude** : délimitée par les courbes 20°C et 25°C englobe le mois de juin, juillet, août et septembre
 - juillet et août de 8h jusqu'à 12h ; $T^{\circ} > 20^{\circ}\text{C}$ et de 16h jusqu'à 21h ; $T^{\circ} > 20^{\circ}\text{C}$
 - juin et juillet de 8h jusqu'à 20h ; $T^{\circ} > 20^{\circ}\text{C}$

²⁹ - Site Internet : [En ligne] www.Outilssolaire.com (page consultée le 09/2004)

³⁰ - F. BOUVIER-Soleil Et Architecture- C3310(p 1) -technique de l'ingénieur 1981

³¹ - F. BOUVIER-Soleil Et Architecture- C3310(p 1) -technique de l'ingénieur 1981

Pour délimitée l'effet de la chaleur, on est obligé de prévoir des moyens de protection.

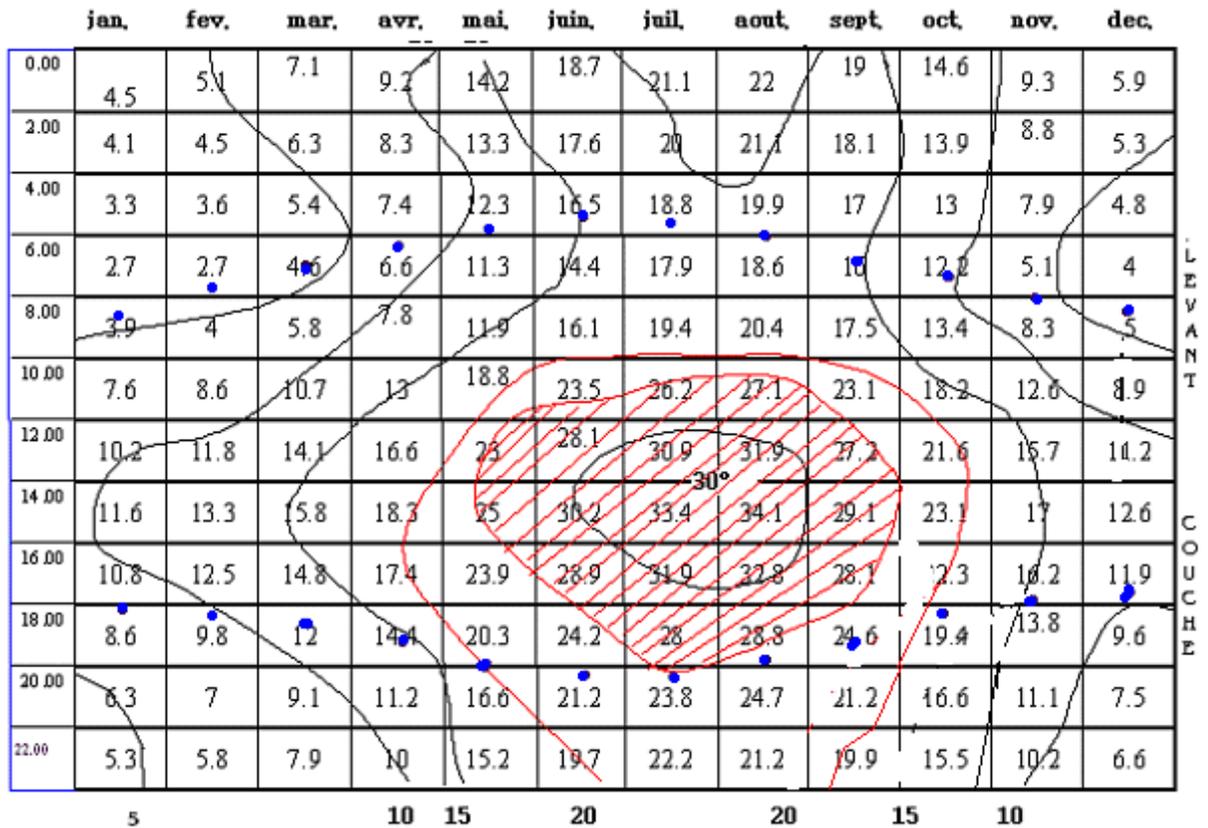


Figure 3- 18 : ISOTHERME DE CONSTANTINE. Source : Auteur.

- **Zone de confort** : comprise entre les courbes 15°C et 20°C englobe les mois de mai, juin, juillet, août, septembre et octobre mais la tranche horaires diffère d'un mois à l'autre.
- **Zone froide** : délimitée par les courbes des températures inférieures à 15°C et supérieure à 10°C, elle englobe les mois suivants; Mars, avril, mai, octobre et novembre ou le chauffage passif pendant l'après midi est nécessaire.
- **Zone très froide** : zone caractérisée par des températures inférieure à 10°C peuvent facilement atteindre 0°C qui englobe les mois de janvier, février, mars, avril, novembre et décembre.

Nous pouvons décomposer le diagramme en deux parties principales : une zone de surchauffe localiser pendant les mois d'été (principalement : juin, juillet, août et même septembre) et des périodes de froid ou de sous chauffe pendant l'hiver.

Notons que les heures de matinées sont généralement plus fraîches que celles de l'après midi, la terre et les constructions ayant eu, pendant la journée, le temps d'accumuler la chaleur.

En été la chaleur commence à se manifester dès les premières heures de la matinée. En août par exemple la zone de confort est déjà dépassée

La chaleur atteint des valeurs maximales entre midi et 16 heures.

Une bonne orientation et certaines dispositions architecturales devraient éviter une exposition prolongée du bâtiment pendant les heures les plus chaudes de la journée en été afin

d'éviter une surchauffe. Grâce la géométrie de construction : par exemple, aux avancées de toitures et d'auvent, le soleil peut pénétrer dans le logement en hivers et non en été.

3.6.3.2- Position du soleil à Constantine :

L'intensité des radiations varie en fonction des durées d'insolation, elle augmente durant la période chaude et sèche et diminue pendant la période humide et froide. Ce qui montre que l'ensoleillement joue un rôle très important dans la variation de la température. Le tableau suivant donne la position du soleil (hauteur et azimuth du soleil) pour la région de Constantine « latitude $36^{\circ}17'$ (horaire), aussi le lever et coucher du soleil pour les différents solstices. Pour le calcul de ce tableau voir (annexe 6) : Aspect géométrique du soleil.

HEURE	ANGLE	21 JUIN	21 MAI 21 JUILL	21 AVRIL 21 AOÛT	21 MARS 21 SEPT	21 FEV 21 OCT	21 JAN 21 NOV	21 DEC
12h	Hauteur	77° 16'	73° 91'	65° 38'	53° 23'	42° 49'	33° 69'	30° 38'
	Azimuth	00°	00°	00°	00°	00°	00°	00°
13h	Hauteur	71° 8'	69° 23'	62° 48'	50° 68'	40° 44'	30° 55'	28° 72'
	Azimuth	49° 46'	43° 25'	33° 16'	24°	19° 48'	16° 38'	15° 71'
14h	Hauteur	61° 16'	59° 24'	53° 7'	43° 88'	34° 71'	26° 94'	23° 99'
	Azimuth	71° 99'	66° 61'	55° 8'	43° 85'	36° 63'	31° 77'	30° 13'
15h	Hauteur	49° 37'	47° 63'	42° 66'	34° 41'	26° 35'	19° 43'	16° 79'
	Azimuth	84° 87'	80° 06'	71° 59'	56° 36'	50° 70'	44° 74'	42° 65'
16h	Hauteur	37° 23'	35° 58'	30° 90'	23° 48'	16° 27'	10° 12'	7° 79'
	Azimuth	94° 71'	88° 68'	83° 72'	70° 62'	62° 23'	55° 67'	53° 31'
17h	Hauteur.	25° 28'	23° 52'	18° 8'	11° 74'	5° 13'		
	Azimuth.	101° 48'	98° 89'	90° 0'	80° 27'	72° 61'		
18h	Hauteur.	13° 59'	11° 71'	6° 78'				
	Azimuth	109° 27'	106° 47'	99° 2'				
19h	Hauteur.	2° 46'	00° 39'					
	Azimuth.	117° 51'	114° 22'					
20h	Hauteur.							
	Azimuth.							
Angle horaire du soleil		70° 97'	73° 74'	90° 8'	90°	81° 89'	73° 74'	70° 1'
Levant & couchant		4h 71'	4h 91'	6h 06'	6h	5h 46'	4h 92'	4h 73'

Tableau 3- 3 : Hauteur Et Azimut Du Soleil A La Latitude De Constantine ($36^{\circ} 17'$)

Source : Auteur.

3.6.4- Définition Des Heures D'ensoleillement :

Il s'agira ici, et dans l'objet d'une meilleure maîtrise de l'objet de notre étude, de définir les tranches horaires quotidiennes où l'ensoleillement des locaux d'habitation est possible et efficace.

La lecture du diagramme solaire de la latitude 36°17' Nord de la ville de Constantine (voir annexe), nous portons les observations suivantes :

- Les trajectoires du soleil des mois de novembre, décembre et janvier, sont très rapprochées et peuvent être assimilées, et sont caractérisées par les journées les plus courtes de l'année où le soleil se lève au Sud-est et plus exactement à l'azimut -60°, à 7h 15mn avec une hauteur de 0°. Jusqu'à 8h 00 il n'est qu'à une hauteur de 8° où les rayonnements du soleil rasant l'horizon, et c'est qu'à partir de 8h 30mn que le soleil atteint une hauteur de 15°, et peut constituer une incidence atteignant des façades ou parties de façades d'immeubles.
Pour le coucher du soleil de la même période, correspondent exactement les mêmes paramètres que ceux du levé du soleil, quant celui – ci est à l'Ouest, c'est à partir de 16h00 les rayons du soleil rasant l'horizon, et qu'à cet effet cette période, à son tour, ne sera pas prise en considération lors de l'étude.
Par conséquent cette tranche horaire, comprise entre 8h00 et 16h00 sera retenue pour la vérification et la simulation, pour le mois considéré.
- Pour les mois d'octobre et de février ayant la même courbe de trajectoire du soleil, et suit le même processus que le précédent, le soleil se lève et se couche respectivement aux azimuts : -77° et +77°, et ce n'est qu'entre 7h30 et 16h30 qu'il prend un aspect effectif en atteignant une hauteur de 15° de part et d'autre (EST et OUEST).
- Les mois de mars et de septembre ont la même courbe de la trajectoire du soleil, se situant aux équinoxes où le soleil se lève exactement à l'Est et se couche à l'Ouest (à -90° et +90°), la hauteur du soleil est de l'Est de 15° respectivement à 7h15 et à 16h 45.
- Pour le mois d'avril et le mois d'août, caractérisés par du levé et du coucher qui sont à 105° d'Est en OUEST, et une altitude de soleil commençant par 15° à 6h30, atteignant 66° à midi .compte tenu de l'importance de ces altitudes pour l'étude de l'ensoleillement, cette période est intéressante pour l'objet de l'étude.
- Les mois de juin, juillet et mai sont caractérisés par un levé et un coucher qui sont à -120 à +120 d'azimut, et à une altitude de 15° le soleil se lève à 6h00 et se couche à 18h00 qui fait sentir la longueur de la journée et la durée longue de l'ensoleillement.

3.6.5- L'irradiation solaire d'une paroi :

3.6.5.1 - Les indicateurs d'irradiation solaire pour une paroi:

Un programme d'ordinateur a été mis au point par MARK STEVEN BAKER³² (ASHRAE 1972) à partir des formules classiques d'irradiation solaire. Ce programme a permis d'établir un réseau de courbes d'égale intensité, chacune de ces indicatrices d'irradiation solaire représente l'ensemble des positions du soleil envoyant la même puissance énergétique (en Watt) sur 1m² de surface exposée.

³² - MAZRIA, Edouard : « Le guide de l'énergie solaire passive »-éditions Parenthèses –page 257

Ces indicateurs d'irradiation solaire permettent donc de calculer graphiquement l'énergie arrivant sur une paroi d'orientation donnée. Chaque courbe correspond à une certaine puissance incidente par m^2 pour un jour clair.

Pour calculer la quantité d'énergie reçue par une paroi (d'inclinaison et d'orientation donnée) durant toute une journée, il suffit d'additionner les quantités d'énergie horaires reçue dont les valeurs sont déterminées directement à partir des diagrammes énergétiques solaire figure (3-19)

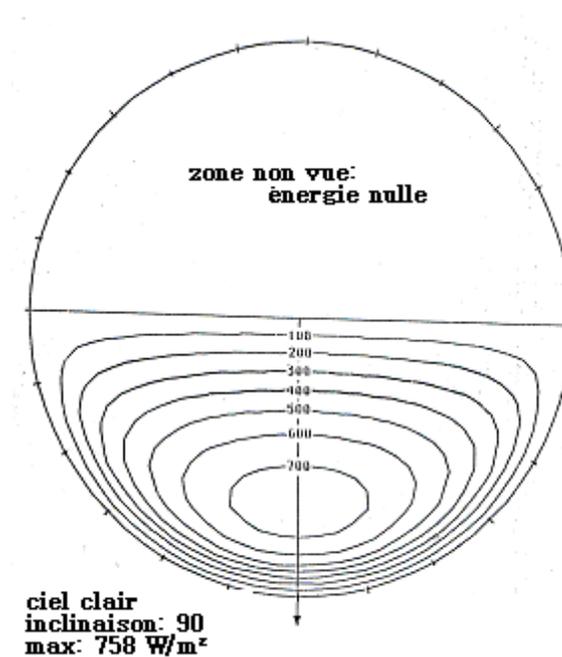


Figure 3-19 : Diagramme énergétique solaire du plan vertical (courbes iso puissance en W/m^2). (Indicateur d'irradiation solaire pour une paroi verticale) Source : IZARD.J.L, 1994

3.6.5.2- Intensité du rayonnement solaire sur une surface :

L'angle que font les rayons du soleil avec une surface détermine la densité énergétique que reçoit cette surface. Puisque le rayonnement solaire arrive sur la terre sous forme d'un faisceau parallèle, une surface perpendiculaire à ces rayons intercepte la densité maximale d'énergie. Et si l'on incline la surface son éclaircissement diminue.

Cependant, une surface qui s'écarte de 25° de cette position perpendiculaire au soleil, intercepte encore plus de 90 % du rayonnement direct maximum. L'angle que font les rayons du soleil avec la normale à la surface « angle d'incidence » déterminera le % de lumière directe intercepté par la surface.

Le (tableau 3-4) ci-dessous donne les pourcentages de rayonnement intercepté par une surface en fonction de l'angle d'incidence.

Angle d'incidence (degrés)	Rayonnement intercepté (pourcentage)
0	100.0
5	99.6
10	98.5
15	96.5
20	94.0
25	90.6
30	86.6
35	81.9
40	76.6
45	70.7
50	64.3
55	57.4
60	50.0
65	42.3
70	34.2
75	25.8
80	17.4
85	8.7
90	0.0

Tableau 3-4 : pourcentage de rayonnement intercepté par une surface en fonction de l'angle d'incidence.

Source : MAZRIA.ED, 1980.

Détermination de l'angle d'incidence :

D'après SZOCOLAY.S, 1979 ³³ l'angle d'incidence (figure3-21) pour une surface donnée est:

$$\cos \beta = \sin h \times \cos \psi + \cos A \times \cos h \times \sin \psi \dots\dots\dots [9]$$

- Ou : β : angle d'incidence
- Ψ : l'inclinaison de la surface par rapport à l'horizontal
- h : la hauteur solaire
- A : l'azimut solaire.

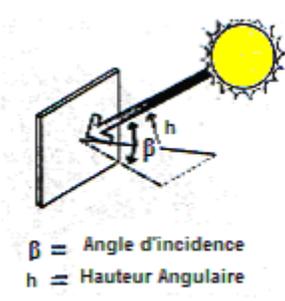


Figure 3-20 : Angle d'incidence.
 Source : MAZRIA.Ed.1980

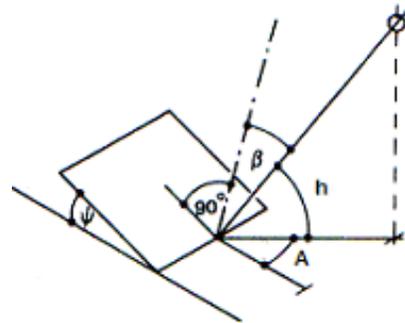


Figure 3-21 : Angle d'incidence pour une orientation et inclinaison quelconque.

Source : S.V.SZOCLAY, 1978

³³ - SZOCOLAY.S, Environmental Science Handbook - for architects and builders, the construction press, Lancaster, England.1979.page.

Pour une surface verticale (figure 3-22) : L'angle d'incidence sera fonction de l'azimut et la hauteur du soleil est égale à :

$$(\cos \beta = \cos A \times \cos h)^{34} \dots\dots\dots [10]$$

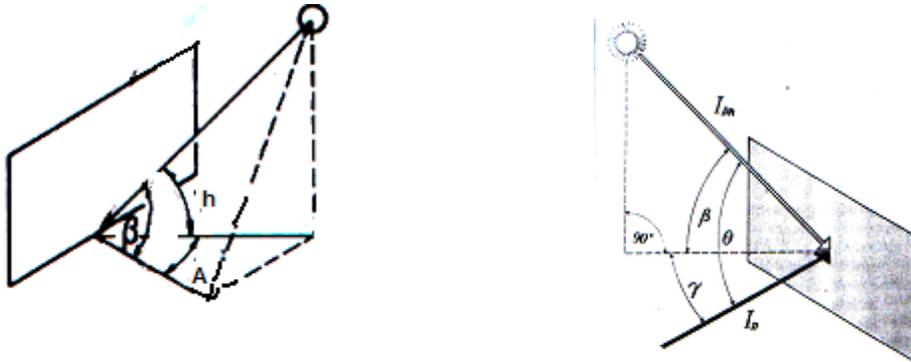


Figure 3-22 : Angle d'incidence pour une surface verticale. Source : S.V.SZOCLAY, 1978

Pour une surface horizontale (figure 3-23) l'incidence est fonction de la hauteur solaire est égale à :

$$\beta = 90 - h \dots\dots\dots [11]$$

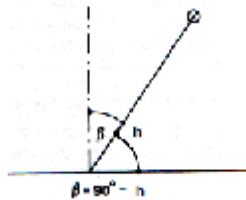


Figure 3-23 : Angle d'incidence sur une surface horizontale. Source : S.V.SZOCLAY, 1978

3.6.5.3- L'irradiation Solaire Mensuelle D'une Paroi :

Les diagrammes (de la figure 3-24) montrent pour la ville de Constantine que pour un jour ensoleillé de janvier (niveau plus bas du soleil) et de juin (niveau le plus haut du soleil) Les évolutions quotidiennes de l'ensoleillement pour les différentes façades orientées différemment. En hiver, le rayonnement maximal est enregistré sur la façade sud, alors qu'en été les pointes de rayonnement sont enregistrées sur les façades EST et OUEST, ainsi que sur les surfaces horizontales.

Par la lecture du graphe on peut déduire que la surface verticale SUD reçoit le maximum de radiation en décembre et janvier que la surface orientée EST ou OUEST, elle est égale à 4068wh/m², et elle reçoit la quantité minimale de radiation en juin et juillet, égale à 2210wh/m² Par contre les surfaces (EST et OUEST) reçoivent plus de radiations en été qu'en hiver ce qui explique que ces deux orientations sont à éviter.

En ce qui concerne la surface horizontale, elle reçoit le maximum d'énergie solaire de 7480whm² en été.

³⁴ - SZOCOLAY.S, Environmental Science Handbook - for architects and builders, the construction press, Lancaster, England.1979.page.

Ces valeurs nous permettent de conclure que l'orientation sud reçoit le maximum de radiation en hiver et le minimum en été par rapport aux autres orientations.

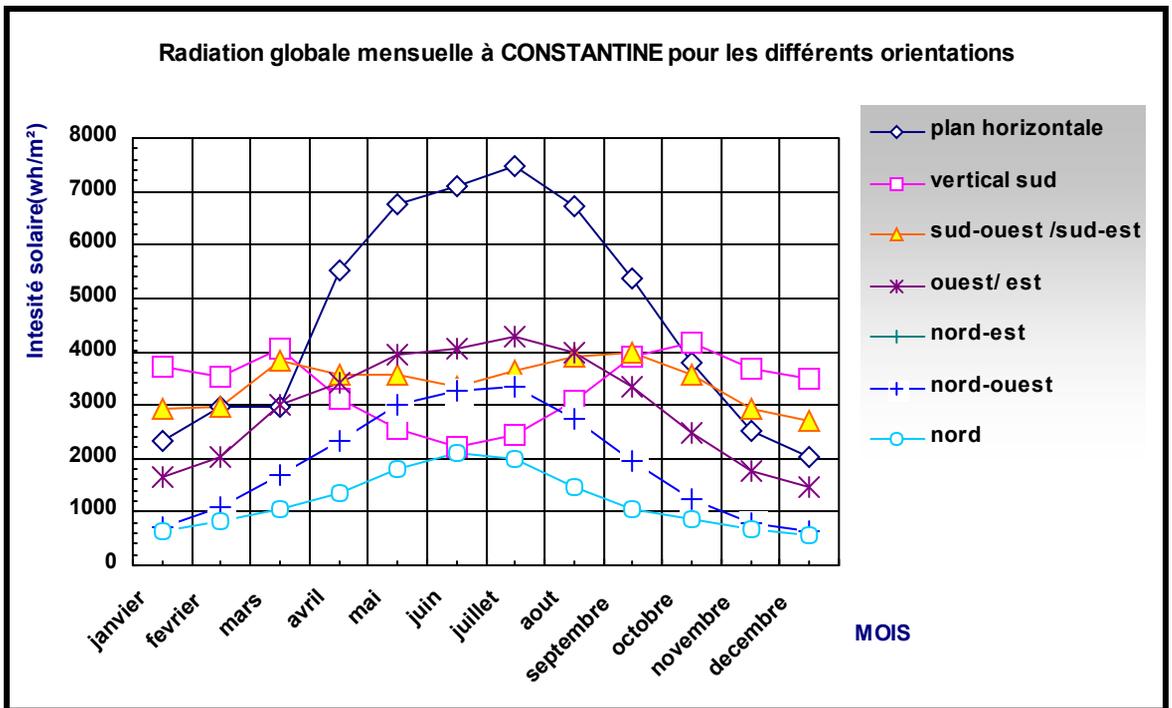


Figure 3-24 : Irradiation globale mensuelle d'une paroi pour différentes orientations « Pour la ville de Constantine » Source : CAPDEROU.1988.

3.6.5.4- L'irradiation Solaire D'une Paroi :

En superposant au diagramme solaire cylindrique (voir annexe) correspondant à la latitude 36°17 l'abaque des « indicateurs d'irradiation » (figure 3-19) des parois pour différents angles d'inclinaison, et d'après les données des irradiations par CAPDEROU.M, 1988 on relève les points suivants pour la ville de Constantine :

3.6.5.4.1- Pour une paroi verticale (90°) :

- Orientation sud :

-L'irradiation solaire est maximale durant les mois d'hiver et elle est minimale durant la période estivale.

-Au solstice d'hiver (21 décembre) : l'irradiation solaire entre 7h et 9h du matin varie entre 121 wh/m² et 565 wh/m². Elle augmente de plus en plus à partir de 9h jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur maximale à midi 753 wh/m². Entre 10h et 14h, on enregistre une irradiation importante des parois, supérieure à 758 wh/m². (Voir figure 3-25)

Symétriquement, l'irradiation solaire décroît à partir de 14h jusqu'au coucher du soleil (17h) où l'irradiation est minimale (76 wh/m²).

-Au solstice d'été (21 juin) : l'irradiation solaire au début et en fin de journée est inférieure à 57 wh/m². A partir de 9h, l'irradiation augmente pour atteindre une valeur maximale égale à 284 wh/m² entre 11h et 13h, puis elle commence à décroître et atteint sa valeur minimale (57wh/m²) à 17h.

On peut lire (figure 3-25) que pour l'orientation sud la durée du soleil est maximale ou elle reçoit les rayons solaires le matin de 9h30h à 16h30 toute la journée en juillet avec une intensité globale d'irradiation de 1949 wh/m². Aussi le mois de décembre toute la journée. Ce qui explique la durée d'exposition de la façade est long.

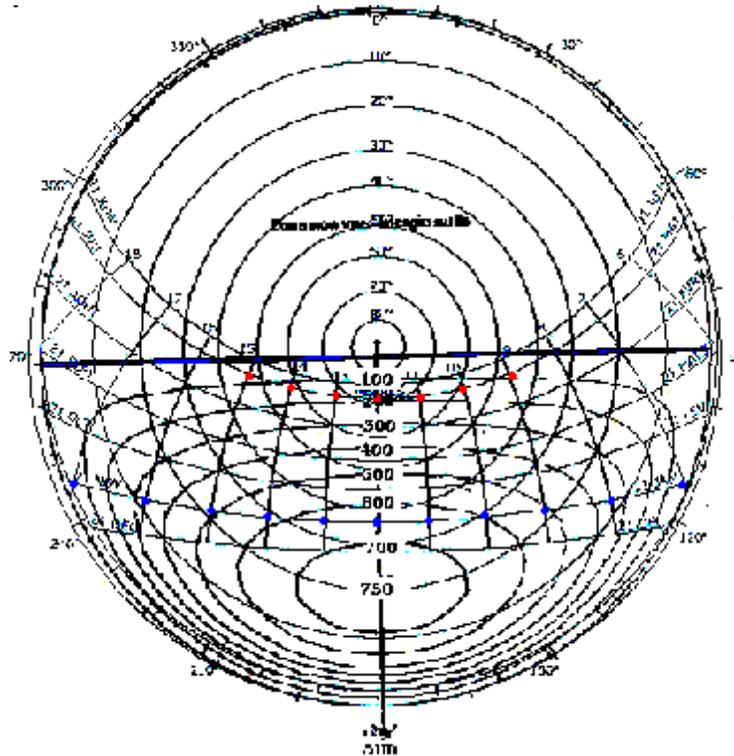


Figure 3-25 : Irradiation solaire sur une paroi verticale orientée SUD (azimut mur = 0°)

Source : Auteur

- Orientation Est ou Ouest:

-L'irradiation solaire est maximale aux mois d'été et minimale durant les mois d'hiver.

-Au solstice d'été : l'irradiation solaire pour des parois exposées Est (figure 3-26) varie entre 755 et 835 wh/m² de 5h à 8h de la matinée. Elle atteint une valeur maximale égale à 835 wh/m² à 8h, puis elle décroît pour atteindre une valeur minimale à midi égale à 74 wh/m².

* Pour une paroi exposée OUEST (figure 3-27), symétriquement, l'irradiation maximale est atteinte à 16h.

-Au solstice d'hiver : l'irradiation solaire est inférieure ou égale à 628 wh/m² toute la journée. Cette valeur d'irradiation maximale est atteinte entre 8h30 et 9h30. Tandis qu'à midi, l'irradiation est minimale, égale à 88 wh/m².

-Pour une paroi exposée OUEST, l'irradiation maximale est atteinte entre 14h30 et 16h30.

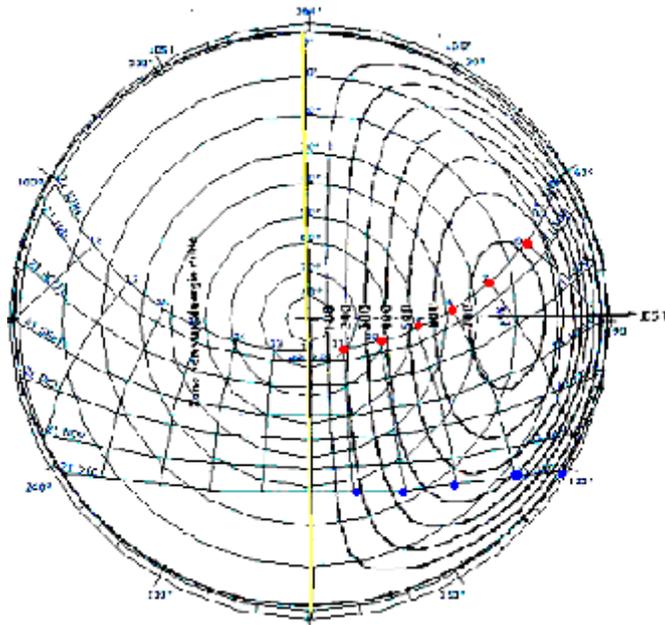


Figure 3-26 : Irradiation solaire sur une paroi verticale orienter Est' (azimut mur = -90°)

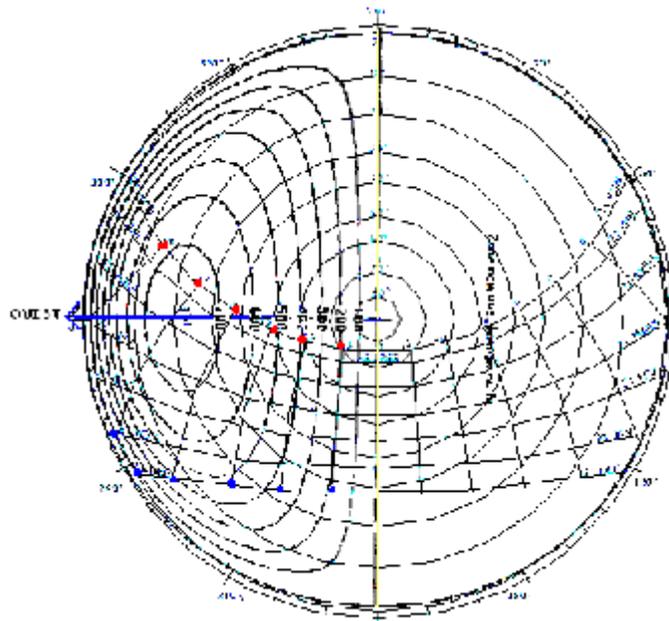


Figure 3-27 : Irradiations solaires sur une paroi verticale orienter OUEST (azimut mur = 90°)

- Orientation Sud-est/ Sud-ouest :

-L'irradiation solaire est maximale aux mois d'été et minimale durant les mois d'hiver.

-Au solstice d'été : l'irradiation solaire pour des parois exposée Sud-est (figure 3-28) varie entre 57 et 755wh/m² de 5h à 7h de la matinée. Elle atteint une valeur maximale égale à 835 wh/m² à 8h, puis elle décroît pour atteindre une valeur minimale à midi égale à 57wh/m².

* Pour une paroi exposée Sud-ouest (figure 3-29), symétriquement, l'irradiation maximale est atteinte à 14h30.

- Au solstice d'hiver : l'irradiation solaire est supérieure ou égale à 462 wh/m² toute la journée. La valeur d'irradiation maximale est atteinte entre 8h30 et 10h00 de 740 wh/m² . Tandis qu'à midi, l'irradiation est minimale, égale à 450 wh/m².
- Pour une paroi exposée Sud-ouest, l'irradiation maximale est atteinte entre 13h30 et 15h30.

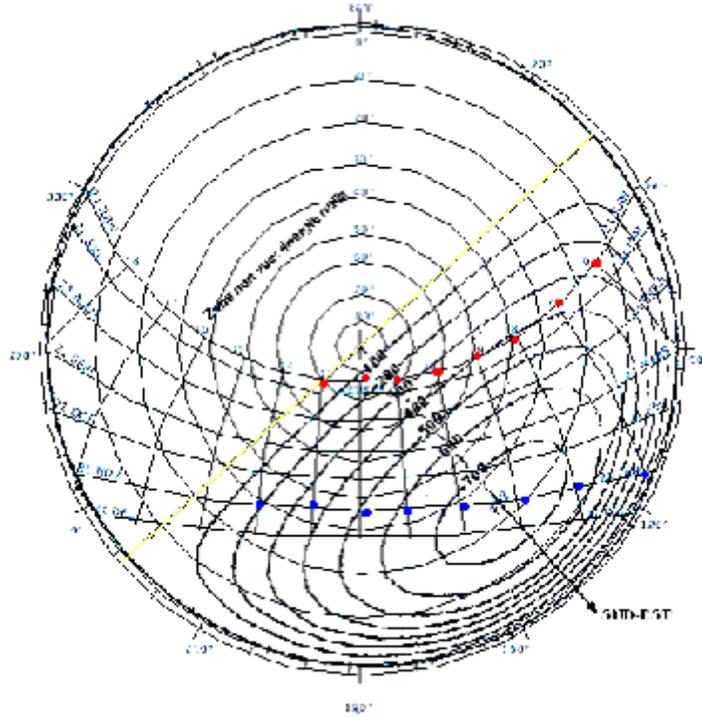


Figure 3-28 : Irradiations solaires sur une paroi verticale orienter Sud-est (azimut mur = -45°)

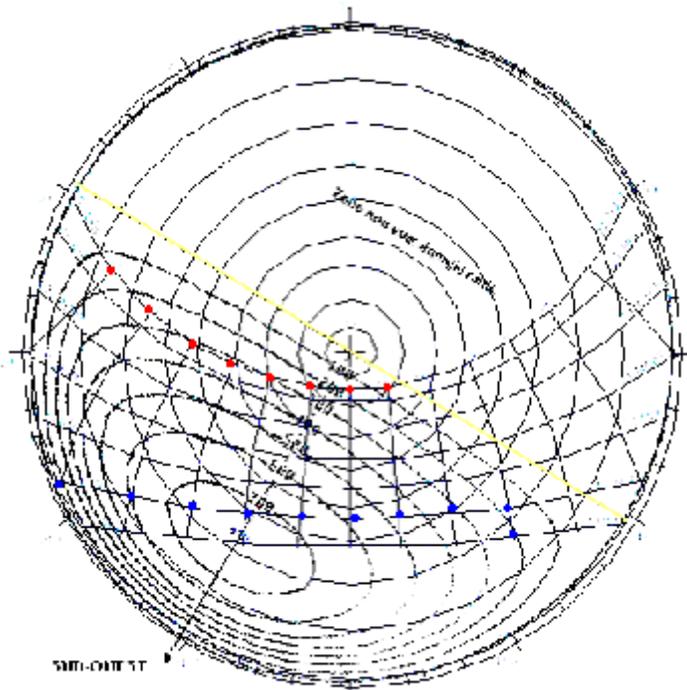


Figure 3-29 : Irradiations solaires sur une paroi verticale orienter Sud-ouest (azimut mur = 30)

- Orientation Nord-ouest/ Nord-est :

-L'irradiation solaire est minimale aux mois d'été et les mois d'hiver et maximale aux équinoxes de printemps et d'automne.

-Au solstice d'été : l'irradiation solaire pour des parois exposée Nord-est (figure 3-30) varie entre 47 et 300wh/m² de 8h à 9h de la matinée. Elle atteint une valeur maximale égale à 477 wh/m² à 9h30, puis elle décroît pour atteindre une valeur minimale à 10h égale à 100wh/m².

* Pour une paroi exposée Nord-ouest (figure 3-31), symétriquement, l'irradiation maximale est atteinte à 16h.

-Au solstice d'hiver : l'irradiation solaire est inférieure ou égale 45wh/m² ce qui explique que la paroi ne bénéficie pas des radiations en hiver.

-Pour une paroi exposée Nord-ouest, l'irradiation maximale est atteinte à 17h00 et elle est presque minime pour les apports d'hiver.

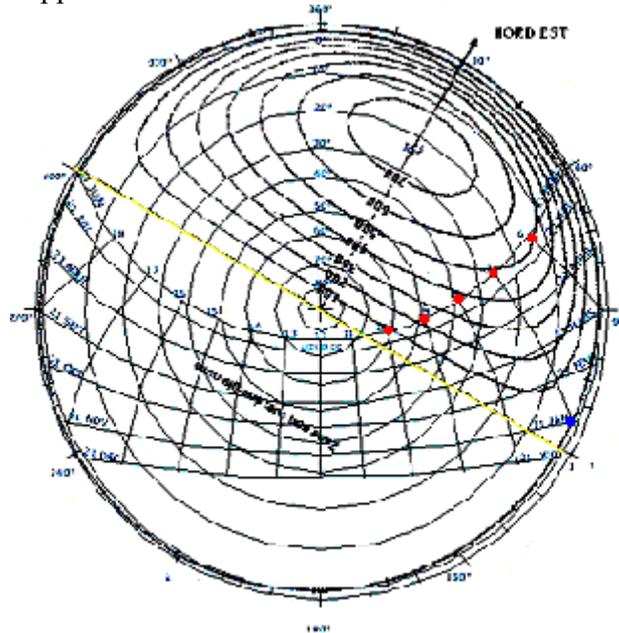


Figure 3-30 : Irradiances solaires sur une paroi orienter Nord-est (azimut mur = -150°)

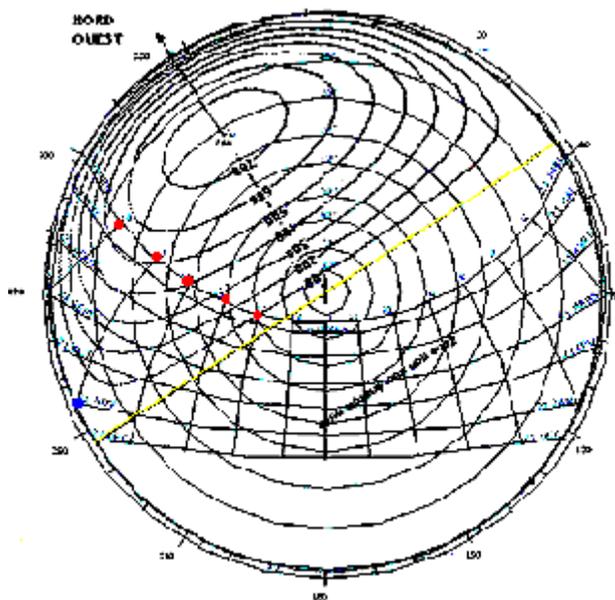


Figure 3-31 : Irradiances solaires sur une paroi verticale orienter Nord-ouest (azimut mur = 150°)

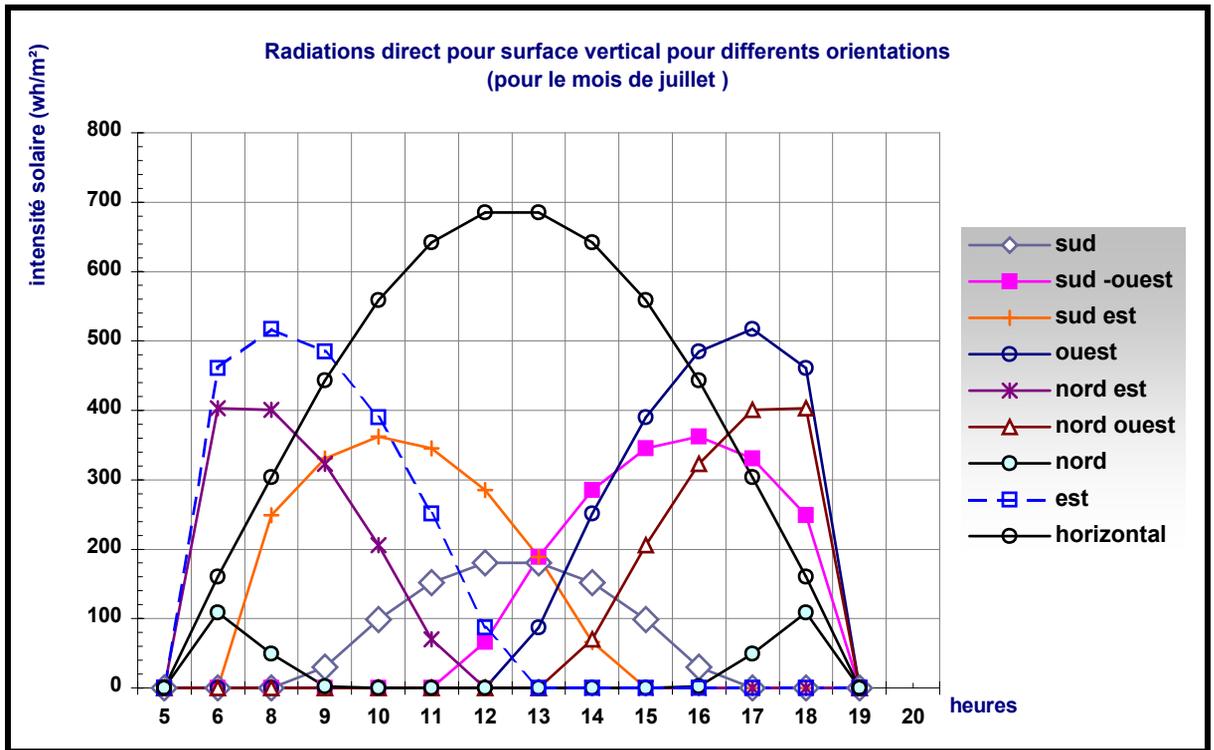


Figure 3- 32 : Radiations directes pour une surface verticale pour différentes orientations durant un mois chaud de l'année - JUILLET- pour la ville de constantine. Source : CAPDEROU.1988.

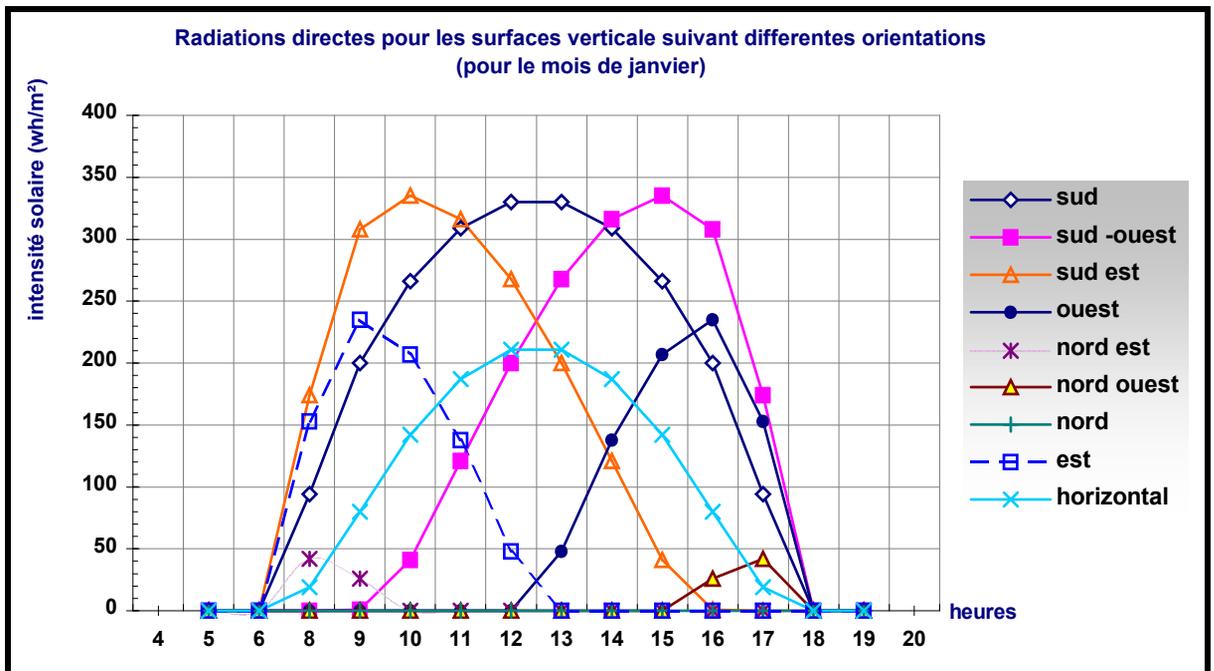


Figure 3-33 : radiations directes pour une surface verticale pour différentes orientations durant un mois froid de l'année -JANVIER- pour la ville de constantine. Source : CAPDEROU.1988.

3.6.5.4.2- Pour une paroi inclinée à 60° :

- Orientation sud :

-L'irradiation solaire est maximale durant les mois d'hiver jusqu'en mars/septembre, et elle est minimale durant la période estivale.

-Au solstice d'hiver : l'irradiation des parois commence dès le lever du soleil à 7h avec une valeur minimale de 80 wh/m², elle augmente de plus en plus chaque heure pour atteindre une valeur maximale égale à 1030 wh/m² à midi. Puis elle décroît de nouveau jusqu'au coucher (17h-80 wh/m²).

-Au solstice d'été : l'irradiation solaire commence à partir de 6h30 du matin avec une valeur minimale égale à 80 wh/m², puis elle s'accroît jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur maximale égale à 790 wh/m² à midi, puis elle décroît de nouveau pour atteindre la valeur minimale de 80 wh/m² à 17h30.

- Orientation Est / Ouest :

-L'irradiation solaire est maximale durant les mois d'été.

-Au solstice d'été : l'irradiation solaire d'une paroi Est s'accroît dès le lever à 5h pour atteindre une valeur maximale d'irradiation égale à 1030 wh/m² entre 8h et 9h30, puis elle décroît jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur minimale égale à 630 wh/m² à midi.

* Pour une paroi Ouest, l'irradiation maximale est atteinte entre 14h30 et 16h.

-Au solstice d'hiver : l'irradiation solaire de la paroi orientée Est est inférieure ou égale à 630 wh/m², qui est la valeur maximale atteinte entre 9h et 10 h. Au-delà de cet intervalle horaire, l'irradiation décroît jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur minimale égale à 320 wh/m² à midi.

- Pour une paroi OUEST, l'irradiation maximale est atteinte entre 14h et 15h.

3.7- CONCLUSION :

La protection face au soleil des espaces habités est essentielle au confort thermique. Pour bien intégrer ces protections au sein du bâtiment, il est nécessaire de comprendre les phénomènes géométriques et énergétiques de l'ensoleillement global.

La densité du flux incident du rayonnement solaire direct au niveau d'une enveloppe est fonction de l'orientation des différentes surfaces de l'enveloppe, de la latitude et de la déclinaison du soleil ce qui est confirmé par les conclusions de MAZRIA, 1980 et MARSH.A, 2003. D'après les diagrammes énergétiques, et les graphes de radiations solaires sur une surface verticale pour le mois le plus chaud et pour le mois le plus froid on a pu constater que :

1. L'orientation Nord-Sud est la plus favorable par rapport aux principes de l'architecture bioclimatique, car les apports solaires sont maximums en hiver durant le quel on doit favoriser le captage solaire par les différentes parois et vitrages pour l'usage en chauffage passif de la construction, tandis que les apports solaires sont minimaux en été période durant laquelle il faut réduire au maximum l'exposition directe aux rayons solaires.
2. Pour une paroi SUD, la durée de l'irradiation solaire directe en été est relativement courte, du fait que le développement d'un plan est de 180°, alors que la course du soleil dans le ciel égale les 240°.

3. Un plan Nord reçoit très peu de radiation solaire à cette latitude pour cause de dissymétrie entre les énergies solaires incidentes NORD et SUD.
4. L'orientation Est-ouest est très défavorable, car on enregistre deux périodes de forte irradiation solaire des parois en été : tôt dans la matinée et tard dans l'après midi, ce qui accentue la surchauffe de l'enveloppe de la construction. Tandis qu'en hiver, l'irradiation est beaucoup moins importante en dépit des besoins en captage solaire pour cette saison.
5. Les parois inclinées à 60° reçoivent plus d'irradiation solaire que des parois verticales, les parois verticales conviennent mieux que les parois inclinées ou horizontales qui emmagasinent plus de chaleur.

Pour cela, afin de concevoir correctement l'enveloppe d'un bâtiment, il est nécessaire de connaître à tout moment l'énergie solaire effectivement reçue par celle-ci.

Les avantages que l'on a à orienter un bâtiment de telle sorte que les fenêtres soient tournées vers le sud plutôt que vers l'EST ou l'OUEST; le gain maximum de chaleur dû à une radiation solaire transmise à travers le verre ou un mur opaque est à prendre en compte pour évaluer le degré de confort intérieur.

Effets combinés des éléments climatiques sur la conception de la construction

4.1- INTRODUCTION :

Le soleil envoie un rayonnement dont l'énergie peut être captée et utilisée pour chauffer l'intérieur de nos bâtiments.

On parle de solaire passif ou d'architecture bioclimatique lorsque l'énergie est captée puis utilisée grâce à une conception architecturale qui tient compte du climat.

Chaleur en hiver, fraîcheur en été,... sont les éléments du confort pour le bien être de l'individu.

L'apport et le rejet de la chaleur à travers les éléments de construction différemment constitués, orientés et localisés, expriment des périodicités directionnelles et quantitatives.

Cependant le contrôle climatique consiste donc à moduler ces types de transferts. A cet effet les éléments de la conception architecturale peuvent contribuer pour le confort.

La maîtrise le rôle de l'ensoleillement sur le bâtiment, la protection des ouvrants ainsi que le rôle de la ventilation facilite la réalisation d'une conception bioclimatique.

Le déficit thermique des constructions n'est pas dû seulement au type de matériau de construction utilisée, mais aussi à la forme urbaine, au microclimat et des éléments architecturaux.

Ce chapitre, consistera à une étude détaillée des éléments de la conception architecturale qui participent au confort intérieur, et pour comprendre ce phénomène il faut d'abord maîtriser le système de transfert de chaleur par rapport à l'enveloppe (opaque et transparente). Ce qui permettrait une meilleure utilisation des techniques constructives pour une meilleure protection du bâtiment contre les effets combinés des éléments climatiques (radiations solaires, vent..).

4.2- Transfert de chaleur et propriétés thermo physique des matériaux de constructions :

Le rôle principal des parois est de protéger le bâtiment des effets des conditions climatiques, en absorbant, filtrant ou repoussant la chaleur ou la fraîcheur¹. Pour cela les parois doivent maintenir une température intérieure stable et uniforme sous des variations climatiques externe. A cet effet un choix judicieux des matériaux de construction de grande qualité thermique, ainsi qu'une bonne orientation des ouvertures par rapport au soleil et au vent et une maîtrise du contrôle des flux de chaleur sont à prendre en considération.

Cette enveloppe est soumise à des sollicitations thermiques externe et interne, l'ambiance intérieure résulte de la réponse de l'enveloppe à ces sollicitations. Cette dernière varie en fonction des caractéristiques géométriques, physique et thermiques de la construction.

Pour cela les gains et les pertes de la chaleur sont les éléments déterminant d'une réponse thermique.

¹ - **ABDOUS** - Investigation Sur L'intégration Climatique De L'habitat Traditionnel En Région Aride Et Semi-Aride D'Algérie- cas de Constantine et Ouargla, thèse de doctorat d'état. Université de Constantine, 2003-2004.

4.2.1- Notion de chaleur et de température :

L'échange de chaleur dans le bâtiment s'effectue selon les quatre modes qui se produisent au niveau de l'enveloppe : La conduction, la convection, le rayonnement et l'évaporation ou condensation.

4.2.1.1- Conduction : il y a conduction lorsqu'un flux de chaleur traverse un matériau par contact de molécules les plus chaudes avec les molécules les plus froides.

4.2.1.2- Convection : il y a convection lorsque les molécules se déplacent d'un endroit à un autre et échangeant la chaleur qu'elles contiennent.

4.2.1.3-Rayonnement : est un échange de chaleur à travers l'espace par ondes électromagnétiques. Comme la lumière, les ondes radio, les rayons x, mais avec une longueur d'onde différente.

4.2.1.4-Evaporation ou condensation : ce phénomène implique un changement d'état (liquide ou gazeux) et produit une absorption ou une émission de chaleur.

L'énergie solaire qui frappe un mur sous forme de rayonnement est absorbée par la surface et le flux de chaleur qui en résulte traverse le matériau par conduction, et si le mur contient un vide d'air le flux de chaleur le traverse par convection et rayonnement, et poursuit son chemin par conduction pour finalement être transmis à l'intérieur par une convection et aux surfaces intérieures par rayonnement.²

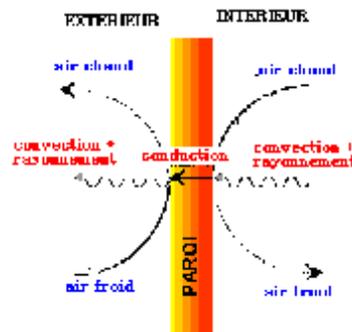


Figure 4-1 : mode de transfert de chaleur à travers une paroi.

Source : site Internet www.bilan-thermique.com (consulté mars 2004)

Le transfert de la chaleur à la surface d'un bâtiment :

Le transfert de chaleur entre la surface de la paroi et l'ambiance extérieure se fait par convection ou rayonnement ou les deux à la fois, Le coefficient de résistance de la surface de la paroi, est influencé par :

- l'émissivité de la surface « et qui dépend de la couleur et la rugosité de la surface »
- Le mouvement de l'air à la surface.
- L'orientation de la surface.

C'est en fonction de tout cela qu'on peut déduire qu'il y a gains ou pertes :

Les gains : il y a convection à partir de l'air extérieur ; les radiations solaires directes, diffuses ou réfléchies

Les pertes : rayonnement vers la voûte céleste, l'évaporation participe aux pertes de chaleur à partir de la surface humide..

² - H.RIETSHE, site Internet [en ligne] www.Bilan-thermique.com page consultée janvier 2005

4.2.2- Chaleur et température :

L'énergie qui intéresse l'architecte est la chaleur qui entre où sort d'un édifice sous l'action d'une différence de température.

-La chaleur est une forme d'énergie liée à un état d'agitation microscopique, s'exprime en quantité qui se transfère (s'exprime en kilocalorie ou la thermie) et lorsqu'un échange de chaleur provoque un changement de température on dit qu'il y a échange de chaleur sensible.

Lorsqu'un échange de chaleur provoque un changement d'état on dit qu'il y a échange de chaleur latente.

-La température est définie comme un indicateur de l'agitation moléculaire, c'est par une différence de température qu'un transfert de quantité de chaleur a lieu de la température la plus haute vers la température la plus basse. (S'exprime en degrés Celsius « °C » ou degrés Kelvin « °K »)

4.2.3- Les Propriétés Thermo physique des Matériaux de Construction :

Selon les conditions climatiques extérieures, les parois (opaques ou transparentes) influent sur la modification des conditions intérieures, cependant le choix du matériau dépend des trois principales propriétés thermiques à savoir ; l'absorption, la conduction de la chaleur par le matériau et la capacité thermique du matériau.

Ces derniers déterminent le bilan des échanges de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur.

4.2.3.1- absorption :

L'absorption est un quotient de l'énergie absorbée par une surface sur l'énergie totale incidente (ce quotient est toujours inférieur à un (1))

$$\text{Energie absorbée par une surface} / \text{Energie totale incidente} < 1$$

La couleur d'une surface donne une bonne indication de son facteur d'absorption par rapport aux rayonnements solaires. A cet effet les peintures noires et blanches possèdent des facteurs d'absorption différents. A ce titre une surface noire s'échauffe beaucoup plus qu'une surface blanche, pendant une exposition au soleil.

Le coefficient d'absorption pour différents matériaux et différentes couleurs est donné par le (tableau 4-1) et qui montre que les couleurs claires offrent une meilleure protection des parois au soleil.

4.2.3.2- Conduction thermique :

La conduction thermique est une propriété du matériau qui détermine le flux de chaleur par unité de temps et qui traverse une unité de surface du matériau soumis à un gradient de température égale à l'unité (K en $w/m^{\circ}C$)

L'inverse de la conductivité ($1/K$) est la résistance thermique.

4.2.3.3- Capacité calorifique :

La capacité calorifique (thermique) d'un élément de construction est une quantité de chaleur qui est nécessaire pour élever la température d'une unité de volume des murs ou d'une unité de surface de un (01) degré (wh/m^2)

Sous *régime variable* (un régime est variable quand les flux de chaleur sont variables, cette variabilité résulte des fluctuations suivantes : De la température extérieure (au cours de la journée, par exemple), de la température intérieure (ouverture ou fermeture des

fenêtres au cours de la journée), de la température de consigne intérieure , des apports internes (période de cuisson ou lavage), de l'ensoleillement (variation jour nuit et position du soleil, période de nébulosité passagère)) la capacité calorifique joue un rôle important dans la détermination des conditions intérieures.³

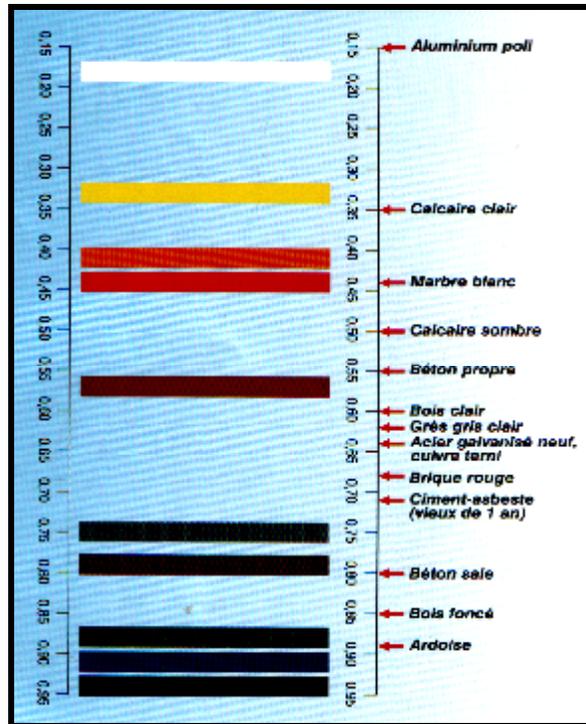


Tableau 4- 1 : Coefficient d’absorption pour différents matériaux et différentes couleurs. Source : ALAIN LIEBARD & ANDRE E HERDE, 2003.

4.2.4- Propriétés des éléments de la construction :

Les éléments de la construction interviennent directement dans le régime du processus d’échange thermique entre l’ambiance intérieure et celle de l’extérieure. La quantité du flux de chaleur qui passe à travers une paroi dépend de plusieurs propriétés thermiques et qui influent sur le degré de confort intérieur :

4.2.4.1- La conductance thermique (ou facteur de transmission):

Ce coefficient indique la propriété d’une paroi qui conduit la chaleur sur une surface (Mur ou toiture) unitaire et une unité de différence de température de l’air de part et d’autre de la paroi. Plus le coefficient est grand plus la chaleur transmise est grande.

$$K = \lambda / e = 1 / R \dots\dots\dots [1]$$

Ou : $\lambda =$ conductivité (w/m°C)
 $E =$ épaisseur de la paroi (m)
 $K =$ w/m² °c

³ - D. BERNSTEIN, J. P .CHAMPETIER, T. VIDAL -Anatomie De L’enveloppe Des Bâtiments – édition le Moniteur paris, 1997.page 26.

4.2.4.2- L'inertie thermique :

L'inertie thermique est une grandeur qui caractérise le retard et l'amortissement que subit une onde thermique avant d'atteindre l'intérieur. Elle est souvent représentée par la capacité thermique des matériaux constituant la paroi. L'inertie d'un matériau mesure sa capacité à accumuler de la chaleur et à différer la restitution après un certain temps (c'est le temps de déphasage)

4.2.4.3- Le facteur solaire :

Le facteur solaire désigne « la proportion de l'énergie transmise par une paroi à l'environnement quand la température de l'air des deux cotés de la paroi est constante » Selon (GIVONI, 1978), la combinaison des effets du rayonnement solaire peut s'exprimer au moyen de la température (**air soleil**) dont le concept a été introduit par MACKEY et WRIGHT.

$$T_s = T_0 + I a r_o \dots\dots\dots[2]$$

- Ts = température air soleil ou différence de température équivalente (°C)
- T0 = température extérieure
- I = intensité des radiations incidente (w/m²)
- a = facteur d'absorption de la paroi.
- ro = résistance de la surface externe (m².°c /w)

Le facteur solaire a une relation avec l'effet de l'absorption des radiations. tout cela varie avec l'intensité des radiations et qui dépendent de la position par rapport au soleil (orientation) « voir chapitre 3 & 5 »

4.2.4.4- Le déphasage :

Le déphasage exprime le temps entre le moment de l'amplitude de l'onde thermique extérieure et celui de l'onde thermique transmise. Le déphasage, tel qu'il est défini par M.EVANS, 1980 est le délai entre l'impact de la variation diurne de la température et du rayonnement solaire sur la surface externe et la variation de température résultante sur la surface interne.

Il n'existe pas de formule exacte pour l'estimation du déphasage car l'écoulement de la chaleur à travers une paroi ne dépend pas seulement des propriétés thermo physiques des matériaux, mais aussi des caractéristiques de la surface de la paroi.

Pour une paroi constituée par plusieurs composantes, l'estimation du déphasage est complexe et dépend de la constante : Q / U qui est la somme des temps de chaque composant.

$$Q / U = Q_1 / U_1 + Q_2 / U_2 + Q_3 / U_3 + \dots + Q_n / U_n \dots\dots\dots[3]$$

Ou :

- *- $Q_1 / U_1 = (r_0 + r_1 \cdot e_1 / 2) e_1 c_1 d_1$
- *- $Q_2 / U_2 = (r_0 + r_1 \cdot c_1 r_1 \cdot r_2 c_2 / 2) e_2 c_2 d_2$
- *- $Q_3 / U_3 = (r_0 + r_1 \cdot c_1 r_1 \cdot r_2 c_2 / 2) e_3 c_3 d_3$

Q : représente la capacité calorifique de la couche du matériau
 U : Flux de chaleur qui est transmis
 r₀ : résistance de la surface externe (m²C/w)
 r₁, r₂,... :résistivité de couches successive (m²C/w)
 e₁,e₂,...épaisseurs des couches(m)
 c₁,c₂,...chaleur spécifiques des couches(j/kg)
 d₁,d₂,...densité des matériaux (kg/m³)

.....d'après MARTIN EVANS, 1980

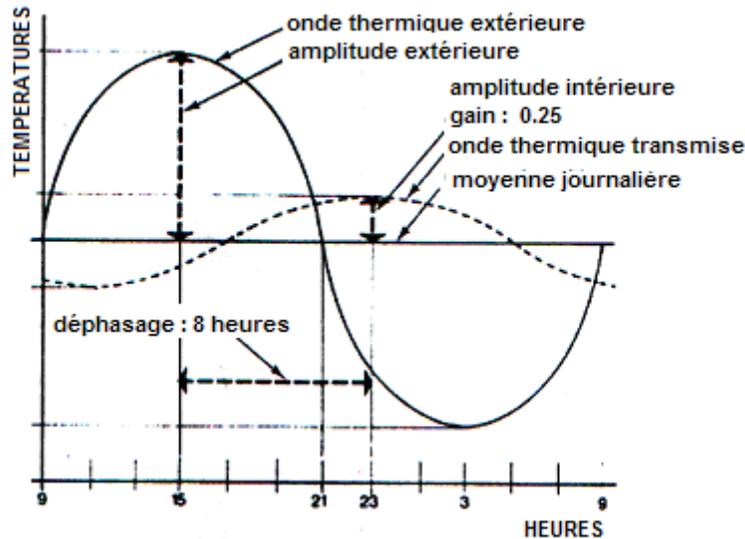


Figure 4- 2 : Définition du déphasage et de l'amplitude de l'onde incidente par une paroi homogène. Source : IZARD. J.L ET GUYOT.A, 1979.

4.2.4.5- L'admittance:

L'admittance est définie par M. EVANS, comme la vitesse à laquelle la surface peut absorber ou émettre de la chaleur, quand la température d'air est différente de la température de la surface.

Pour une paroi homogène dont l'épaisseur est inférieure à 75 mm, son admittance est à peu près égale à son coefficient de transmission thermique K, d'autre part, si son épaisseur dépasse 20mm, l'admittance devient constante et égalisée à peu près à $6\text{w/m}^2\text{°C}$ ⁽⁴⁾

Elle permet d'évaluer les températures intérieures, en fonction des gains de chaleur à travers les parois opaques ou transparentes, les gains interne, caractéristiques des matériaux et des conditions climatiques externe.

4.2.5- Comportement Thermique Des Parois :

Le confort thermique dans une habitation dépend principalement du comportement thermique de son enveloppe soumise aux contraintes climatiques. L'enveloppe extérieure du bâtiment est la première protection de l'intérieur contre la chaleur et le froid. On distingue deux types de parois opaque et transparente :

4.2.5.1- Les parois opaques :

L'énergie solaire tombant sur une surface sous forme de rayonnement, dont une partie chauffe la masse de l'élément considéré et une autre partie traverse la paroi et se transmet à l'intérieur par conduction. La quantité d'énergie transmise par une paroi est proportionnelle à sa conductance, cependant la chaleur absorbée est stockée dans le matériau qui dépend de sa capacité calorifique, et du déphasage qui influe sur le délai de transmission du flux de l'extérieur vers l'intérieur.

⁴ - **HAMOUDA.A** –Etude de la performance thermique et la consommation énergétique d'un bâtiment préfabriqué à Biskra- thèse de magistère. Université de Biskra, 1996.p.141

4.2.5.2- Les parois transparentes :

Les surfaces vitrées ont des propriétés de transmettre totalement le rayonnement visible, ce matériau est caractérisé par une résistance thermique faible, ce qui nous donne des surchauffes en été et des refroidissements en hiver.

4.2.6- Fonctions Thermiques Des Parois :

4.2.6.1- Fonctions d'échange des enveloppes : l'enveloppe échange perpétuellement des flux avec l'environnement extérieur et les ambiances intérieurs. Par conséquent l'enveloppe filtre et transforme les sollicitations.

4.2.6.2- Fonctions de captation : en plus des fonctions d'échange il y a celles des captations du rayonnement solaire. A cet effet on peut concevoir des enveloppes économes en énergie, qui contribuent à créer des ambiances thermiques confortables. Malgré que les effets de captation des parties opaques de l'enveloppe soient mineurs, celles des parties vitrées sont particulièrement importantes (figure 4-3).

Un vitrage classique permet, grâce à l'effet de serre, de récupérer plusieurs centaines de kWh Par an : 10 à 25 % des besoins de chauffage (selon l'orientation et les caractéristiques du Logement) sont apportés par l'énergie solaire pénétrant par les vitrages d'une habitation. Une conception bioclimatique permet d'optimiser cette part d'apports solaires en jouant sur les Orientations, la nature des vitrages et l'inertie thermique.

Mais d'autres techniques de chauffage solaire sont possibles comme la serre ou la véranda habitable, accolée ou intégrée à l'habitat ou des murs capteurs disposés en façade sud, La palette des solutions de chauffage solaire est donc étendue et permet de s'adapter à la Plupart des situations architecturales.

Stocker l'énergie dans la masse du bâtiment et amortir les variations de température se fond grâce à L'inertie thermique.

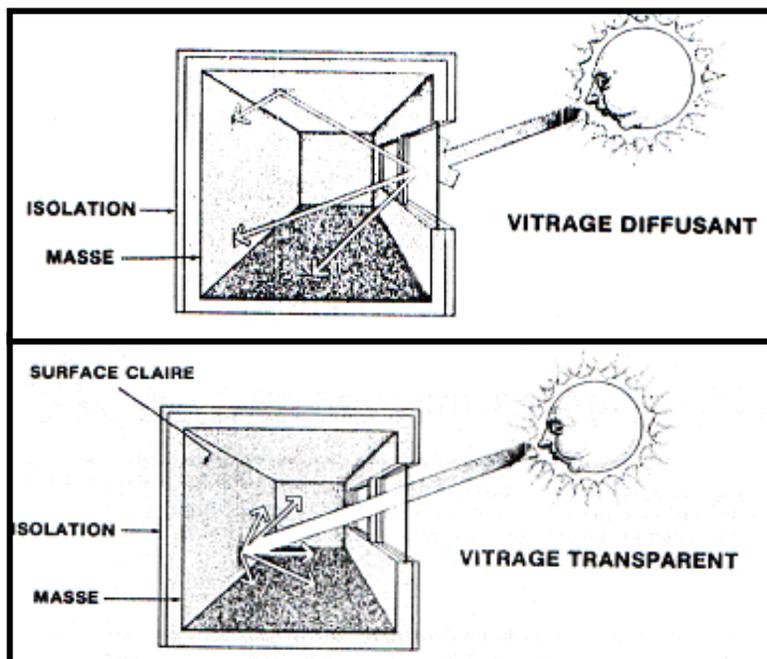


Figure 4- 3 : Apport solaire suivant la nature du vitrage, et stockage dans l'inertie des murs intérieurs. Source : MAZRIA. Ed,

4.3- ENSOLLEILEMENT :

Le confort est lié à l'accès au soleil à l'intérieur des espaces. Dans l'intérieur, les gains solaires sont utilisés pour assurer le chauffage passif, lorsque la radiation risque de provoquer une surchauffe, il devient nécessaire la protection du soleil et le rafraîchissement.

Les grandes portions de bâtiment exposées aux radiations solaires sont des façades ou les murs en pignon, percés ou non de baies, et les toitures ; Les balcons, loggias, brise soleil et autres éléments de la construction.

Les radiations solaires à l'intérieur des constructions sont désirables en hiver, mais elle reste indésirable en été. En générale le principe du contrôle solaire est de laisser l'énergie solaire à l'intérieur pendant l'hiver et l'intercepter en été (période chaude).

Le contrôle solaire est très important pour la conception thermique des constructions pour réaliser cela il faut connaître la géométrie solaire.

Plusieurs techniques sont développées pour comprendre la position du soleil durant la période de surchauffe (voir chapitre 3)

Les radiations solaires affectent le climat intérieur du bâtiment de deux manières :

1. Par les gains directs à travers les surfaces transparentes.
2. Par les gains indirects à travers les surfaces opaques extérieures.

Donc, le contrôle de l'ensevelissement résout trois (03) types de problèmes :

- a) Le choix de l'orientation de la construction (qui fait l'objet de cette étude)
- b) La couleur et la forme des surfaces extérieures.
- c) La protection (occultation) des fenêtres et des parois transparentes.

Ses problèmes constituent le contenu de ce chapitre.

4.3.1- Mode de transfert de la chaleur à travers l'enveloppe :

L'enveloppe est naturellement le lieu privilégié des relations entre espaces intérieurs et extérieurs. Au niveau énergétique l'interaction se traduit par l'ensevelissement disponible (course apparente du soleil et effet de masque), la pression du vent et l'humidité de l'air. Le concepteur devra donc, tout au long du processus de conception, gérer simultanément le rôle que joue la façade dans l'image de son bâtiment, et celui qu'elle assure comme élément de contrôle des échanges intérieurs/extérieurs.

Cette double fonction condamne le concepteur à manipuler des dispositifs architecturaux adaptés aux conditions climatiques et aux spécificités environnementales, mais participant activement à l'expression architecturale de son projet.

L'enveloppe d'un bâtiment est constituée de deux types de parois, les parois opaques et les parois transparentes. « Les murs et vitrages comme organes d'action, pas comme éléments statiques. »⁵

4.3.1.1- la paroi opaque :

Aux effets climatiques, on oppose une paroi qui permet la création d'une ambiance favorable. Lorsqu'une paroi sépare deux ambiances extérieure et intérieure de températures différentes, il se produit un flux de chaleur depuis l'ambiance la plus chaude à la plus froide.

⁵ - IZARD.J.L, GUYOT.A - Archi Bio. - Editions Parenthèses, Roquevaire 1979 p.

La paroi présente une inertie qui s'oppose à l'écoulement de ce flux de calories qui se produit par conduction.

L'inertie thermique de la paroi est proportionnelle à l'épaisseur de la paroi et inversement proportionnel au coefficient qui détermine la conductibilité thermique du matériau qui constitue la paroi.

Les surfaces interne et externe de la paroi s'opposent au flux de chaleur, pour traverser la paroi, les flux de chaleurs doivent passer du milieu gazeux au milieu solide, puis du milieu solide au milieu gazeux, ce qui se produit par le mécanisme de convection.

Lorsque le flux R d'énergie solaire, dont les valeurs de base en fonction de l'orientation des façades ont été défini au chapitre précédent, frappe une paroi opaque pleine, une partie seulement de cette énergie est absorbée par l'épiderme puis transmis, mais seulement pour partie, dans l'intérieur de la paroi (voir figure 4-4). L'autre partie est rendue au milieu extérieur sous forme de flux thermique. La composition interne de la paroi, traduite par son coefficient K , et la succession de ses résistances thermiques partielles, influe sur la manière dont se partage le flux R .⁶

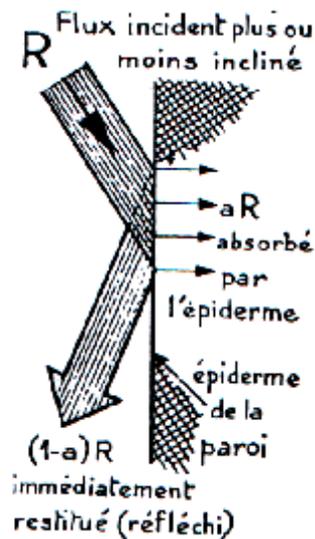


Figure 4- 4: Flux énergétique incident sur une paroi opaque.

Source : ANDRE BONHOMME, 1986.

4.3.1.1. A- Intensité du rayonnement solaire sur une paroi :

Le transfert de chaleur par rayonnement s'effectue sans aucun support matériel. Mais, une fois émises par le soleil, le rayonnement atteint la surface des corps et subit suivant leurs caractéristiques certaines transformations.

La densité du flux (W/m^2) qui atteint une paroi (densité du flux incident), provient de trois composantes : la composante directe, la composante diffuse et la composante réfléchi ou albédo :

4.3.1.1. A1- La composante directe :

Correspond au flux solaire qui atteint directement la paroi quand celle-ci est exposée au soleil. Elle dépend de la hauteur du soleil (*réduction atmosphérique*) et de l'angle d'exposition de la paroi au soleil à l'instant considéré « l'orientation ».

⁶ - ANDRE BONHOMME – *L'isolation Thermique Des Bâtiments*- conceptions des projets, ventilation, apport solaires, besoin de chaleur, économies d'énergie. Edition du moniteur. Paris, 1986. page.129

L'angle d'incidence caractérise l'incidence avec lequel le rayon solaire frappe la paroi. L'inclinaison, L'orientation de la paroi et la direction du rayon solaire permettent d'évaluer cet angle d'incidence. Plus le flux est normal à la paroi, plus il est important ⁷; plus il est rasant, plus il est faible (figure 4-5)

Il peut être nul par temps couvert; ce rayonnement est calculable en fonction de la transmittance τ de l'atmosphère (voir chapitre 3)

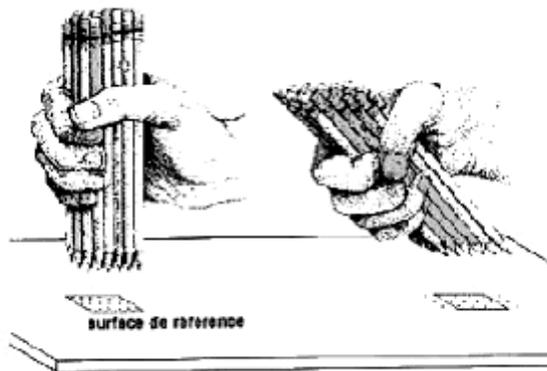


Figure 4-5 : Effet de l'angle d'incidence sur la densité du flux incident. Source : MAZRIA .Ed, 1981

4.3.1.1. A2- La composante diffuse :

Représente le flux en provenance du ciel. Elle est souvent évaluée en considérant que ce flux est isotrope; toutes les parties du ciel émettant le même rayonnement. Dans ce cas, seule l'inclinaison de la paroi pondère le flux diffus incident. Cette hypothèse d'isotropie du flux diffus est correcte pour un ciel couvert où le diffus prendrait le pas sur le direct. Elle l'est moins pour un ciel clair, où le flux diffus est nettement plus important dans la zone du ciel environnant le soleil. (Ce rayonnement n'est jamais nul) il représente environ 15 % du rayonnement direct.

4.3.1.1. A3- La composante réfléchie ou albédo:

Représente la partie du flux interceptée par la paroi suite aux réflexions solaires produite par l'environnement proche. En première approximation, cet environnement proche est représenté par un plan horizontal renvoyant une part du flux global incident (direct et diffus); la part réfléchie dépend de l'albédo, coefficient de réflexion solaire du plan récepteur considéré. A titre d'exemple on peut citer les réflectances suivantes (tableau 4-2) :

	réflectance
-Eau calme.....	0.05 à 0.18 selon la saison et l'altitude
-Sable.....	0.25 à 0.40
-Terre, gravier, prairie, sol cultivé...	0.10 à 0.30
-Neige.....	0.60 à 0.90

Tableau 4-2 : Coefficient de réflexion suivant le plan récepteur. Source : LAVIGNE P, 1998

Le rayonnement Global qui atteint un plan quelconque est la somme des trois rayonnements précédemment définis (figure 4-6). Dans des conditions courantes de « ciel clair » et d'environnement, on peut calculer, pour chaque latitude, chaque inclinaison et orientation de plan et chaque instant d'une journée la densité du flux global qui atteint un plan.

⁷- MAZRIA, Edouard : « Le guide de l'énergie solaire passive »-éditions Parenthèses, 1981 –page 19

$$G_{\alpha} = G_{ba} + G_{da} + G_{ra} \dots\dots\dots[4]$$

Ou :

G_a = radiation solaire globale sur une surface ayant une inclinaison *a*
G_{ba} = radiation solaire directe sur une surface ayant une inclinaison *a*
G_{da} = radiation solaire diffuse sur une surface ayant une inclinaison *a*
G_{ra} = radiation solaire réfléchie sur une surface ayant une inclinaison *a*

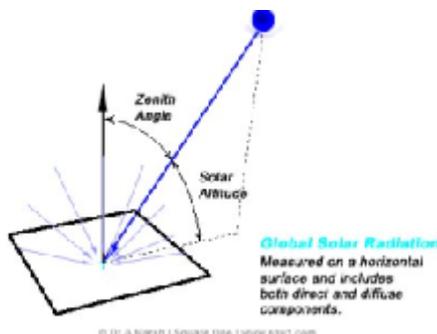


Figure 4-6 : Radiations solaires globales (somme des radiations solaires directes, diffuses et réfléchies.)
 Source : MARSH, A, 1980.

4.3.1.1. B- Que devient le flux solaire intercepté par une paroi ?

Le flux solaire incident sur une paroi est, à son tour, réfléchi, absorbé et transmis, suivant les caractéristiques de la surface de la paroi.

4.3.1.1. B1- Le flux solaire réfléchi : dépend du facteur de réflexion solaire de la surface ou du matériau de la paroi, son albédo. Il est essentiellement lié à la couleur ; le noir ne réfléchit pas les rayons solaires, le blanc réfléchit tout.

La texture du matériau ou de la surface de la paroi conditionne le type de réflexion (figure 4-7). Si la surface est mate, la réflexion est diffuse, identique dans toutes les directions. Si la surface est polie, la réflexion est spéculaire, dans une direction symétrique à la direction incidente.⁸



Figure 4-7: Types de réflexion selon texture. Source : MAZRIA, Ed, 1981.

4.3.1.1. B2- Le flux solaire absorbé : dépend du facteur d'absorption solaire de la surface (*a* ou *α*) Dans le cas d'une paroi opaque, le coefficient d'absorption vaut (1 - albédo) ; le noir absorbe tout le rayonnement solaire, le blanc n'absorbe rien. Le rayonnement solaire absorbé par la paroi se transforme en chaleur et élève la température de surface de la paroi.

La paroi échange alors avec son environnement suivant les trois modes fondamentaux d'échanges :

- Par conduction à l'intérieur de la paroi,
- Par convection avec l'air environnant
- Par rayonnement vers les parois voisines.

⁸ MAZRIA, Edouard : « Le guide de l'énergie solaire passive »-éditions Parenthèses , 1980–page20

4.3.1.1. B₃. Le flux solaire transmis ne se produit qu'avec des parois transparentes.

Les surfaces de la paroi présentent des résistances superficielles fonctions des propriétés de convection. Outre la qualité intrinsèque de ses surfaces, les couleurs externes joue un rôle significatif dans la modification du climat intérieur ; et comme elle à un effet sur la température externe de la surface. Le choix de la couleur est très important pour la conception thermique ; lorsque par exemple la surface extérieure est peinte en blanc, l'absorption est basse et la réflexion est élevée et la température ambiante extérieure à un effet thermique important que celle des radiations solaires. Par la couleur noire, l'effet des radiations est plus dominant. Les couleurs qui sont appliquées absorbent différemment le rayonnement direct les coefficients d'absorption (voir tableau 4-3) et (tableau 4-1)

Couleur	Coefficient d'abs option(a)
-Blanc.....	0.1 à 0.3
-Blanc crème, jaune, orange, rouge clair	0.3 à 0.5
-Rouge sombre, vert clair, bleu clair	0.5 à 0.7
-Brun, vert sombre, bleu vif	0.7 à 0.9
-Bleu ou vert très sombre vif	0.9 à 1

Tableau 4-3 : Les coefficients d'abs option suivant la couleur. Source : IZARD. J.L, 1993.

La transmission de la chaleur solaire à travers le mur croit proportionnellement au coefficient d'absorption de sa face externe. (Bansal NK, Garg SN, Kothari.S, 1992) ont pu démonter une différence de 1°C à 6°C de la température intérieure entre les couleurs claires et les couleurs sombres.(Givoni.B, Hoffman, 1991)reconnaissent que l'effet de l'absorption est plus ressenti dans la construction légère.

L'énergie solaire incidente sur un mur ou une toiture est absorbée sous forme de rayonnement, une partie de celui-ci chauffe la masse de l'élément considéré, alors que le reste traverse la paroi et se transmet à l'intérieur par conduction. La quantité d'énergie transmise par une paroi extérieure est proportionnelle à sa conductance.

La chaleur absorbée et stocker dans le matériau dépend de : l'inertie du matériau. Les parois extérieures permettent le contrôle de l'amplitude entre la température internes et externes (CROOME, 1990 ; IZARD. J. L, 1993; LAVIGNE, P 1994) c'est grâce à elle que la durée du transfert de chaleur est retardée, et elle agit donc sur l'amplitude et le déphasage. A été prouvé dans la recherche de (M.A.EBEN Saleh, 1990,Ouahrani, 1993 ; Ben Habib, 1994 ;) par des investigations récentes se rapportent à l'habitat du nord saharien et traitant le comportement thermique de deux maisons l'une traditionnelle, l'autre contemporaine, démontrent l'effet très positif de l'inertie thermique, pendant la saison froide et chaude. Ou la traditionnelle arrive à réduire considérablement les périodes de refroidissement et de chauffage. (SIDLER.O, 2003) a prouvé par ses investigations mener dans la bande méditerranéenne, que l'inertie est incontestablement un atout pour mieux gérer les apports de chaleur.

4.3.1.2- la paroi transparente :

De nombreux facteurs influencent les flux d'énergie qui traversent une paroi vitrée: La conception architecturale, l'albédo du sol, les menuiseries, etc. Mais, les principales différences entre des fenêtres avec les mêmes dimensions dans le même climat sont dues à leur orientation et à la nature du vitrage. Les parois vitrées constituent des sources considérables d'apport calorifique. Les effets thermiques d'une paroi vitrée dépendent de la présence ou l'absence d'une occultation et les

propriétés spectrales du verre. L'un des facteurs les plus importants affectant la consommation énergétique d'un bâtiment, est l'emplacement et la taille des fenêtres.

Parmi les propriétés caractérisant les matériaux transparents est la capacité de transmettre directement l'énergie rayonnante ; ceci concerne essentiellement les rayons de longue d'onde. L'énergie radiante, en tombant sur une surface transparente est divisée en trois composantes (Figure 4-8) :

1. Partie réfléchiée.
2. Partie absorbée (par convection et rayonnement)
3. Partie directement transmise.

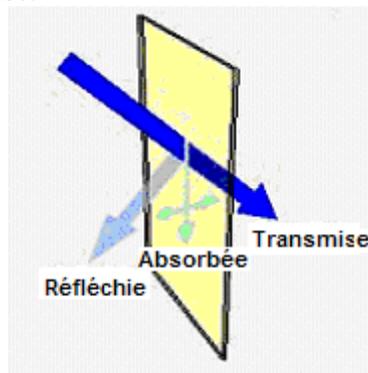


Figure 4-8 : Les trois composantes majeures de la lumière solaire quand elle tombe sur un vitrage. Source : A .MARSH, 1980.

- Une partie est réfléchiée immédiatement par le vitrage, n'ayant aucun effet thermique sur le matériau.
 - Une deuxième partie est directement transmise vers l'intérieur à travers le matériau.
- Ces deux proportions d'énergie, à savoir le pouvoir de réflexion et de transmission, dépendent de l'angle d'incidence du rayonnement solaire. Ainsi, la transmission décroît lorsque cet angle est supérieur à 45° tandis que la réflexion s'accroît lorsque l'angle est supérieur à 60° et inversement⁹.
- Une troisième partie est absorbée par le matériau qui s'échauffe et par conséquent, elle est dissipée vers l'intérieur par convection et par rayonnement de grande longueur d'onde, qui sera absorbée par les surfaces et les objets se trouvant à l'intérieur, ce qui a pour effet d'élever leur température, donc ils émettent à leur tour un rayonnement de grande longueur d'onde (*IR aux alentours de 10 Microns*) aux quels le verre est opaque, à cause de ses propriétés thermiques et spectrales (matériau sélectif) et c'est « l'effet de serre » : Tout le rayonnement solaire transmis par les vitrages est piégé dans la pièce contribuant ainsi à l'échauffement général de l'air et des parois.

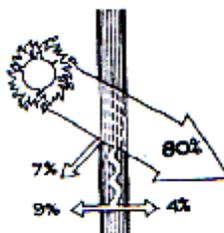


Figure 4-9 : Gain solaire à travers un simple vitrage.

Source : KONYA.A, 1980.

⁹ - GIVONI.B : « L'homme, l'architecture et le climat » – édition Le Moniteur-Paris-1978 -page250

Le problème dominant est donc relier à l'effet de ces vitrages sur les exigences fonctionnelles à l'intérieur des espaces vitrés, à savoir le problème de la transmission et du gain de chaleur par les vitrages (l'effet thermique) qui se fait sentir immédiatement sans le moindre déphasage, et qui est un grand nombre de fois plus élevées que celui apporté par une surface égale de mur ordinaire opaque.

En effet, selon des expériences conduites en Afrique du Sud par Van STRAATEN¹⁰, le flux de chaleur maximal derrière un vitrage Ouest était de 65W/m², tandis que pour un mur léger faiblement isolé le flux était de 8W/m², pour un mur mieux isolé il était de 4,6W/m² et pour un mur en brique de 23cm il était de 4,3W/m².

Les quantités d'irradiation solaire les plus élevées se produisent les jours chauds quand toutes les surfaces environnantes externes au bâtiment sont aussi chauffées par le Soleil. Selon la configuration géométrique du bâtiment et l'emplacement de la fenêtre, il se peut que le vitrage reçoive plus d'énergie radiante sur grande longueur d'onde provenant de ces surfaces externes que celles émises dans sa direction.

Le problème solaire s'intègre ainsi dans les problèmes thermiques de confort et nous incite à faire appelle à des systèmes de contrôle solaire pour y palier.

Les trois composantes sont déterminées par :

- L'angle d'incidence avec la surface (voir chapitre3.)
- Les propriétés spectrales du verre. (Où le tableau 4-4 donne les valeurs des gains suivant le type de verres.)

D'après GIVONI.B (1980) L'effet thermique des matériaux de constructions transparentes peut être considéré de deux points de vue ; le gain de chaleur effectué à l'intérieur (Tableau 4-4), l'estimation des charges de refroidissement dans le bâtiment climatisé.

Type de verres	Transmission directe	Gain du a rayonnement absorbé	total
- verre clair	74	9	83
- verre à fenêtre	85	3	88
- verre absorbant (lumière chaleur)	20	25	45
- verre gris	30	30	60
- verre laqué	38	17	55

Tableau 4-4 : Gain de chaleur par divers type de verre en pourcentage de rayonnement, avec une incidence normale. Source GIVONI. B, 1978.

L'occultation du vitrage affecte la quantité du rayonnement incident et modifie le flux de chaleur pénétrant à l'intérieur et les températures intérieures. Et qui dépend de la position de l'occultation par rapport au vitrage (extérieure ou intérieures)

IZARD. J.L, 1993 affirme que l'augmentation de la surface vitrée a toujours pour effet une augmentation de la température interne diurne.

MAZRIA, 1980 affirme que les fenêtres sont des sources du déficit thermique important, et que l'exposition optimale pour le captage solaire est le plein sud. Mais des variations vers l'Est et l'Ouest qui ne dépasse pas 30°. (Figure 4-10)

De plus la meilleure orientation requise par les fenêtres d'un bâtiment est celle qui reçoit la quantité maximale de rayonnement solaire en hiver et la quantité minimale en été.

¹⁰ GIVONI.B : « L'homme, l'architecture et le climat » – édition Le Moniteur-Paris-1978 – page253

Les vitrages laissent passer les rayons solaires d'autant mieux qu'ils frappent le verre avec un faible angle d'incidence (Figure 4-11).

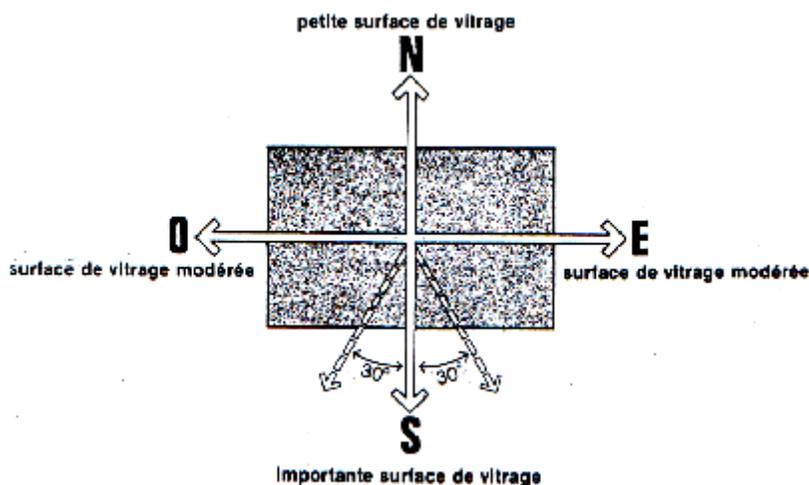


Figure 4-10 : Exposition optimale pour le captage de soleil. Source : MAZRIA, 1980.

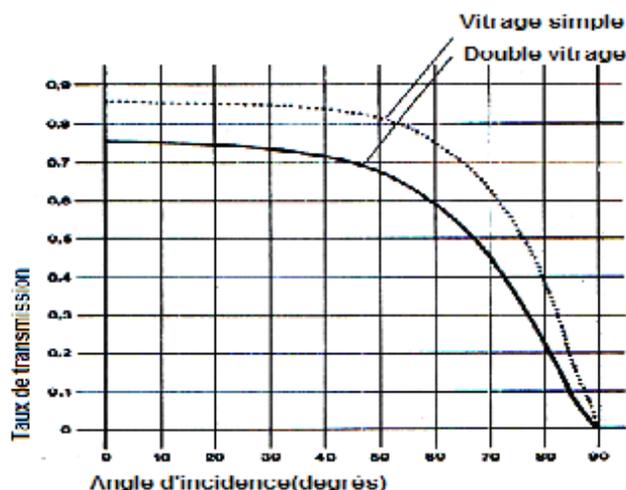


Figure 4-11 : Le taux de transmission décline rapidement lorsque la valeur de l'angle d'incidence dépasse 50°. Source : MAZRIA.ED, 1980.

Aussi on peut constater que l'angle d'incidence est fonction de l'orientation de la paroi ou :

- En hiver, le soleil même à midi est bas dans le ciel. Les rayons frappent la vitre avec un faible angle d'incidence et traversent facilement la vitre. Un vitrage placé côté sud récupérera facilement cette énergie solaire. L'apport de chaleur est désirable.

- En été, le soleil à midi est très haut dans le ciel. Les rayons qui frappent une vitre côté sud auront un fort angle d'incidence et seront presque intégralement renvoyés vers l'extérieur. Relativement peu de chaleur pénètre dans le logement.

- En été, un vitrage placé côté OUEST verra le soleil déjà bas dans le ciel. Ses rayons encore brûlants ont un faible angle d'incidence et pénètrent facilement dans la pièce. Cet apport de chaleur est indésirable.¹¹

¹¹ - [Ideesmaison.com](http://www.idealmaison.com) ® 1998,2003 sites Internet [en ligne] www.idealmaison.com page consulter septembre 2004.

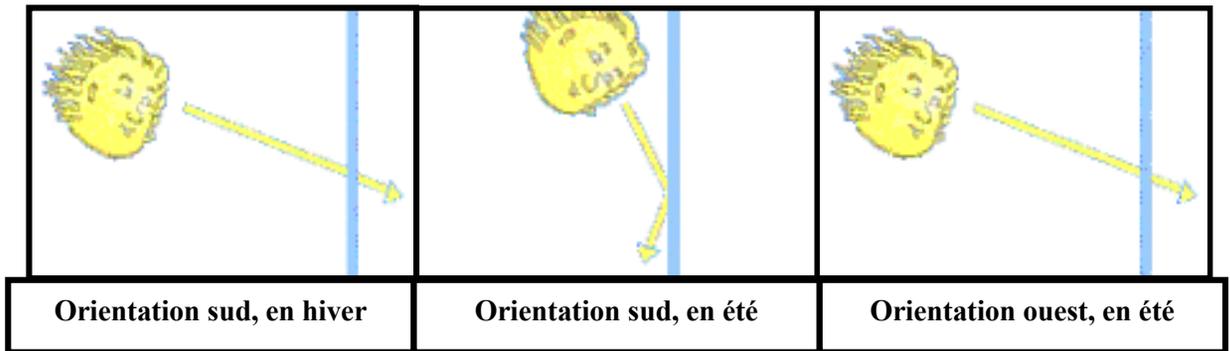


Figure 4-12 : Angle d'incidence du rayonnement solaire selon l'orientation. Source : Ideesmaison, 2003

On ne se rend pas toujours compte, cependant, que la réflexion provenant d'une surface en verre varie beaucoup selon l'angle d'incidence, « c'est-à-dire l'angle formé entre les rayons de la lumière et une ligne perpendiculaire à la surface. » La figure (4-11) et la figure (4-13) montrent la variation de la réflexion, de l'absorption et de la transmission de la radiation solaire par une simple paroi de verre ordinaire. Les valeurs, à midi, des angles d'incidence pour un mur sud à Ottawa sont indiqués à la (figure 4-13). Elles montrent que la transmission aura une valeur maximum quotidienne de 70% de la radiation incidente au milieu de l'été et que cette radiation augmentera jusqu'à 85% à l'équinoxe et atteindra un maximum de 87% à midi, au milieu de l'hiver.

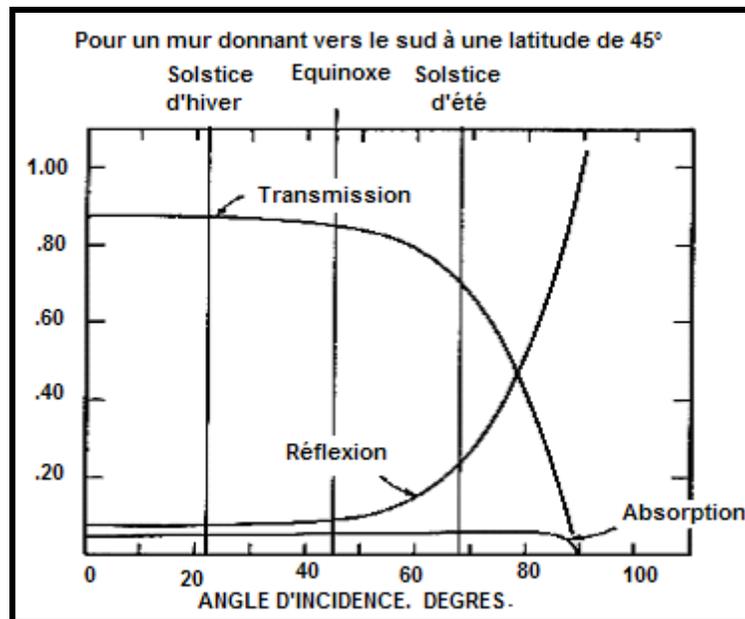


Figure 4-13: L'absorption, la réflexion et la transmission de la radiation solaire par une simple paroi de verre ordinaire. Source : C.R. CROCKER ([www.cdb-126F-Influence de l'orientation sur les parements extérieur.htm](http://www.cdb-126F-Influence%20de%20l'orientation%20sur%20les%20parements%20ext%C3%A9rieur.htm))

Les courbes de la figure (4-14) représentent les valeurs d'irradiation solaire par jour clair pour différente orientation et qui montre d'après MAZRIA que l'emplacement des fenêtres est fonction des exigences d'éclairage et de chauffage de chaque espace.

Les formes et les dimensions des protections solaires requises pour protéger-les Façades, et notamment les baies vitrées, contre le rayonnement solaire dépendent de leur orientation. Dans le climat chaud et sec, où le soleil est souvent présent dans le ciel, c'est l'orientation qui définit la

quantité d'énergie solaire incidente sur une paroi verticale. Et cette quantité d'énergie est la principale cause de l'exigence de Protection solaire.¹²

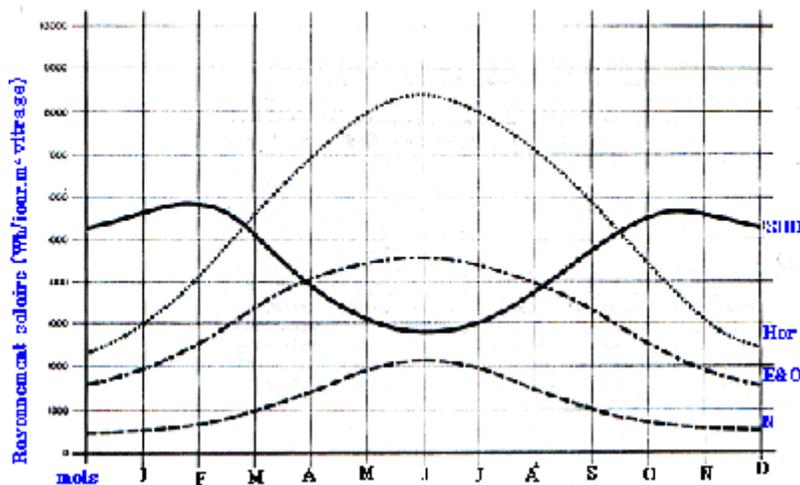


Figure 4-14 : Comparaison entre fenêtres diversement orientées.

Source : MAZRIA. Ed, 1980.

4.3.2- Nécessite Du Contrôle De L'enseillement :

L'enseillement est responsable de divers effets sur tout bâtiment, il peut être considéré comme :

- Source d'énergie gratuite en hiver.
- Source d'énergie cause de l'inconfort thermique en été.
- Source lumineuse directe pouvant par pénétration provoquer dans les locaux un inconfort visuel.
- Source lumineuse mobile, responsable des effets cinétique.
- Source de lumière responsable de la lumière du ciel qui devrait être source de lumière pour les espaces construits.¹³

Contrôler l'enseillement, c'est se donner un minimum de moyens pour vérifier que les dessins en cours correspondent bien à un effet voulu, cela est valable pour toutes les formes (auvents, balcons, décrochements, loggias, patios.)

Et pour tout écran solaire (lames horizontales, lames verticales, boîte à œufs, claustras.....)

Ce qui n'est pas appliqué au niveau de l'échantillon d'étude ou les façades de bâtiments présente un dessin mais qui n'ont aucun rôle sur la protection de cette façade et que le même dessin se retrouve pour les différentes orientations.

4.4- OUVERTURES ET PROTECTIONS:

Les ouvertures sont des lieux de passage de la lumière et de vues de paysages environnants, elles sont les lieux privilégiés pour les échanges de chaleur ; du moment qu'elles assurent à la fois, un apport de rayonnement solaire en hiver et préservent de surchauffement en été.

¹² - MAZRIA.Ed: « Le guide de l'énergie solaire passive »-éditions Parenthèses -1980 page26

¹³ - J.L.IZARD -Maîtrise Des Ambiances -(contrôle de l'enseillement et de la lumière)-1994

Leurs tailles et leur orientation sont parmi les facteurs les plus importants qui affectent la performance thermique du bâtiment ainsi que la consommation énergétique. Ed. MAZRIA (1981) propose pour les climats dont la température moyenne varie entre +2°C et +7 °C (le cas de la ville de Constantine) une surface de 0.11 à 0.25 m² de vitrage sud par m² de surface de plancher.

D'autre part IZARD.J. L affirme que l'augmentation de la surface vitrée a toujours pour effet une augmentation de la température interne diurne¹⁴ ; illustrée par le graphe dans la (figure 4-15) Des fenêtres disposées sans tenir compte de la quantité de chaleur qu'elle peut recevoir du soleil, sont des sources d'un déficit thermique important. Donc la meilleure orientation requise pour des fenêtres d'un bâtiment est celle qui reçoit :

- La quantité maximale de rayonnement solaire en hiver.
- La quantité minimale en été.

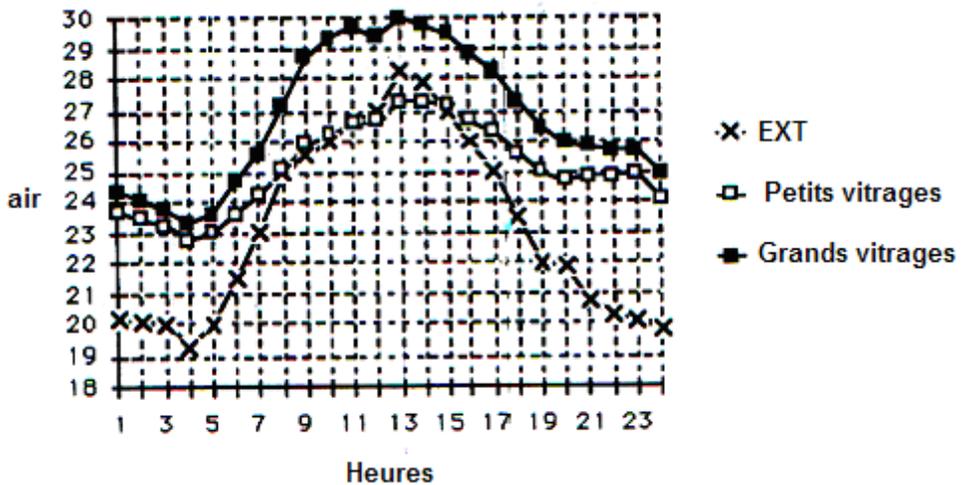


Figure 4- 15 : Effet de la dimension du vitrage sur les températures interne.

Source : IZARD.J.L, 1993.

La façade sud reçoit près de trois fois plus de rayonnement solaire en hiver que n'importe quelle autre façade, et en été elle reçoit moins. (Voir figure 5-11) sur les faces EST et OUEST du bâtiment, MAZRIA recommande de limiter la taille des fenêtres. Il existe de nombreuses façons de concevoir le bâtiment pour contrôler les rayons solaires. A la plus petite échelle, les systèmes de contrôle solaire peuvent être constitués de fines lames assemblées dans un écran de fenêtre. A plus grande échelle, les occultations peuvent constituer d'importants éléments architecturaux dans le dessin de la façade comme les pilastres, balcons, péristyles, brise-soleil, consoles et toutes sortes d'éléments structurants. Pour améliorer l'efficacité des fenêtres, un facteur important, peut leur être associé; c'est le système de protection convenable.

4.4.1- Système de protection solaire :

Un brise-soleil est un dispositif dont le rôle est d'éviter que tout ou seulement une partie du rayonnement solaire ne pénètre à travers une ouverture¹⁵.

¹⁴ - IZARD.J.L – Architecture d'été – construire pour le confort d'été. EDISUD, Aix-en-provence, 1993. page

¹⁵- A.CHATELET, P.FERNANDEZ et P.LAVIGNE : « L'architecture Climatique : Une Contribution Au Développement Durable, tome2 : concepts et dispositifs », Edition EDISUD-Aix-en-Provence 1998 –page37-

4.4.1.1- Fonction des fenêtres :

1. Contrôler les apports de chaleur de manière constante ou sélective (protection en période de sur échauffement et pénétration des rayons en périodes de sous- échauffement)
2. Influencer sur l'éclairage naturel, l'éblouissement, la vue et la ventilation.
3. Affecter la quantité de rayonnement incident et modifier le flux de chaleur pénétrant à l'intérieur ainsi que la température intérieure.

Les premiers travaux sur le développement de méthodes simples de conception en vue du contrôle solaire ont eu pour auteurs les frères OLGYAY à l'université de Princeton¹⁶. On peut déduire plusieurs types d'occultation.

4.4.1.2- Les Stratégies D'ombrage :

L'usage de contrôles solaires appropriés est très important. La projection d'une ombre adéquate réduit ce qui est un gaspillage inutile d'énergie utilisée pour refroidir un espace à grandes surfaces de vitrage sans protection. La figure (4-19) indique quatre stratégies fondamentales de la projection d'une ombre. Il est essentiel de comprendre les avantages et inconvénients de chacun et les appliquer correctement.

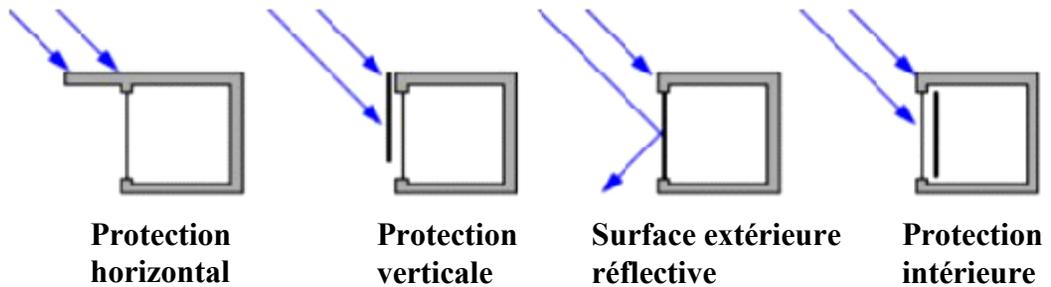


Figure 4- 16 : stratégies d'ombre. Source : MARSH. A, 1981.

4.4.1.3- Forme et dimensionnement d'une protection solaire selon l'orientation :

Les formes et les dimensions des protections solaires requises pour protéger-les Façades, et notamment les baies vitrées, contre le rayonnement solaire dépendent de leur orientation.

4.4.1.3.1- Les angles d'ombrages :

Quand on essaye d'ombrer une fenêtre, l'azimut et l'altitude absolus du Soleil ne sont pas aussi important que les angles d'ombre horizontaux d'ombre **HSA** « horizontal shadow angle » et verticaux d'ombre **VSA** « vertical shadow angle » relatifs au plan de la fenêtre. Ceux-ci peuvent être calculés pour n'importe quelle heure si l'azimut et l'altitude du Soleil sont connus.

1. L'angle horizontal d'ombre: (Horizontal Shadow angle) est l'angle horizontal entre la normale de la vitre de la fenêtre ou du mur et l'azimut courant du soleil. La normale sur une surface du mur- son orientation. (figure 4-20)

$$\text{HSA} = \text{azimut} - \text{orientation} \dots\dots\dots[5]$$

¹⁶ - GIVONI.B : « L'homme, L'architecture Et Le Climat » – édition Le Moniteur-Paris-1978 – Page 219 -

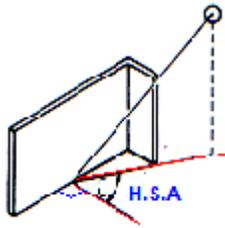


Figure 4-17: Horizontal shadow angle (HSA).
Source: S. SOCKOLAY, 1979.

2. L'angle vertical d'ombre: (vertical Shadow angle) est l'angle vertical entre la normale de la vitre de la fenêtre ou du mur et la hauteur solaire. il est décrit par la figure (4-21) et donné par la formule:

$$\text{VSA} = \text{arc tan} (\tan (\text{altitude}) / \text{Cos}(\text{HSA}))^{17} \dots\dots\dots[6]$$

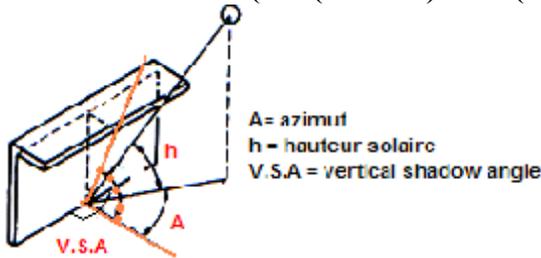
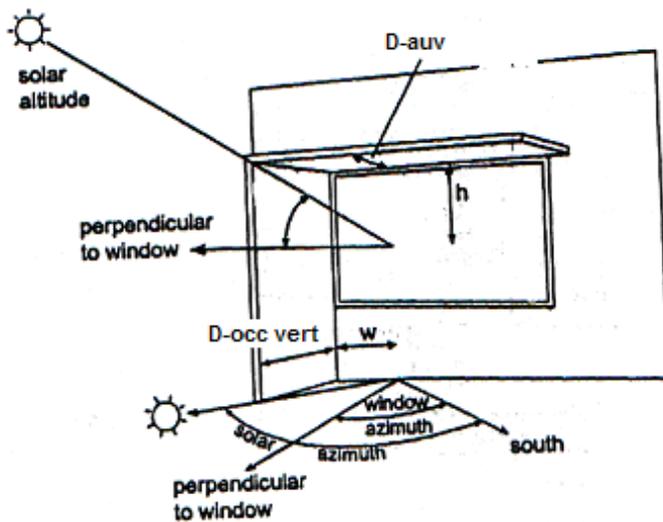


Figure 4- 18: Vertical shadow angle (VSA). Source: S. SOCKOLAY, 1979.

4.4.1.3.2- Dimensions des protections :



h : hauteur de l'ombre portée par l'avent
W : largeur de l'ombre portée par l'élément vertical
D-ouv : profondeur d'une occultation horizontale (auvent)
D-occ vert: largeur d'une occultation verticale

Figure 4-19 : Profondeur et largeur d'une occultation.

Source: DAVID BALLAST, 1988

Si la valeur de la hauteur fait référence à la distance verticale entre le brise-soleil et le support de la fenêtre(figure 4-22), alors la profondeur de l'occultation et sa largeur de chaque coté de la fenêtre peuvent être déterminées en utilisant les relations trigonométriques simples

$$\text{Profondeur} = \text{hauteur} / \tan(\text{VSA}) \dots\dots\dots[7]$$

$$\text{Largeur} = \text{profondeur} \times \tan (\text{HSA}) \dots\dots\dots[8]$$

¹⁷- « Shading design », [En ligne] www.sql.com .(page consulté le décembre 2004)

4.4.2- Systèmes d'occultation naturelle :

Par la végétation (arbre à feuille caduque, plantes autour du bâtiment) on peut se protéger des rayonnements et leur feuillage persistant interceptent le rayonnement solaire d'atteindre les façades. De plus elle se comporte comme humidificateur réduisant la température de l'air par évaporation. En hiver, ce type d'arbre perd leur feuillage et laisse pénétrer le rayonnement solaire.(voir figure 4-20 et figure 4-21)



Figure 4-20 : Occultation naturelle par la végétation.

Source : GUYOT. M. A, 2003 (www.arbreurbain.com)



Figure 4-21 : Traitement de la façade OUEST.

Source : GUYOT. M. A, 2003 (www.arbreurbain.com)

Une végétation Grimpante offre une isolation thermique en hiver et en été comme ; Figuier grimpant, Fusain grimpant, Lierre commun des bois, Lierre des Canaries¹⁸.

Des résultats de recherches par des investigations faite dans différentes régions au Etat Unie par Deering ,1956 –Leachelt et Williams,1976 – Dewwalle, 1978- et Parker, 1981 indiquent que l'ombre créer par l'arbre peut réduire l'intensité solaire tout en créant un rafraîchissement de la structure durant la période de surchauffe.¹⁹

4.4.3- Systèmes d'occultation mobile extérieur ou intérieur :

Le but de la mise en place d'une protection mobile est de réduire la pénétration solaire au moment ou le rayonnement est maximal. Ce sont des moyens passifs qui assurent la protection des fenêtres du rayonnement solaire suivant divers orientations. Bien entendu, chaque orientation à ces propres besoins de contrôler les apports solaires, ces systèmes d'occultation peuvent être employés soit à l'intérieur ou à l'extérieur, peuvent être réglable ou fixe.

Théoriquement la protection mobile externe est une formule excellente, dans la mesure ou elle permet un réglage manuel pour intercepter le rayonnement solaire indésirable à l'extérieur du vitrage. Une partie est réfléchié vers l'extérieur, toute fois, on peut diminuer les déperditions en protégeant les fenêtres grâce à l'épaisseur des façades.

¹⁸ - GUYOT. M .A/ : « l'arbre urbain, un composant de confort pour l'architecture et l'espace urbain public » extrait d'intervention du cours in site Internet [EN LIGNE] www.arbreurbain.com. (page consulter le 12 janvier 2005)

¹⁹ - E.Gregory McPherson – [The Effects Of Orientation And Shading From Trees On The Inside And Outside Temperatures Of Model Homes-](#) Utah State University, UMC 40 Logan, UT84322 (page 369,370,371,372 et 373)

Ces volets sont généralement ouverts le matin et l'après midi, mais fermé en mi-journée. Lorsque l'occultation est intérieure, sous forme de stores vénitiens, stores à enroulement. Ou rideau, elles sont moins efficaces que les protections externes, du moment que le rayonnement solaire est transmis à travers la vitre avant interception. Le rayonnement absorbé par le vitrage et restitué vers l'intérieur, cette chaleur reste à l'intérieur de la pièce du fait de l'opacité du vitrage qui empêche toute dissipation de la chaleur (figure 4-23).

L'efficacité de l'occultation interne est déterminée par son facteur de réflexion (couleur) Des recherches effectuées par le laboratoire de recherche de l'ASHRAE²⁰ de Cleveland (USA), consistent à mesurer les facteurs d'occultation de différentes protections selon leur position par rapport au vitrage et de leur couleur (facteur de réflexion) a prouvé l'importance de la position, où la protection extérieure reste plu efficace. B. GIVONI (1980) établit les conclusions suivantes figure 4-22 :

- Les systèmes extérieurs sont beaucoup plus efficaces que les systèmes interne.
- Les systèmes externes, l'efficacité augmente lorsque la couleur est plus sombre.
- Pour le système intérieur, l'efficacité augmente lorsque la couleur est plus claire.
- Avec une occultation inefficace, tel qu'un système d'occultation intérieur de couleur sombre, il faut s'attendre à ce que 75à 80 % du soleil incident pénètre dans le bâtiment.

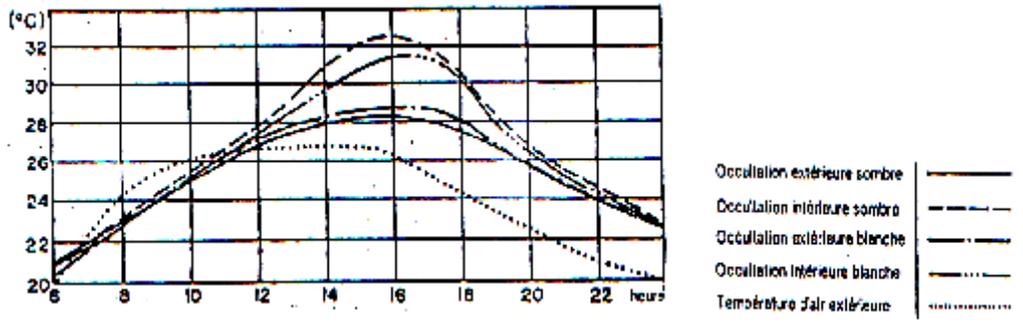


Figure 4-22 : Régimes de températures intérieures pour différents systèmes d'occultation.

Source : GIVONI. B, 1978.

La (figure 4-23) montre que les systèmes de protection externe sont plus efficaces que celle de l'intérieure. Les facteurs solaires des protections externes sont inférieurs que celle de l'intérieure.²¹ Le (tableau 4-5) donne le facteur solaire des vitrages équipé de protection mobile (d'après Izard 1993)

Position par rapport au vitrage	Vitrage simple		Vitrage double		
	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Entre les deux vitres	Intérieur
Volet battant ou roulant	5 à 10		5 à 10	-	-
Store à lames minces	10 à 15	45 à 75	5 à 10	30 à 45	45 à 80
Store de toile opaque	5 à 15	35 à 65	5 à 10	20 à 45	45 à 75
Store de toile légèrement transparente	15 à 25	35 à 65	10 à 20	25 à 45	40 à 75
Store de toile assez transparente	20 à 30	40 à 70	15 à 25	30 à 50	40 à 75

Tableau 4-5 : Facteurs solaires des différents types de protections mobiles. Source : J.L IZARD, 1993.

²⁰ GIVONI.B : « L'homme, l'architecture et le climat » – édition Le Moniteur-Paris-1978-page 257 -

²¹ - ALAIN LIEBARD et ANDRE DE HERDE – Guide De L'architecture Bioclimatique – cours fondamental : tome3 construire en climats chauds. Edition ; LEARNET Paris, 2003.page 138.

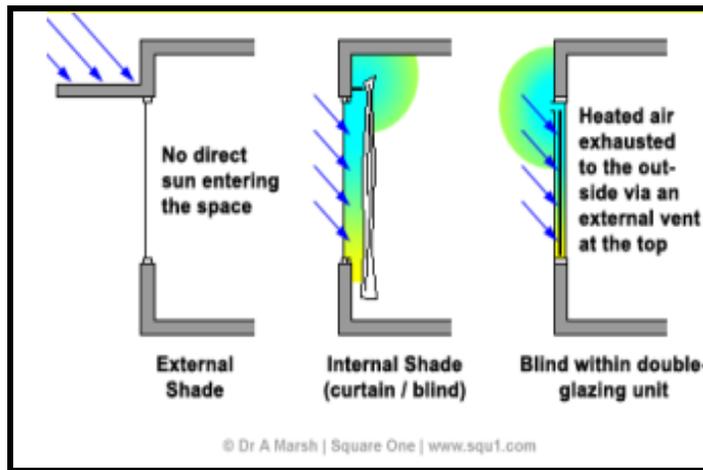


Figure 4- 23: L’impact de la position d’un brise-soleil Par rapport au vitrage sur le flux de chaleur interne. Source : MARSH. A (www.squ1.com)

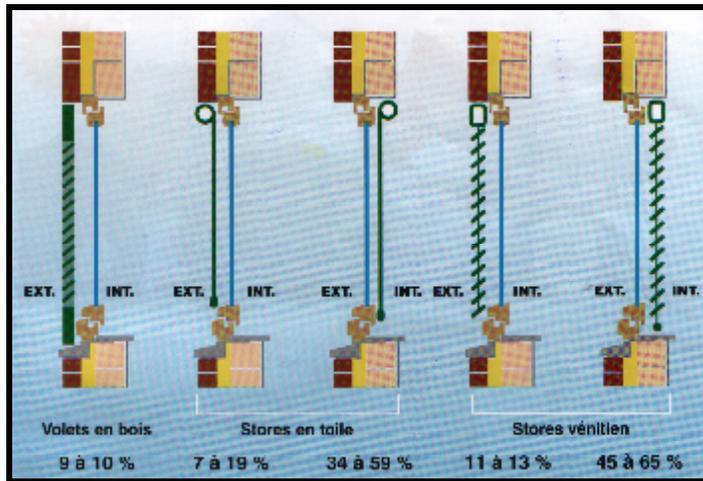


Figure 4-24 : Facteurs solaires de différentes protections solaires pour un vitrage simple. Source : ALAIN LIEBARD & ANDRE DE HERDE, 2003.

4.4.3.1- Systèmes d’occultation fixes :

Constituées par des masques architecturaux, tels que Balcon, loggia, saillis, refends, débord de toitures ou des brises soleil (horizontaux, verticaux ou combinaison des deux). D’après J. L IZARD, 1993 cet effet peut être mesuré au moyen du facteur de transmission Ft donné par la formule suivante :

$$F_t = \text{énergie incidente avec masque} / \text{énergie incidente sans masque} \dots\dots\dots[9]$$

4.4.3.1. A- les occultations horizontales ou auvents :

C’est le dispositif d’occultation le plus efficace pour ombrager un vitrage vertical orienté sud, sud-est et sud-ouest. Un masque horizontal provoque une ombre à un rayonnement fonction de son azimut (a) et de sa hauteur (h) par rapport à la normale de l’ouverture (figure 4-28)

Pour une portion d'ombre donnée n%, il existe pour chaque masque une relation $h=f(a)$ symétrique par rapport à la normale au plan de l'ouverture.

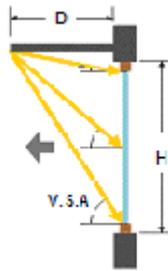


Figure 4-25 : Protection horizontale pour une orientation sud.

La longueur optimale hors façade de porte à faux dépend de la hauteur de la fenêtre à protéger. MAZRIA, Ed, 1981 propose la formule suivante qui constitue une méthode rapide pour déterminer la longueur d'un auvent fixe :

$$\text{Longueur auvent} = \text{hauteur fenêtre} / F \dots\dots\dots[10]$$

Ou F est le facteur dépend de la latitude du lieu (tableau 5-6).

Latitude nord	Facteur F
28°	5.6 – 11.1
32°	4.0 – 6.3
36°	– 4.5
40°	2.5 – 3.4
44°	2.0 – 2.7
48°	1.7 – 2.2
52°	1.5 – 1.8
56°	1.3 – 1.5

Tableau 5-6 : Le facteur F d'après Mazria ,1981.

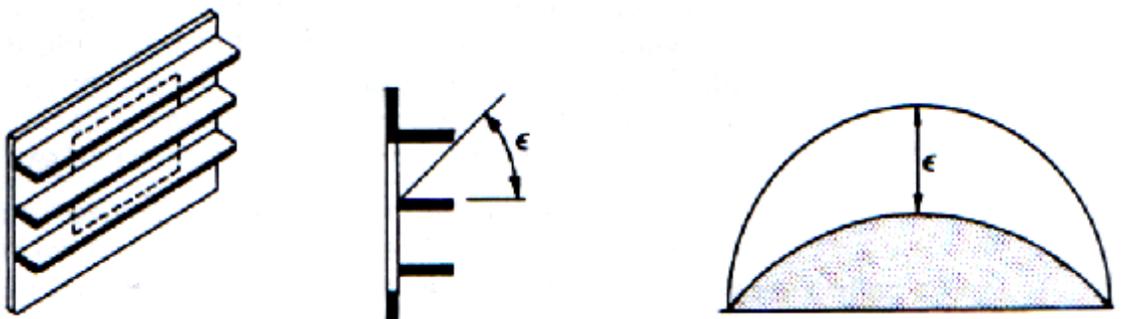


Figure 5-26 : Type d'occultation horizontale. Source: S V SZOKOLAY, 1979.

D'autre part, en fonction de Ft (facteur de transmission) IZARD montre que la protection offerte par l'auvent pendant la journée entière est toujours la meilleure. (Voir figure 4-30) qui montre la variation du facteur de transmission Ft et qui montre que :

- Ft augmente en juillet
- Plus la profondeur augmente, plus Ft diminue.
- L'augmentation du débord entraîne une diminution de Ft

Le graphe de (la figure4-27) montre que la protection offerte par l’auvent pendant la journée entière est toujours la meilleure pour l’orientation sud.

Les deux graphes (figure 4-28) montre la variation de facteur de transmission avec l’orientation pour un auvent défini en élévation par le point A, et en partant du sud vers le Nord, la valeur de ft en juillet augmente toujours avec ce type de masque ;

- Les effets de la profondeur : pour une orientation donnée, la profondeur diminue la valeur de ft d’une manière linéaire.
- Les effets du débord latéral : en comparant les deux graphes, l’augmentation du débord entraîne toujours une diminution de ft.

Et cette forme est très répandue en architecture contemporaine des toitures débordante de FRAN LOYD WRIGHT, et des débords de dalles de MIES VAN DER ROHE

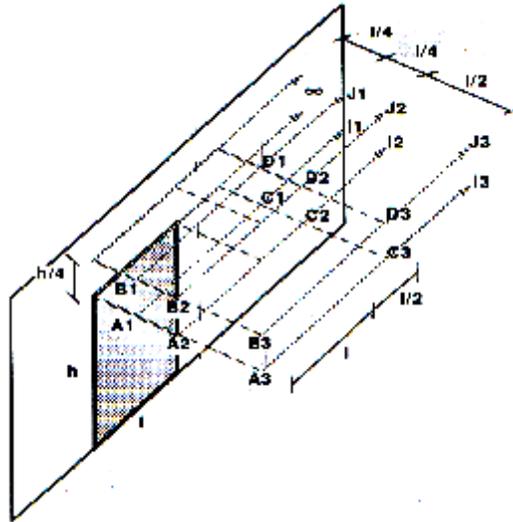


Figure 4-27: Effet de l’auvent. Source : Izard. J.L, 1993

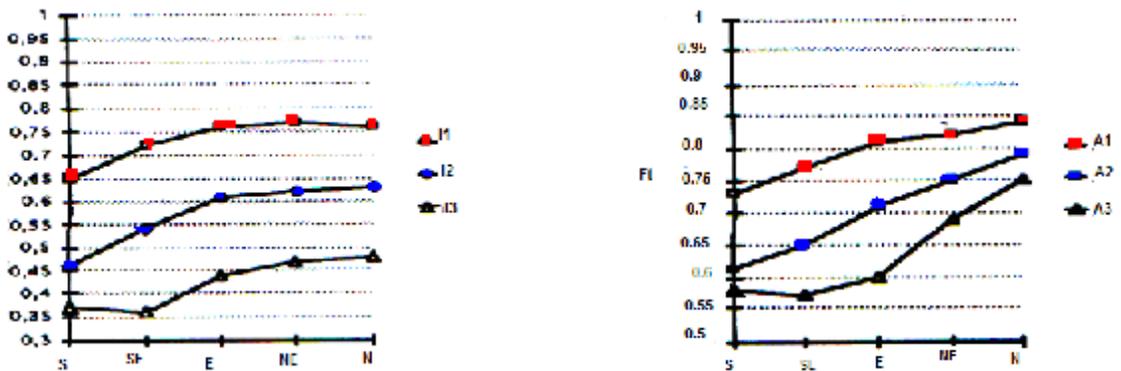


Figure 4-28 : Variation de facteur de transmission avec l’orientation pour un auvent. Source : IZARD.J.L (1993) p.33

4.4.1.B- les occultations verticales :

Un masque vertical provoque une ombre à un rayonnement qui n’est fonction que de son azimut par rapport à la normale au plan de l’ouverture, ainsi la proportion d’ombre n% est représentée par un azimut. (Figure 4-29) et (figure 4-30)

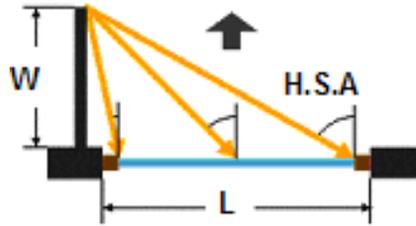


Figure 5-29: Protection verticale pour une orientation est. Source : Auteur

Elles sont plus efficaces pour protéger les façades EST et OUEST (figure 4-31) mais, une occultation verticale même avec une hauteur continue, forme une protection très faible entité, alors qu'elle intercepte presque tous les rayons en hiver (GIVONI, 1980)

Par contre IZARD. J. L, affirme qu'elle offre la meilleure protection pour l'orientation Sud-est, Nord-est la ou le facteur de transmission F_t est plus faible voir (figure 4-32). Mais on remarque que la variation de f_t avec l'orientation et les dimensions qui caractérise le flanc comme le montre le graphe de la (figure 4-32).

D'après IZARD. J. L la valeur de f_t sera au pic surtout dans les orientations Nord-est et Sud-ouest, et prendra la valeur de creux au Nord, au Sud-est et au Nord-ouest.

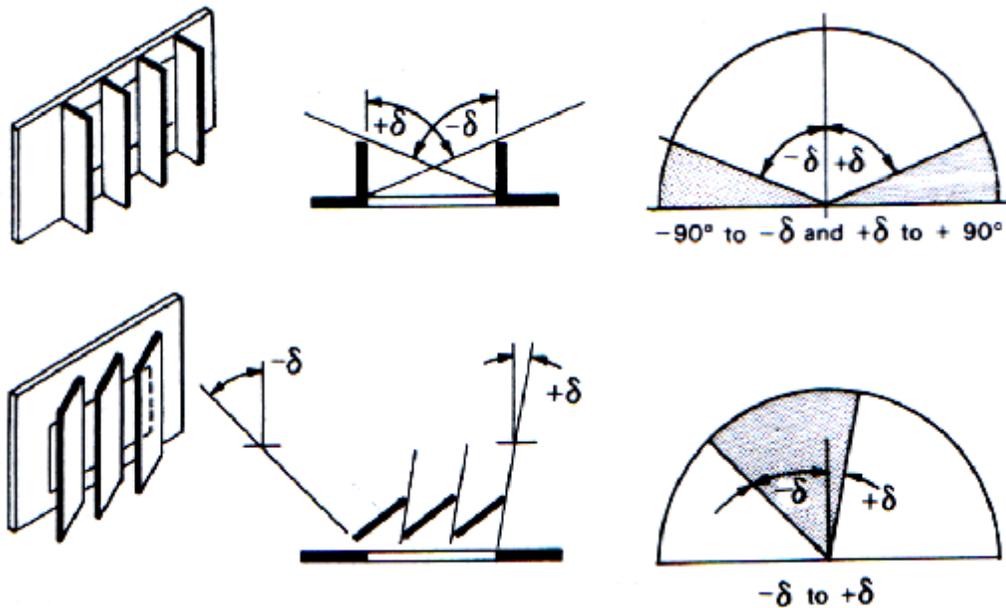


Figure 4- 30 : Type de protection verticale. Source: S V SZOKOLAY, 1979.

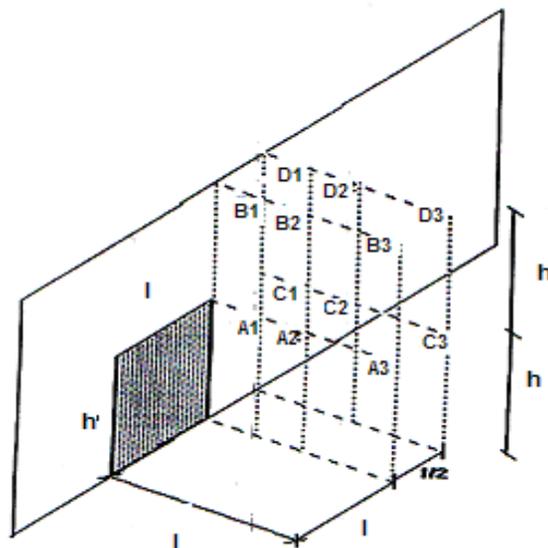


Figure 4-31 : Effet d'un flanc. Source : IZARD. J. L, 1993.

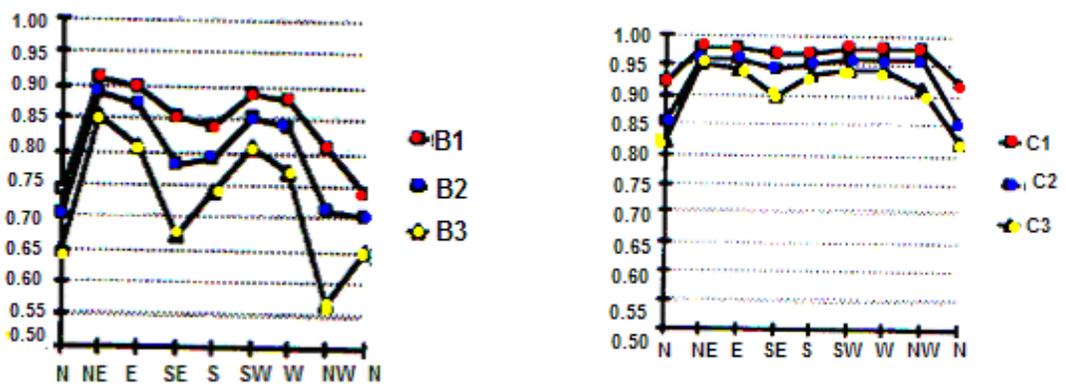


Figure 4-32 : Variation de Ft avec l'orientation pour un flanc. Source : IZARD.J.L 1993 P.37

4.4.3.1. C- la structure en boîte à oeuf :

Comme les loggias, claustras assurent plus d'efficacité et à n'importe qu'elle orientation. Cette protection est plus précise que les éléments de cette structure sont inclinés. (Figure 4-33)

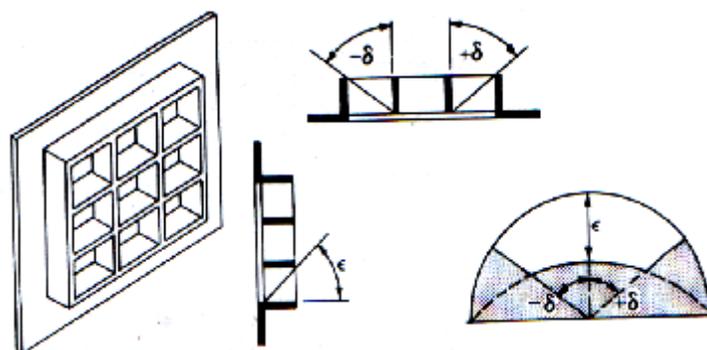


Figure 4-33 : Type de protection combinée. Source: S V SZOKOLAY, 1979.

4.4.4- Hauteurs d’occultation et orientations:

Une étude menée par le groupe ABC de Marseille nous donne ici les valeurs des hauteurs solaires de référence à prendre en compte lors du dimensionnement des brises soleil horizontal en fonction de l’orientation de la paroi à ombrer.

4.4.4.1- Pour un auvent:

Sous la latitude 43° NORD, la hauteur d’occultation (figure 4-34) doit prendre les valeurs suivantes pour respecter les conditions imposées (particulièrement la quantité d’énergie solaire incidente supérieure à 400W/m2) en fonction de l’orientation (la longueur de l’auvent est supposée infinie):

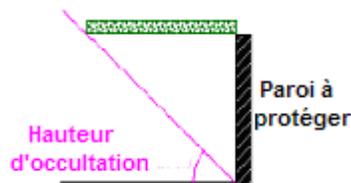


Figure 4-34: Définition de la "Hauteur d’occultation" pour le complexe Paroi/Auvent. Source : GROUPE ABC, 1999.

ORIENTATION	Hauteur d’occultation requise
SUD	70°
SUD+15°	60°
SUD+30°	50°
SUD+45°- Sud-est ou Sud-ouest	40°
EST ou OUEST	30°
Nord-est ou Nord-ouest	20°
NORD	40°

Tableau 4-7 : Hauteur d’occultation d’une paroi par un auvent. Source : Groupe ABC, 1999.²²

On peut voir d’après (le tableau 4-7) que les valeurs requises de la hauteur d’occultation sont très petites pour les orientations allant du Sud-ouest au Nord-ouest et du Sud-est au Nord-est. Il en résulte que par rapport à une hauteur de paroi donnée, la profondeur requise de l’auvent est très important.

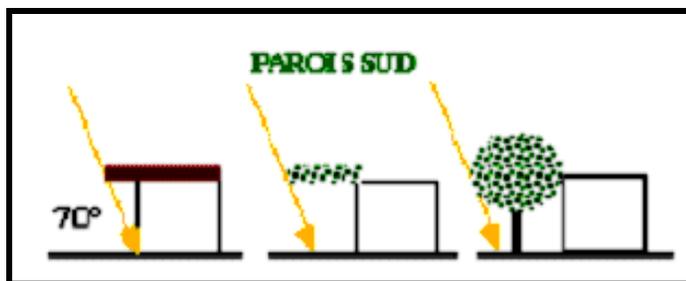


Figure 4-35 : Une paroi verticale SUD est facile à protéger: la moindre saillie d'un plan horizontal placé au-dessus de la paroi est suffisante. L'effet d'auvent est donc le plus adéquat pour ombrer une paroi SUD. Source : Groupe ABC, 1999.

²² - Groupe ABC : «ProtecSolWeb », [En ligne] <http://www.marseille.archi.fr/~abc/Textes/ProtecSolWeb.PDF>

Le schéma de la (figure 4-40) montre les principales solutions pour protéger une paroi verticale sud²³ : Et cette protection se révèle simple par rapport à d'autres orientations. Donc un simple auvent peut protéger la façade sud en été tout en laisse pénétrer les rayons solaires l'hiver. A partir de l'angle de 70°, la profondeur requise de l'auvent **D** dépend de la hauteur de la paroi à protéger **H**, en fonction de la formule:

$$D = H / \tan 70^\circ \dots\dots\dots [11]$$

$$D = H / 2,75$$

Par exemple, avec **H = 2,50m**, la profondeur requise **D** est égale à:

$$D = 2,50 / 2,75 = \underline{0,90m}$$

Cette valeur est la plus petite permettant de protéger la paroi entière, mais le sol au pied de la paroi n'est pas ombré, si bien que le rayonnement solaire peut être réfléchi vers la paroi, proportionnellement à l'albédo du sol. En conséquence, la profondeur doit être augmentée de manière à ombrer aussi le sol au pied de la paroi.

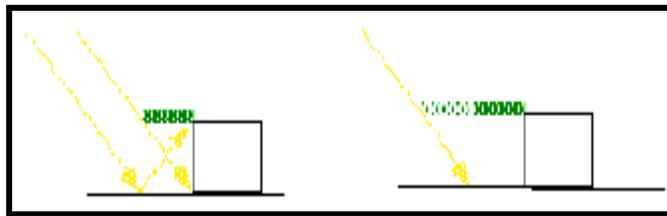


Figure 4-36 : Protection de la façade SUD entière. Source : Groupe ABC, 1999

4.4.4.2. Ecran vertical en position frontale:

Sous la latitude 43° Nord, la "hauteur d'occultation" (figure 4-41) doit prendre les valeurs suivantes en fonction de l'orientation de la paroi à protéger (la longueur de l'écran vertical est supposée infinie):

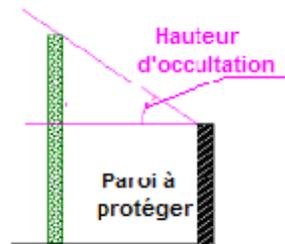


Figure 4-37 : Angle d'occultation dans le cas d'un écran vertical en position frontale.

Source : groupe abc, 1999.

ORIENTATION	Hauteur d'occultation requise
SUD	70°
SUD+15°	70°
SUD+30°	65°
SUD+45° SUD- EST ou Sud-ouest	60°
EST ou OUEST	60°
Nord-est ou Nord-ouest	70°
NORD	80°

Tableau 4-8 : Hauteur d'occultation d'une paroi dans le cas d'un écran vertical. Source : Groupe ABC, 1999.

²³ -Groupe ABC : «ProtecSolWeb », [En ligne] <http://www.marseille.archi.fr/~abc/Textes/ProtecSolWeb.PDF>

Pour ce cas, la hauteur d’occultation requise d’après le (tableau 4-8) est très élevée pour toutes les orientations. Pour une distance donnée, la hauteur requise de l’écran vertical est par conséquent très grande. Il est cependant intéressant de noter que c’est pour l’orientation OUEST que la hauteur d’occultation requise présente sa valeur la plus faible²⁴.

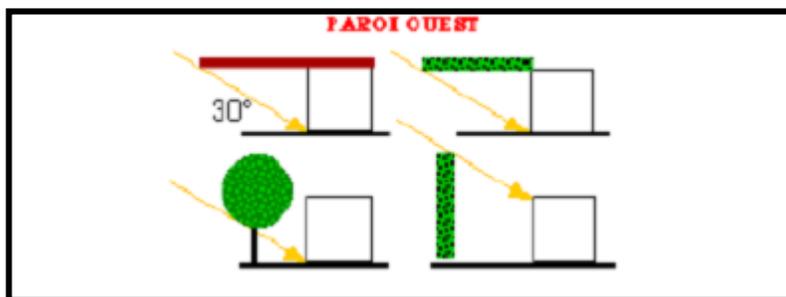


Figure 4-38 : Différentes solutions pour la protection solaire d’une paroi Ouest.

Source : groupe ABC, 1999.

Le système d'occultation devrait être sélectionné d'après l'orientation de la fenêtre. Cependant, quelques orientations sont faciles à ombrer, d'autres sont beaucoup plus difficiles. (Le tableau 4-9) indique le type le plus approprié d'occultation à utiliser pour chaque orientation dans l'hémisphère Nord. Ce sont des directives et, bien sûr, il y a beaucoup de variations à ces types de base²⁵

ORIENTATION	OCCULTATION EFFICACE
NORD (face au pôle Nord)	Non exigés
EST	Brise-soleil vertical, volets mobiles
SUD (face à l'équateur)	Brise-soleil fixe horizontal
OUEST	Brise-soleil vertical, volets mobiles

Tableau 4- 9: Forme de la protection solaire selon l’orientation.

Source : MARSH.A, 1980 : www.squ1.com.

4.4.5- Calcul des protections dans le cas de Constantine :

Pour tester l’efficacité d’un système d’occultation, les deux chercheurs A. et V.OLGYAY²⁶ suggèrent de déterminer en premier lieu la période de surchauffe (les heures où l’occultation est nécessaire), l’occultation est indispensable lorsque la température de l’air excède les 21°C pour les latitudes voisines de 40°, et près de 24°C pour les latitudes équatoriales. On détermine ensuite le type et la position du système d’occultation dont le masque est mis en place sur l’abaque des angles d’ombre (figure A-6).

A la fin, on détermine les dimensions du système d’occultation de manière à couper le soleil durant la période de surchauffe et à le laisser passer durant la période de sous chauffe en ayant recours à des relations trigonométriques simples (par l’application de cette méthode pour la ville de Constantine). Les formes et dimensions des brises soleils doivent protéger la paroi vitrée suivant les différentes orientations :

²⁴ - Groupe ABC : «ProtecSolWeb », [En ligne] <http://www.marseille.archi.fr/~abc/Textes/ProtecSolWeb.PDF>

²⁵ - « Shading design » [En ligne] www.squ1.com

²⁶ - GIVONI.B – *l’homme, l’architecture et le climat* - édition Le Moniteur-Paris-1978-page 257 -

1- Orientation SUD :

En superposant l'abaque des angles d'ombre sur la zone de surchauffe reportée sur le diagramme polaire correspondant à la latitude 36°17', Une paroi verticale SUD reçoit, comme on la déjà vu, le maximum de radiation solaire en hiver et beaucoup moins en été. En tenant compte de cette donnée, ainsi que de la zone de surchauffe, on retiendra pour le calcul la valeur VSA=60° (figure 4-39) car on juge que durant les mois d'hiver, surtout en janvier et février, on peut se contenter d'un ombrage partiel de l'ouverture pour un éventuel usage pour le chauffage passif.

Une paroi verticale sud est facile à protéger: la moindre saillie d'un plan horizontal placé au-dessus de la paroi est suffisante. L'effet d'auvent est donc le plus adéquat pour ombrer une paroi sud.

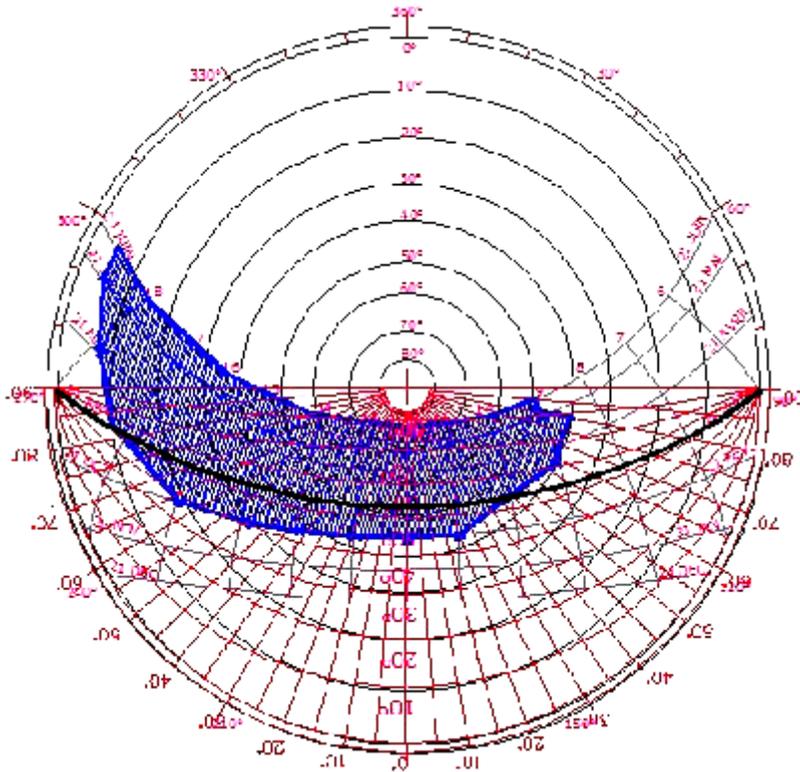


Figure 4-39 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre sud. Source : Auteur.

A partir de l'angle VSA= 60°, la profondeur D_{auv} requise de l'auvent dépend de la hauteur H de la paroi à protéger, en fonction de la formule:

$$D = H / \text{tg VSA}^\circ \dots\dots\dots [12]$$

$$D = H / \text{tg}60^\circ$$

Avec H = 1.00 cm, la profondeur requise D est égale à:

$$D = 100\text{cm} / 1.73 = \mathbf{57,80\text{cm}}$$

Cette valeur est la plus petite permettant de protéger la fenêtre entière. (Voir figure 4-40)

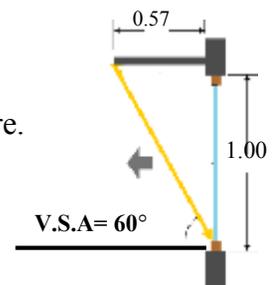


Figure 4-40 : Profondeur requise de l'auvent pour l'orientation sud.

Source : auteur.

2- Orientation Sud-est :

Une paroi verticale sud-est reçoit le maximum d'irradiation en hiver durant la matinée et moins en été. Une occultation en forme de « boîte à œufs » sera efficace pour occulter une ouverture de cette orientation, car en début de matinée le soleil est assez bas et seul une occultation verticale peut protéger la fenêtre du rayonnement direct, tandis qu'en mi-journée le soleil gagne de la hauteur et donc un auvent devient indispensable. On retiendra pour le calcul les valeurs des angles d'ombre suivants : VSA= 40°, HSA=30° (figure 4-41), tout en soulignant qu'un ombrage partiel de l'ouverture durant les mois d'hiver au matin est tolérable, car d'un côté la température de l'air est encore fraîche à ces heures là, mais aussi dans le but d'emmagasiner de la chaleur pour la période de sous chauffe.

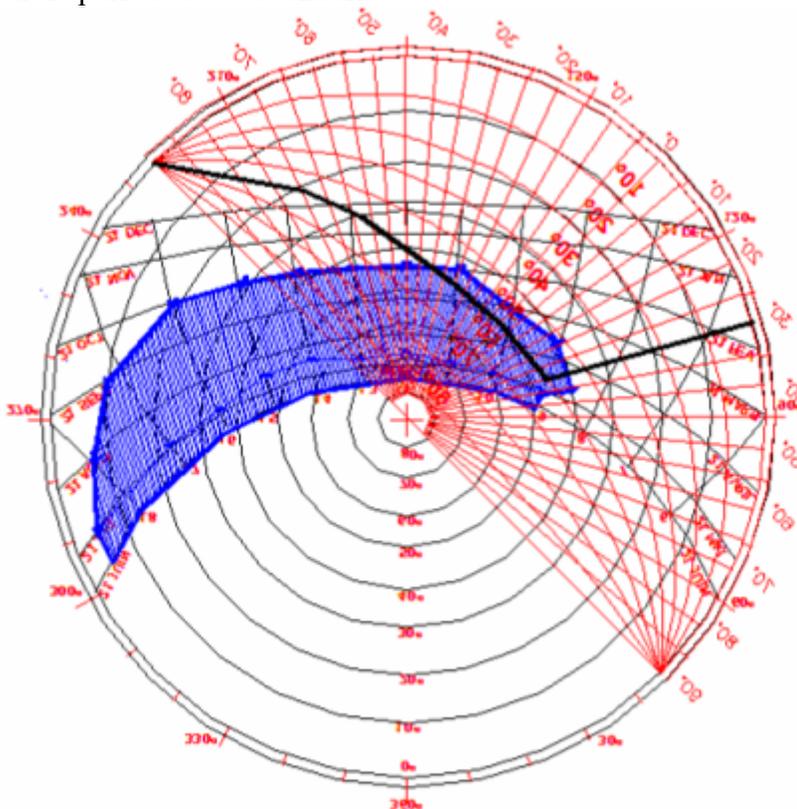


Figure 4-41 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre Sud-est. Source : Auteur.

Comme les profondeurs requises sont assez importantes, des solutions doivent être proposées :

- On peut scinder l'auvent et le brise-soleil vertical en lames égales disposées le long de la fenêtre.
- On peut incliner les lames verticales vers le Sud afin de réduire leurs profondeurs.
- On peut opter pour des lames horizontales fixes et des lames verticales mobiles afin d'ajuster l'occultation tout au long de la journée.
- On peut utiliser un auvent végétal ou une banne étendue vers l'extérieur, plus facile à mettre en œuvre.

Orientation Sud-ouest :

Une paroi verticale sud-ouest reçoit le maximum d'irradiation en hiver l'après midi. Une protection solaire efficace sera fournie par une occultation en « boîte à œufs » car en fin d'après midi le soleil est assez bas et seul une occultation verticale peut intercepter le

rayonnement direct, tandis qu'en mi-journée le soleil est assez haut dans le ciel et donc un auvent devient aussi indispensable.

On retiendra pour le calcul les valeurs des angles d'ombre suivants : VSA= 30°, HSA=30° (figure 4-42), tout en soulignant qu'un ombrage partiel de l'ouverture durant les mois d'hiver en fin d'après midi est tolérable, afin d'emmagasiner de la chaleur pour la période de sous chauffe notamment pour la nuit.

$$D_{\text{auvent}} = H/\text{tg VSA}^\circ = 100\text{cm}/\text{tg}30^\circ = \mathbf{1.38\text{m}} \dots\dots\dots[13]$$

$$D_{\text{occ. verticale}} = L/\text{tg HSA}^\circ = 100\text{cm}/\text{tg}30^\circ = \mathbf{1.38\text{m}} \dots\dots\dots[14]$$

Comme les profondeurs requises sont assez importantes, les solutions proposées pour l'orientation sud-est peuvent être appliquées aussi pour Cette orientation.

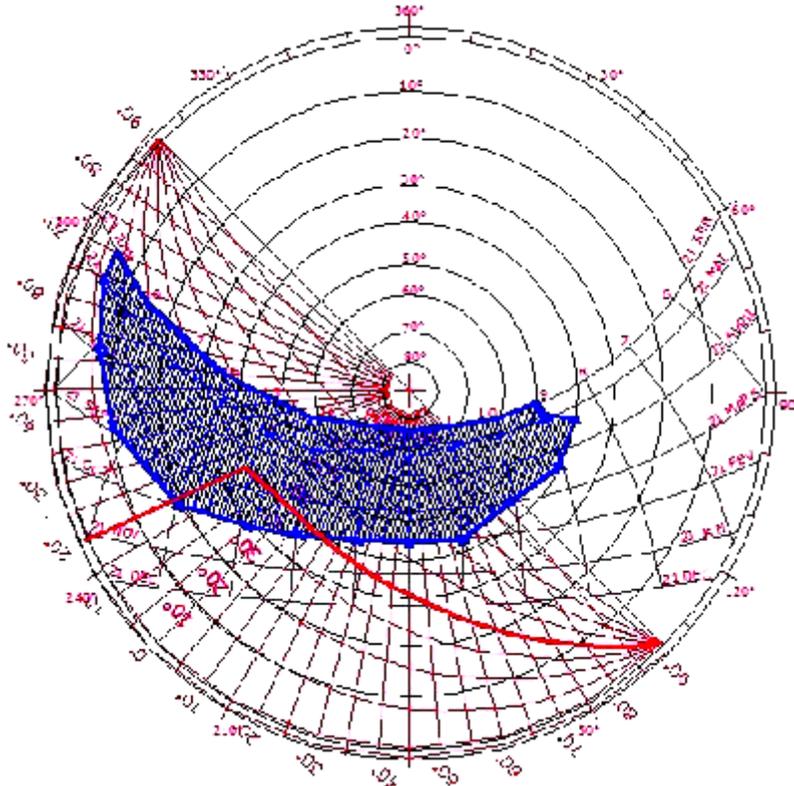


Figure 4-42: Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre Sud-ouest. Source : Auteur.

Orientation EST :

Une paroi verticale orientée Est reçoit le maximum d'irradiation solaire en été de 7h à 9h (d'après les indicateurs d'irradiation chapitre3).

Une protection solaire formée d'un élément vertical sera efficace pour intercepter le rayonnement solaire qui est bas.

On retiendra pour le calcul les valeurs des angles d'ombre suivants : HSA=35° (figure 4-43), tout en soulignant qu'un ombrage partiel de l'ouverture très tôt le matin (juste au lever du soleil) en été est tolérable car, comme on la dit, la température de l'air est la plus basse à ce moment.

La profondeur des brise-soleil sera égale à : D=1,19m.

Comme on le constate, les angles d'ombre requis pour les trois orientations (Est, Sud-est et Sud-ouest) sont très réduits et requièrent donc des brise-soleil de dimensions très importantes.

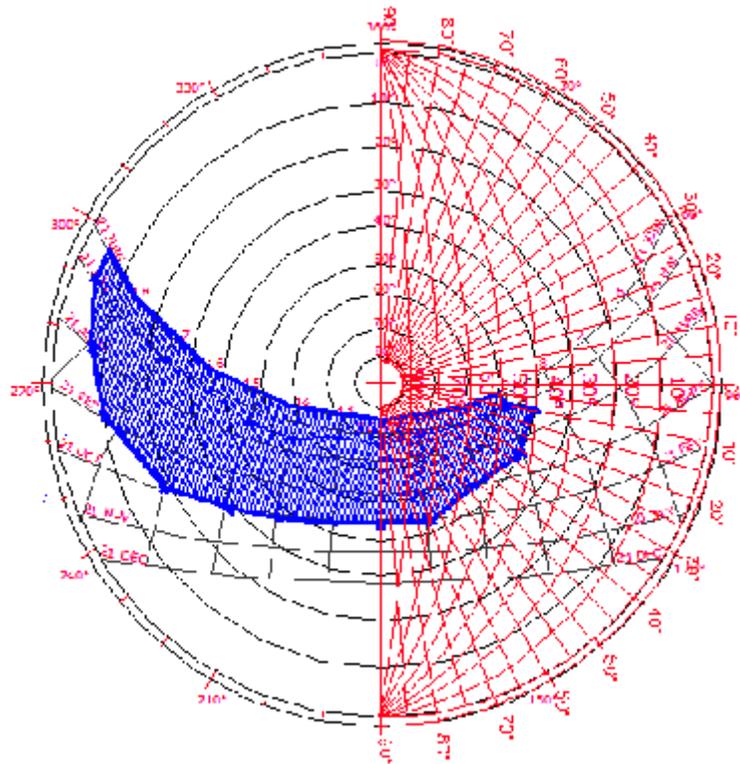


Figure 4-43 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre Est. Source : Auteur.

Orientation OUEST :

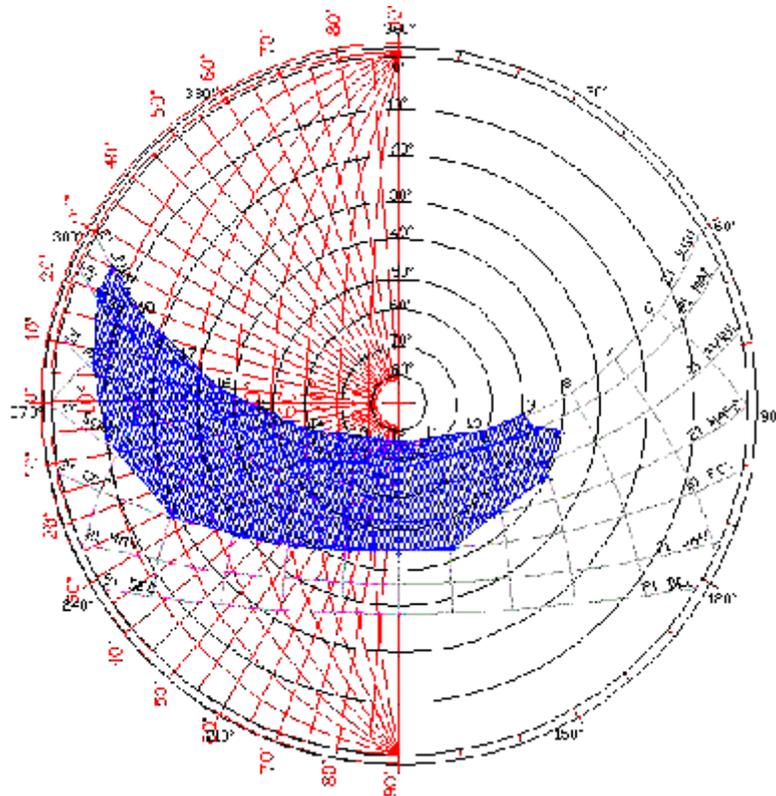


Figure 4-44 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre Ouest. Source : Auteur.

La protection des parois verticales Ouest est plus difficile à réaliser. Une paroi Ouest est insolée seulement entre midi et le coucher du soleil. A ces instants, la quantité maximale d'énergie solaire incidente coïncide avec le moment où la température d'air est la plus élevée. On retiendra pour le calcul les angles d'ombre suivants : VSA=20° et HSA=20° (figure 4-44). Pour réaliser l'occultation, on peut avoir recours soit à un effet d'auvent, qu'il faudra alors approfondir car le soleil devient de plus en plus bas, soit à un vis-à-vis qu'il faudra sur élever, mieux encore, à une combinaison de ces deux formes.

Pour cela la protection et la mise à l'ombre des parois participent dans la création du confort à l'intérieur du bâtiment et ce dernier dépend de l'orientation de la paroi verticale et de la position des ouvertures, donc le choix judicieux de l'orientation et le choix de la protection propice minimise les surchauffes et provoque le refroidissement d'été et maximise les gains pour le chauffage de l'intérieur en hiver, (Wulfinghoff, 1999)

Les conclusions de (Alain Liebard et Andre De Herde, 2003) la figure (4- 45) montre l'importance de la pose de la protection solaire (mobile extérieure et intérieure, fixe) selon l'orientation et permet de limiter les risques de surchauffes.

Il est bien souvent plus facile de gérer l'ensoleillement au sud, car le soleil se trouve dans sa position la plus haute. A l'est où l'Ouest, le soleil est bas, et rentre profondément dans le bâtiment, générant ainsi des risques d'éblouissement ou de surchauffe dès le matin où en fin de journée.

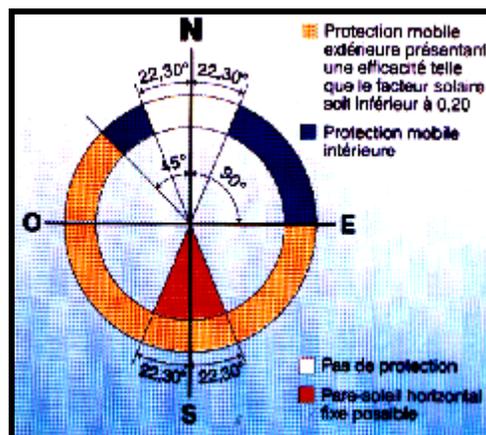


Figure 4-45 : Protections solaires fixes ou mobiles.

Source : E.DUFRASNES In Alain Liebard et Andre De Herde, 2003

4.5- Effet du vent (La ventilation) :

Une bonne ventilation naturelle permet de refroidir les espaces intérieurs en été, elle est en mesure d'assurer des ambiances confortables à condition de donner aux ouvertures les orientations et les dimensions les plus favorables, mais elle peut créer des gênes en hiver.

Limiter les infiltrations d'air parasites et prévoir un renouvellement de l'air utilisant au mieux la ventilation naturelle ou une ventilation contrôlée efficace.

La ventilation est aussi un élément clé d'une architecture climatique, ce qui nécessite - dans la mesure de ne pas générer des systèmes trop sophistiqués - toute une organisation de l'architecture par l'intérieur.

La ventilation est au service de trois fonctions :

- Le maintien de la qualité de l'air dans le bâtiment.
- De produire le confort thermique en augmentant les pertes de chaleur par convection en été, et les diminuer en hiver.

- Le refroidissement de la structure du bâtiment lorsque la température intérieure dépasse celle de l'extérieur.

Les conditions de la ventilation à l'intérieur d'un bâtiment sont parmi les principaux facteurs déterminant de l'hygiène de l'homme, de son confort.

4.5.1- Effet du vent sur la température de la surface extérieure :

Le vent affecte plus ou moins également la température superficielle extérieure de toutes les élévations d'un bâtiment. Les aspects les plus importants de l'action du vent, considérée en rapport avec l'orientation des murs, dépendent des fuites d'air vers l'extérieur des bâtiments. L'orientation influe sur la sévérité des conditions auxquelles les murs sont soumis. À un moment quelconque de l'année, les températures de surfaces peuvent accuser des variations atteignant 90°F (49.5°C) provoqués par la radiation solaire. Soumis à l'influence des vents dominants et des fuites d'air. (C. R. CROCKER)²⁷

Le débit de la ventilation (m^3/h) dépend de :

- La perméabilité des ouvertures (dimension et type d'ouvrant)
- La section de l'ouverture en position ouverte
- Le gradient de pression entre les deux faces de l'ouverture
- La vitesse d'air extérieur.

4.5.2.1- Ventilation pour le refroidissement de la structure :

Le refroidissement et la ventilation intérieur dépendent de l'orientation des bâtiments vis-à-vis la direction des vents dominants, la plus grande pression du côté au vent d'un bâtiment soit produite quand la façade est perpendiculaire à la direction de vent (HARRIS J .SOBIN, 1981)

Lorsqu'un bâtiment de forme rectangulaire est soumis à un flux d'air normal, les éléments du bâtiment directement exposés au vent « zone au vent » sont soumis à une surpression, par contre les autres parties sont soumis à une dépression « sous vent » figure (5-46). De cette manière, il se crée des différences de pressions sur le bâtiment.

La surpression n'est pas distribuée de manière uniforme sur toutes les parties exposées au vent, mais elle diminue lorsqu'on s'éloigne du centre de la zone en surpression. Le mur exposé à un vent perpendiculaire, ce vent est faible (figure 4-48), mais lorsque le vent est oblique, on constate une chute brutale de pressions en allant de l'arête exposée au vent vers les arêtes dans la direction du vent disparaît pratiquement, c'est la dépression (figure 4-49)

la variation de la pression de l'air dans les zones de dépression est moindre que dans les zones de surpression. Avec un vent perpendiculaire, la pression sur les parois latérales est plus importante, elle diminue en allant du centre vers la périphérie. Lorsque le vent est oblique, la dépression sur les deux faces non exposées et sur la toiture.

²⁷ - C.R. CROCKER ; «Influence de l'orientation sur les parements extérieurs » site Internet

[En ligne] <http://www.cbd-126F-Influence de l'orientation sur les parements exterieur.htm> (consulter le 25 mai 2004)

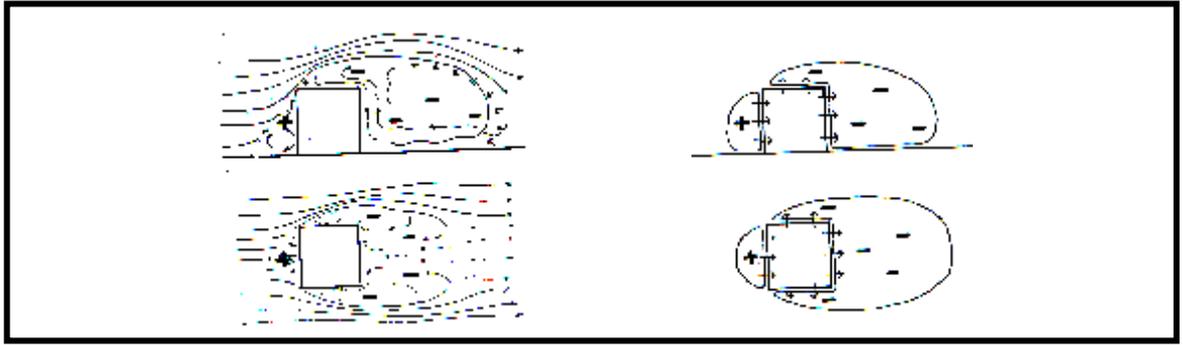


Figure 4-46: Effet du vent sur les éléments du bâtiment. Source. MARTIN EVANS, 1980.

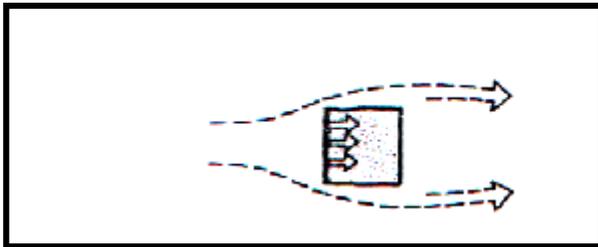


Figure 4-48: Effet de l'orientation ; Direction du vent perpendiculaire à 90°.

Source : KONYA.A 1984

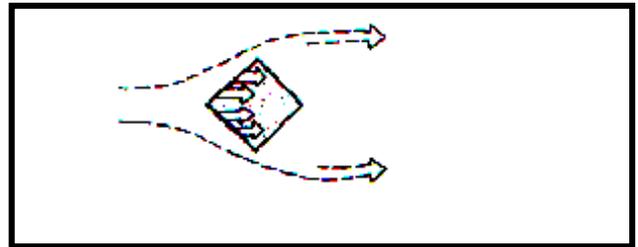


Figure 4-49 : effet de l'orientation ; Direction du vent oblique à 45°.

Source : KONYA.A 1980

4.5.2.2- Le transfert de chaleur par convection :

Le transfert de chaleur par convection est l'échange d'énergie entre la surface et son environnement. Le coefficient de convection de la surface ; détermine le taux d'échange de chaleur entre une surface et l'air environnant ainsi que l'échange radiatif avec les autres surfaces ou le ciel. Le coefficient de convection, dépend de la vitesse de l'air à proximité de la surface. Le transfert de chaleur par convection peut se subdiviser en deux composantes :

- la thermoconvection (convection libre) due à la différence de température entre la surface et l'air environnant et qui dépend de la grandeur de cette différence de température et de la position de la surface. Plus la vitesse de l'air est grande, plus les échanges sont importants. J. Dreyfus donne les valeurs suivantes (tableau 4-10) pour le coefficient de convection pour les surfaces verticales, selon la différence de température avec l'air :

Différence de température (°C)	2	10	30
Coefficient thermoconvection (w/m ² °C)	2.3	3.5	4.7

Tableau 4-10 : Valeurs du coefficient de convection thermique par des surfaces verticales.

Source : B. GIVONI,1978.

En fait l'air en contact avec une surface de paroi se refroidit, sa température se rapproche de celle de la surface et les échanges thermiques ont tendance à diminuer. le mouvement de l'air continu, refroidi et l'air est remplacé par une autre plus chaud (ABDOU, 2003)

- La convection forcée est le facteur dominant, lorsque la surface externe est exposée aux effets du vent. Ce facteur est essentiellement fonction de la vitesse du vent à proximité de la

surface et de la rugosité de la surface. DREFUS²⁸ suggère une formule pour estimer le coefficient de convection h_c (w/m^2) lorsqu'il y a du vent :

$$h_c = 4.2 V \dots\dots\dots [15]$$

h_c = coefficient de convection (w/m^2)
 V = vitesse du vent (m/s)

Pour la région de Constantine les vents dominants sont du côté NORD et Nord-ouest, donc l'orientation arbitraire des bâtiments subit plusieurs types de phénomène, et qui influe sur le confort intérieur. Comme dans le cas d'étude il n'y a pas de barrière minérale ou végétale pour protéger ou diminuer l'effet du vent sur les façades, les directions OUEST et NORD sont exposées au vent froid d'hiver, qui influe sur les déperditions à travers les parois par convection et par infiltration, et qui diminue la température pendant la période hivernale.

4.5.3- Effet de la ventilation sur l'ambiance intérieure :

L'air possède une très faible capacité thermique. Lorsque le bâtiment est ventilé l'air pénétrant dans l'espace intérieur est à la température extérieure d'origine. Mais en traversant cet espace il se mélange avec l'air intérieur, et il échange de la chaleur avec les surfaces intérieures en fonction du gradient de température intérieure extérieure.²⁹

La quantité de chaleur enlevée ou ajoutée à l'espace (Q) d'après GIVONI, 1978 :

$$Q = 0.32 V (t_i - t_e) \dots\dots\dots [16]$$

Où: Q = quantité de chaleur (w)
 V = taux de ventilation (m^3/h)
 0.32 = capacité calorifique volumique de l'air
 $t_i - t_e$ = écart de la température moyenne extérieure et intérieure.

La relation entre les températures intérieure et extérieure pendant la journée dépend de la conception du bâtiment et en particulier de la couleur externe des parois et de la grandeur et de la protection des fenêtres. D'après GIVONI la couleur sombre de la paroi réduit la température internes. En général, d'après (BOUCHAHM.Y, 2004)³⁰ les bâtiments d'une couleur externe blanche ou une résistance thermique et une capacité calorifique moyennes, et avec des ouvertures relativement petites et protégées connaissent pendant la journée des températures plus basses qu'à l'extérieures. Par contre les bâtiments peints en sombre, ont des températures supérieures à celle de l'extérieur. La ventilation dépend aussi du matériau et de l'épaisseur des murs, surtout lorsque ceux-ci sont peints en gris.

Des baisses de températures interne lorsque les fenêtres et les volets sont fermés, d'après les résultats de Givoni.B, l'ouverture des fenêtres et des volets provoque une élévation de près de 3°C de température interne et cela surtout lorsque la fenêtre est orienté Ouest (côté exposé au vent).

Quand la fenêtre est orientée (à l'abri du vent), on enregistre une augmentation de 1°C (BOUCHAHM.Y, 2003)

A partir des résultats des études de B. GIVONI (1978) on peu conclure que le sens de l'effet de la ventilation vers le refroidissement ou l'échauffement dépend du régime du gradient de température intérieure et extérieure du bâtiment.

²⁸ - DREFUS in GIVONI .B « L'homme, L'architecture Et Le Climat » édition le moniteur, paris 1978 p.267

²⁹ - GIVONI .B « L'homme, L'architecture Et Le Climat » édition le moniteur, paris 1978 p.284

³⁰ - BOUCHAHM.Y « Une Investigation sur La Performance thermique du Capteur A Vent Pour Un Rafraîchissement Passif Dans Les Régions Chaudes Et Arides » cas de ouargla. Thèse de doctorat d'état. Université de Constantine, 2004.page.79.

4.5.3.1- Effet de la ventilation transversale sur la température interne :

La prise en compte de la position de l'espace par rapport au vent est importante dans la création du déplacement d'air, et grâce à certaines différences de pression d'air sur la largeur et la hauteur des ouvertures, qui sont en mesure de fournir une ventilation transversale convenable. La distribution des pressions sur le mur exposé au vent peut être utilisée pour provoquer une ventilation transversale même dans les pièces n'ayant qu'une seule paroi extérieure.³¹

Quand l'angle d'incidence du vent est 90° sur une construction, sa vitesse est référée à zéro au point d'application souvent connu de point de stagnation, toute l'énergie cinétique du vent sera transformée en pression (HARRIS. J. SOBIN, 1981- BOUCHEHEM, 2003)

Le tableau (4-11) donne d'après GIVONI, 1978 les résultats d'une étude, et qui montre l'effet de la ventilation transversale sur la vitesse d'air moyenne intérieure, et qui précise que lorsque l'espace n'est pas ventilé transversalement, la vitesse moyenne intérieur est faible, et spécialement avec un vent perpendiculaire à l'entrée.

Ventilation transversale	Position des ouvertures	Direction du vent	Dimensions totales des ouvertures			
			2/3 du mur		3/3 du mur	
			V.Moy.	V.Max.	V.Moy.	V.Max.
Nulle	1 seule ouverture zone surpression	Perpend.	13	18	16	20
		Oblique	15	33	23	26
	1 seule ouverture zone dépression	oblique	17	44	17	39
	2 ouvertures zone dépression	oblique	22	56	23	50
existante	2 ouvertures sur mur adjacent	Perpend.	45	68	51	103
		oblique	37	118	40	110
	2 ouvertures murs opposés	Perpend.	35	65	37	102
		oblique	42	83	42	94

Tableau 4- 11 : Effet de la ventilation transversale sur la vitesse d'air moyenne intérieure (% de la vitesse extérieure). Source : GIVONI.B, 1978.

GIVONI. B, 1980 estime que la meilleure condition de ventilation transversale lorsque le flux d'air change de direction à l'intérieur de l'espace en se déplaçant de l'entrée vers la sortie.

On peut apporter une grande amélioration dans la ventilation des bâtiments pour les pièces qui n'ont qu'une seule exposition à l'extérieur, par l'exposition au vent dominant et l'orientation de telle sorte que le vent se présente obliquement sur le mur. L'angle entre le mur et la direction du vent doit être compris entre 20° à 70° (B.GIVONI,1978- HARRIS.J.SOBIN, 1981).

La mise en place de cloisons internes et la position des fenêtres permettaient à l'air de s'écouler directement des ouvertures d'entrée vers celles de la sortie.

IZARD, 1993 ; estime qu'une ventilation transversale sera efficace ; les ouvertures sur des façades adjacentes ou opposées, sur lesquelles les pressions d'air sont toujours différentes sous l'effet d'un vent de direction donnée (figure 4-50), disposer les locaux en plan de telle manière que l'air puisse les traverser de part et d'autre.

³¹- BOUCHAHM.Y « Une Investigation sur La Performance thermique du Capteur A Vent Pour Un Rafraîchissement Passif Dans Les Régions Chaudes Et Arides » cas de ouargla. Thèse de doctorat d'état. Université de Constantine, 2004.page.85.

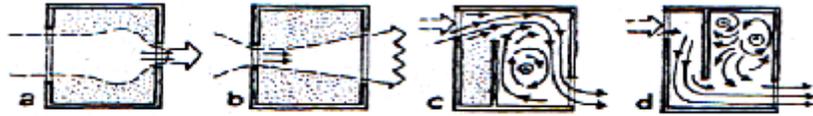


Figure 4-50 : Régime des flux d'air dans le modèle subdivisés intérieurement d'une manière différente. Source : KONYA.A, 1980.

4.5.3.2- Effet de la ventilation nocturne :

Le principe de la ventilation nocturne d'après (CECILE HUEBER, 1989- IZARD, 1993) est très intéressant il y a un effet d'abaissement de la température de l'air intérieur, des que la température de l'air extérieur s'abaisse pendant la nuit.

Le graphe (figure 4-51) montre cet effet pour une construction d'une inertie moyenne où les températures intérieures sont diminuées de 3 à 4°C.

L'objectif principal de la ventilation naturelle est de produire des conditions thermiques intérieures confortables.

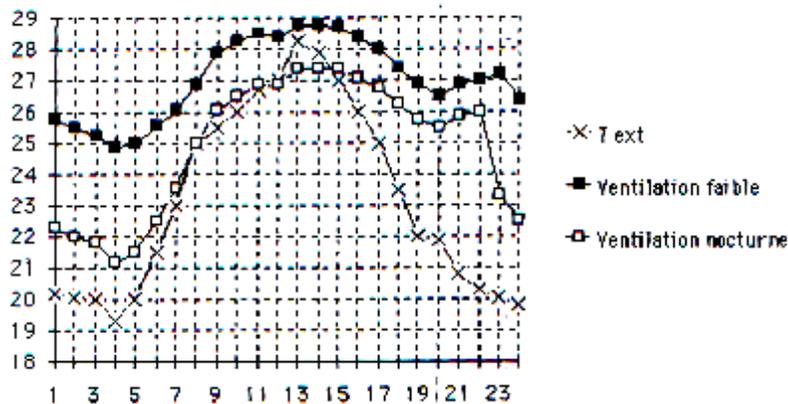


Figure 4-51 : Effet de la ventilation nocturne sur la température d'air intérieure.

Source : IZARD.J.L, 1993.

Dans les climats chauds la ventilation nocturne est une solution adéquate, elle contribue la réduction des charges de refroidissement. La masse thermique largement utilisée pour l'enveloppe peut maintenir relativement la température à un niveau modéré tout le long de la journée.

4.5.3.3- L'orientation des ouvertures par rapport au vent :

L'orientation des fenêtres vis-à-vis de la direction des vents dominants a une influence considérable sur la ventilation intérieure. La principale exigence pour qu'une ventilation soit satisfaisante d'après B. GINVONI, 1978 est de prévoir des ouvertures aussi bien sur la façade « au vent » que sur sa face « sous vent »

D'après D. WRIGHT, 1978 le débit d'air pénétrant à travers l'ouverture d'une pièce est plus efficace lorsque la direction du vent ne s'éloigne de 30° à la normale du plan de cette ouverture.

4.5.4- Effet combiné du vent et de la température :

Le flux d'air réel résulte des effets combinés de la force thermique et celle du vent. Le gradient obtenu sur une ouverture donnée est la somme algébrique des différences de pressions. Selon la direction du vent et selon que la température intérieure ou extérieure est plus élevée les deux forces peuvent opérer dans le même sens ou en sens contraires.

La ventilation est la principale motrice de climatisation passive naturelle. Le premier atout d'une bonne ventilation réside dans la bonne disposition des ouvertures en accord avec les vents dominant.

Des stratégies passives, ont pour longtemps et dans de vastes régions été employés ; moucharabieh, malkaf et capteurs à vent. Ils ont prouvé leurs efficacités d'assurer une ventilation naturelle et améliorent les conditions de confort d'été afin d'obtenir un refroidissement passif dans de climat chaud et sec.

4.6- CONCLUSION :

La production architecturale des édifices ayant une performance correcte vis-à-vis des aspects énergétiques montre que la problématique énergétique doit être intégrée des les phases primaires de la conception.

La mise en œuvre des éléments du bâtiment (paroi opaque, paroi transparente,), joue un rôle important dans les échanges thermiques avec l'environnement.

Une abondante radiation solaire se manifeste sur toutes les surfaces des bâtiments, excepté sur le mur Nord. La radiation solaire transmise au travers des fenêtres non protégées et des murs transparents donne lieu à une forte augmentation de la température dans les maisons qui ne sont pas climatisées. L'emploi de stores et autres méthodes pour réduire les gains de chaleur solaire est à conseiller pour tous les bâtiments.

Les gains de chaleur solaire peuvent être largement réduits en orientant un bâtiment de telle façon qu'il aura un minimum de parois vitrées vers l'EST et vers l'OUEST. Les gains de chaleur solaire que l'on obtient par les fenêtres donnant vers le sud peuvent être réduits durant l'été par des stores extérieurs ou en basculant les fenêtres.³²

La protection et la mise à l'ombre des parois participent dans la création du confort à l'intérieur du bâtiment et ce dernier dépend de l'orientation de la paroi verticale et de la position des ouvertures, donc le choix judicieux de l'orientation et le choix de la protection propice minimise les surchauffe et provoque le refroidissement d'été et maximise les gains pour le chauffage de l'intérieur en hiver,

L'effet de l'orientation sur le confort intérieur est largement influencé par les différents éléments du climat, et le choix d'une orientation dépend de la position du soleil et du vent.

³² - STEPHENSON, D. G. and G. P. MITALAS, "Analog Evaluations of Methods For Controlling Solar Heat Gain Through Windows". Journal American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Vol. 4, No. 2, February 1964, p. 41-46. (NRC 6560)

L'orientation et ses effets

5.1- Introduction :

Les études précédentes ont démontré que les effets de l'orientation sur le climat intérieur des pièces étaient déterminés par une combinaison de nombreux facteurs relatifs à la conception et la réalisation des bâtiments¹

Lorsqu'on a affaire à un bâtiment sur plan, le facteur d'orientation est appréciable dans ces effets non pas au bâtiment d'ensemble, mais à ses différentes pièces.

Le choix d'une orientation est soumis d'après GIVONI, 1978 à de nombreuses considérations, cependant la position de la façade par rapport au soleil et au vent affecte l'ambiance intérieure.

Cet aspect est l'objectif de ce chapitre.

L'architecture dispose d'un ensemble de solutions qui permettent d'atteindre cet objectif. Le choix des matériaux, la disposition des locaux, les percements, l'orientation et la modénature des façades, les fermetures et l'aménagement des espaces adjacents sont les points importants pour la réalisation d'un maintien naturel d'ambiances thermiques intérieures confortables ou proches du confort.

Une revue générale sur les techniques passives de contrôle de l'ensoleillement, déjà employées dans l'architecture traditionnelle et contemporaine. Ces techniques peuvent apporter des réponses, à prendre en compte dans l'amélioration des conditions de confort intérieure.

5.2- Définition :

L'orientation d'un bâtiment est la direction vers laquelle sont tournées ses façades. C'est-à-dire la direction perpendiculaire à l'axe des blocs²

L'orientation se rapporte à l'angle d'azimut d'une surface à Nord vrai relatif, la direction générale dans laquelle une surface fait face. Tandis que l'orientation réelle est habituellement donnée en degrés du nord (à partir de l'orientation nord), elles peuvent également être données en général des directions telles que (N) du Nord, (S) du Sud, (NE) du Nord Est, (O) de l'Ouest. comme c'est montré dans la (figure 5-1)

L'orientation est la disposition d'un bâtiment ou d'un aménagement urbain par rapport aux éléments d'un site ou au point cardinal (BRUNET et AL, 1992 p.163)

L'orientation d'un logement est désignée par celle de sa face principale, c'est-à-dire en générale celle qui comporte la plus grande surface de vitrage.³

le choix de l'orientation d'après GIVONI. B (1980) est soumis à de nombreuses considérations, telles que :

- La vue
- La position par rapport aux voies
- La topographie du site
- La position des sources des nuisances et la nature du climat (facteurs climatiques ; Les radiations solaires et le vent.

¹ - GIVONI.B – L'homme, L'architecture Et Le Climat- édition le moniteur. Paris, 1978. page244.

² - GIVONI.B – L'homme, L'architecture Et Le Climat- édition le moniteur. Paris, 1978. page 229.

³ - GUIDE POUR LA REGION PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR « conception thermique de l'habitat »EDISUD. France, 1988.page.39

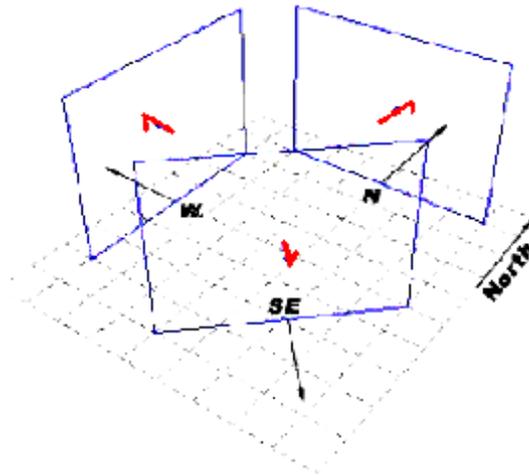


Figure 5-1: Exemple de surfaces pour différentes orientations à partir du Nord

Source: Image created using ECOTECT v4. Source: squ1

L'orientation des façades et des baies par rapport au soleil et au vent dominant (Brunet et Al, 1992. p.192) et l'ensoleillement est la qualité de l'exposition au soleil. Conduit à choisir une disposition en fonction de données climatiques.

5.2.1- Les Classes d'orientations :

Dans le climat méditerranéen, où le soleil est souvent présent dans le ciel, c'est l'orientation qui définit la quantité d'énergie solaire incidente sur une paroi verticale, et cette quantité d'énergie est la principale cause de l'exigence de protection solaire.⁴

Selon une étude menée par le groupe ABC de Marseille et à partir des deux critères:

- Quantité d'énergie solaire incidente sur la paroi, « voir chapitre 3 »
- Concomitance des moments où l'énergie incidente et la température d'air sont maximales,

Il est possible de répartir les orientations sur un cercle en quatre classes: NORD, EST, SUD et OUEST, comme le montre la figure (5- 2):

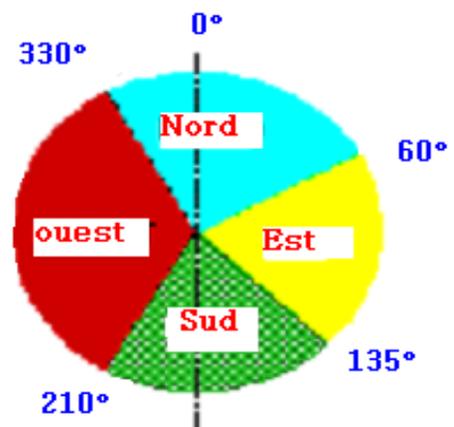


Figure 5- 2 : Classes d'orientations pour le climat méditerranéen en été.

Source : groupe ABC, [Internet], 2005

La définition de la classe "Ouest" est très large à cause des hautes températures de l'après-midi. En été, l'orientation la plus défavorable est l'Ouest, car ici le moment où l'énergie solaire incidente est la plus forte correspond à celui où la température extérieure est la plus élevée.

⁴ - Groupe ABC : « ProtecSolWeb », [En ligne] <http://www.marseille.archi.fr/~abc/Textes/ProtecSolWeb.PDF> (page consulter le 23-mars-2005)

L'orientation Est reçoit la même quantité d'énergie, mais pendant la matinée, lorsque la température d'air est plus basse. L'orientation Sud, elle, reçoit moins d'énergie. Enfin, l'orientation Nord est celle qui est la mieux protégée contre le rayonnement solaire⁵.

L'orientation d'une façade, est par convention, repérée par la trace sur plan horizontale qui lui est perpendiculaire. A partir de la direction du Nord géographique est appelée azimut ; La direction du Nord à l'azimut zéro ou 380°. L'azimut du soleil est mesuré par l'angle que fait la projection de sa direction sur le plan horizontal « voir chapitre 3 »

D'après les normes du CSTB, 1986 (figure 5-3) on peut distinguer trois orientations principales : Est-sud, Ouest et Nord ;

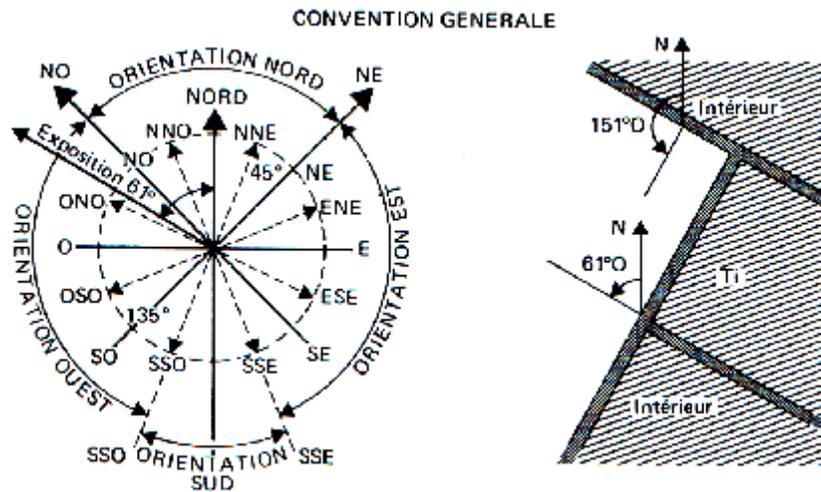


Figure 5- 3 : Convention générale d'orientation. Source : CSTB, 1986

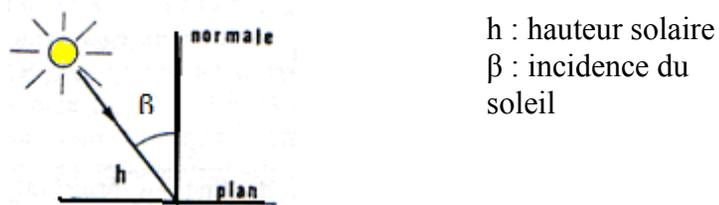


Figure 5-4 : Repérage des angles par rapport à la normale au plan horizontal.

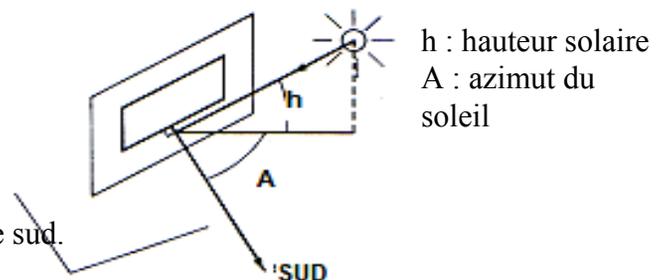


Figure 5-5 : Plan vertical orienté vers le sud.
Source : C.R.A. U, 1988

⁵- Idem, Groupe ABC ABC : «ProtecSolWeb », [En ligne]
<http://www.marseille.archi.fr/~abc/Textes/ProtecSolWeb.PDF> (page consulter le 23-mars-2005)

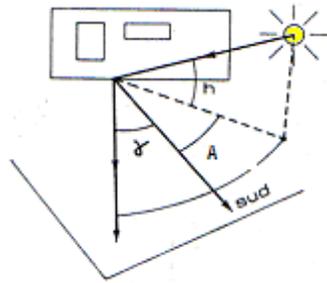


Figure 5-6 : Plan vertical d'orientation quelconque.

Source : C.R.A.U, 1988 p.40

5.2.2- Orientation d'une paroi verticale :

L'azimut de la paroi verticale suivant l'orientation est déterminée suivant le tableau (5-1), l'azimut égale à 0° pour l'orientation Sud, elle est négative à l'Est et positif à l'ouest .

Orientation	Azimut (degrés)	Orientation	Azimut (degrés)
N	-180	N	180
NNE	-157.5	NNO	157.5
NE	-135	NO	135
ENE	-112.5	ONO	112.5
E	-90	O	90
ESE	-65.5	OSO	65.5
SE	-45	SO	45
SSE	-22.5	SSO	22.5
S	0	S	0

Tableau 5-1 : Azimut de la paroi verticale suivant l'orientation.

Source : C.N.E.R.I.B, 1998.

5.3- La forme et l'orientation :

Du point de vue de la consommation d'énergie, la forme optimale pour une construction est celle qui permet un minimum de gains solaires en été et un maximum gains solaires en hiver (voir figure 5-8). A ce titre il faut souligner les performances thermiques indéniables que représente la construction de forme compacte (elle présente un volume donné, un ratio de surface à volume réduit) et donc un minimum d'échange thermique. les déperditions thermiques du logement se font par le renouvellement d'air et par l'enveloppe. Une forme "compacte"est plus économe en énergie qu'une forme "éclatée", puisque les déperditions sont proportionnelles à la surface d'échange entre l'intérieur chauffé et l'extérieur froid.

Le "coefficient de forme" est le rapport entre la surface de l'enveloppe et le volume habitable.

$$Cf = Se / V \dots\dots\dots[1]$$

- où: Se - surface de l'enveloppe
- V - volume habitable
- Cf- coefficient de forme

Dans son livre *design with climate* (1967), OLGYAY décrit une approche air soleil en rapport avec l'orientation dans laquelle une différence autant de 3°C dans température de l'air dans un bâtiment entre la plus mauvaise et meilleure orientation.

L'allure générale d'un bâtiment, doit être pensé de manière à faciliter la pénétration du rayonnement solaire à l'intérieur de la construction pendant l'hiver et l'éviter pendant l'été. Une forme optimale est, donc celle qui perd le minimum de chaleur pendant la saison de chauffe et en gagnant le minimum pendant la saison de surchauffe.

Les recommandations énoncées par V. OLGYAY, dans son livre « design with climat » et qui résume les trois principes suivants :

- Le carré n'est pas la forme optimale quelle que soit la localisation de la construction.
- Toutes les formes allongées dans la direction Nord-sud sont moins efficaces que la forme carrée, aussi bien en hiver qu'en été.
- Il existe une forme optimale générale donnant les meilleurs résultats dans chaque cas, et pour tous les climats, c'est la forme allongée dans la direction EST-OUEST.

6.3.1- Orientation et accès du soleil :

La quantité de rayonnement indirect tombant sur une surface est presque indépendante de l'orientation extérieure tandis que le rayonnement direct (figure 5-7) dépend fortement de l'orientation.⁶

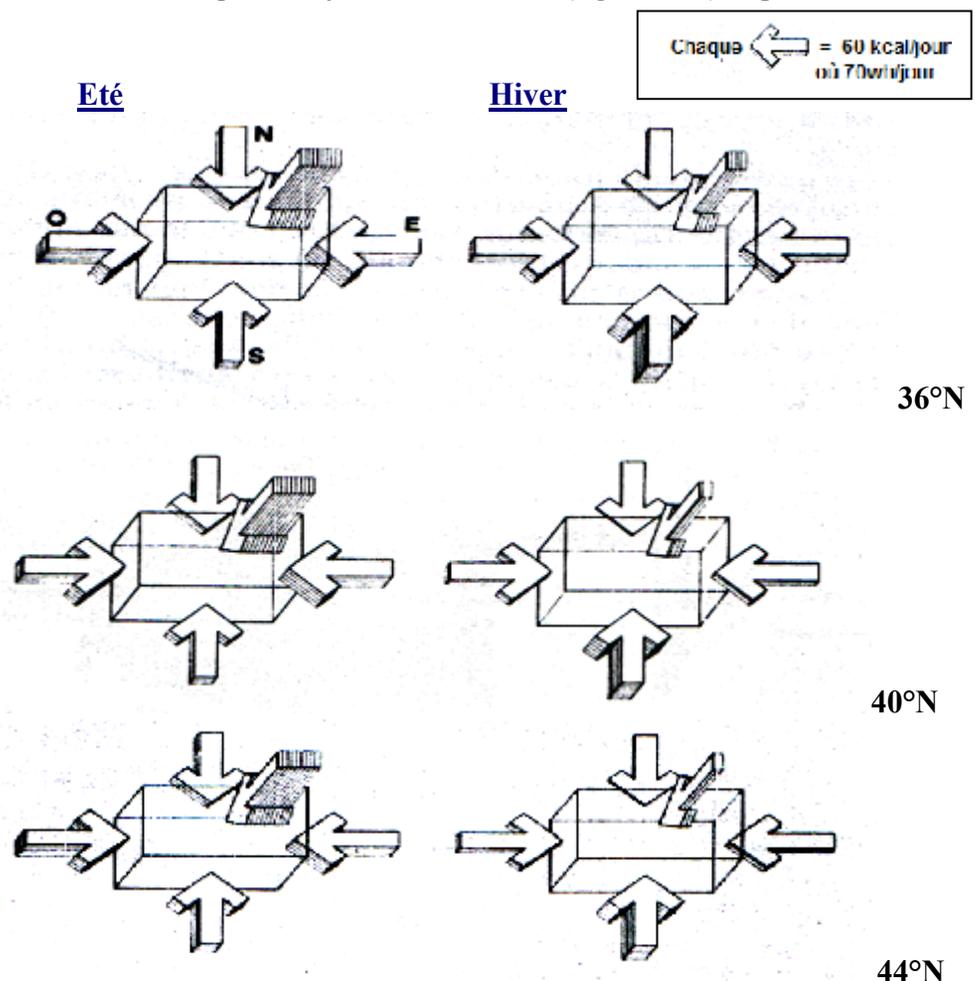


Figure 5-7: Intensité Du Rayonnement Solaire Sous Différentes Latitudes. Source : MAZRIA. ed, 1981.

⁶ -Site Internet [en ligne] www.squl.com , consulté le 11/2004

MAZRIA a déduit que :

- Les intensités du rayonnement solaire reçu sur chaque paroi de la construction qui concrétise les conclusions D'OLGYAY.V 1963 ; ou la construction qui s'étirant le long d'un axe Est-ouest exposera sa plus grande façade au sud, face aux apports thermiques maximum pendant les mois d'hiver et ses façades les plus réduites EST et OUEST aux apports solaires maximums en été, lorsque la chaleur n'est pas souhaitée pour toutes les latitudes tempérées de l'hémisphère Nord (32° à 56°)
- La façade sud d'un bâtiment reçoit en hiver, près de trois fois plus le soleil que les façades. EST et OUEST « voir le chapitre 3 »
- Ces proportions s'inversent en été, et la façade sud reçoit alors beaucoup moins de soleil que les façades, EST et OUEST ainsi que la toiture
- La façade NORD, reçoit très peu de rayonnement qu'elle que soit la saison

Pour cela, l'exposition sud est donc idéale pour l'hémisphère Nord.

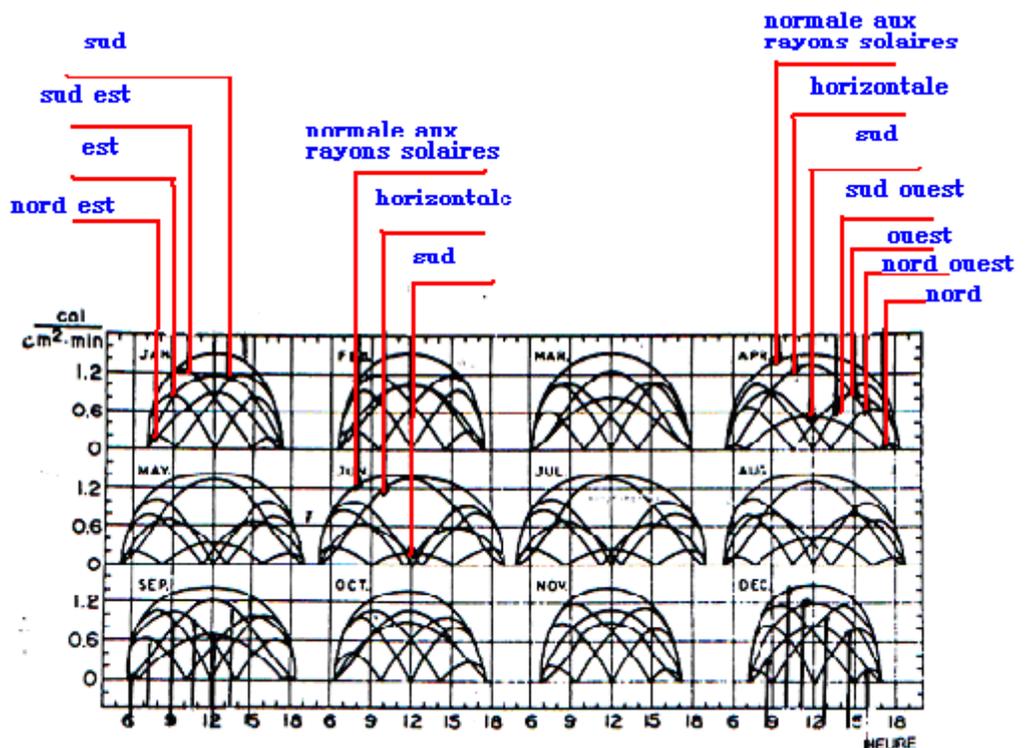


Figure 5-8 : Variation de l'intensité solaire reçue des surfaces de différentes orientations. Source : GIVONI. B, 1978.

On peut déduire du graphe (figure 5-8) que :

- 1- Un mur SUD reçoit le rayonnement direct en décembre qu'en juin.
- 2- Un mur NORD ne reçoit le rayonnement direct qu'entre le 21 mars et le 21 septembre.
- 3- La surface horizontale reçoit le rayonnement le plus intense en été mais entre novembre et janvier elle reçoit moins qu'un mur sud, sud-est et sud-ouest.

5.3.2- Effets combinés du rayonnement solaire et des conditions de l'air ambiant :

L'effet air sol (effet radiatif) d'après WRIGHT. D, 1978 c'est-à-dire l'influence du rayonnement solaire sur la température de l'air au voisinage de la paroi isolée, et sur la température de la face exposée au soleil, ce calcul tient compte de plusieurs facteurs :

- Rayonnement solaire sur toute l'enveloppe du bâtiment.
- Température extérieure de l'air suivant l'heure du jour et la position du soleil
- Orientation du bâtiment
- Caractéristique de la paroi extérieure (masse thermique, conductibilité, couleur, état de la surface
- Protection solaire de toutes ces parois
- Emplacement des fenêtres.

La température air soleil comprend trois températures :

- 1- celle de l'air extérieur
- 2- la fraction de rayonnement solaire absorbée par la surface
- 3- l'expression de l'échange de chaleur radiante de grande longue d'onde avec l'environnement

D'après GIVONI la température air soleil est relative à la surface d'un élément de construction donnée par la formule suivante :

$$T_{sa} = T_a + \frac{aI}{h_e} + (T_r - T_a) \frac{hr}{h_e} \dots\dots\dots [2]$$

- T_{sa}** : température air soleil (°C)
T_a : température de l'air extérieur (°C)
a : facteur d'absorption (dépend de la couleur externe)
I : intensité du rayonnement solaire global reçu par la surface
 (Somme rayonnement diffus et réfléchi arrivant sur la surface selon son orientation) (w/m²)
h_e : coefficient total d'échange de surface externe
hr : coefficient de rayonnement de surface externe
T_r : température radiante moyenne de l'environnement

$$T_{sa} = T_a + \alpha I/h_e \text{ (formule simplifiée) } \dots\dots\dots [3]$$

5.4- L'orientation optimale :

5.4.1- Hiver saison de chauffe :

L'orientation privilégiée est celle qui reçoit le plus fort ensoleillement. La figure (5-9) présente dans le cas d'un logement à double orientation la réduction de l'ensemble des apports solaires lorsque la façade principale devient sud-est (ou sud-ouest), ou Ouest, et nord. D'après les études faites sur la région Provence alpes cote d'azur en 1988 que jusqu'à 45° vers l'est ou l'ouest, la perte est limitée à 15% des apports. Ainsi que l'augmentation des besoins du logement, dépend directement de la surface des vitrages.

Les recherches du CSTB, ont déterminé les valeurs du rapport existant entre les apports calorifiques dus au rayonnement et ceux due à la température externe. Les rapports s'établissent (tableau 5-2) comme suit :

N	NE	E	SO	S	SE	O	NO	Horizontal
13%	31%	44%	36%	21%	36%	44%	37%	96%

Tableau 5-2 : Rapport calorifique des apports de rayonnement et de la température externe sur une paroi verticale selon l'orientation. Source : ORNS, 1983

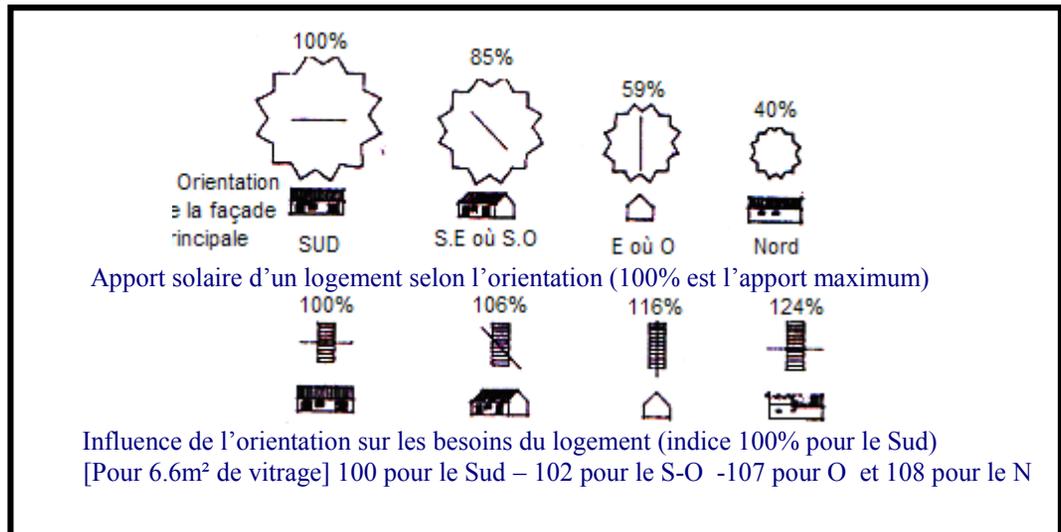


Figure 5-9 : Influence de l'orientation sur les besoins du logement. Source : G.R.P.A.C.A, 1988.

5.4.2- Été période de surchauffe :

L'orientation privilégiée est celle qui reçoit le plus faible ensoleillement. Les apports solaires dans ce cas accusent une augmentation sensible.

Pour un logement peu vitré sans occultation (6.6m² de la façade principale), orienté à 45° ou 90° vers l'Est ou l'ouest, la température moyenne dépasse d'un peu plus de 1°C celle du même logement orienté plein sud. Et les températures maximales sont majorées de 2°C lorsque l'exposition est Ouest.⁷

Comme il faut noter que même la course apparente du soleil est symétrique, il n'en est pas de même de la courbe journalière de températures. Il en résulte que les apports par l'Ouest sont plus gênants que ceux parvenant par l'est.

5.4.3- Détermination de l'orientation optimale :

Pour déterminer l'orientation optimale (figure 5-10), on peut suivre la méthode de V. Olgyay, 1967:

En traçant les directions du gain radiant maximum pendant les mois chauds (a) et les mois frais (b), il est possible de déterminer l'orientation optimale (c) pour n'importe quel endroit donné.⁸

Il est peu probable que les deux directions soient perpendiculaires entre elles, un certain compromis doit être fait afin de réaliser la distribution la plus satisfaisante des reçus totaux de la chaleur en toutes les saisons. Il est difficile de généraliser, mais pendant que les murs faisant face d'est et ouest reçoivent les intensités les plus élevées du rayonnement qu'ils devraient normalement être maintenus aussi réduits que possible. Les ouvertures, s'ils doivent être employées dans ces orientations, il faut qu'elles soient aussi petites que possible. Le côté ouest, qui reçoit son rayonnement maximum pendant la partie la plus chaude du jour, peut être particulièrement gênant.

⁷ - GUIDE POUR LA REGION PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR « conception thermique de l'habitat » EDISUD. France, 1988. page.40

⁸ - Olgyay, V - Design with climate- Bioclimatique Approach To Architectural Regionalism- PRINCETON, New Jersey, 1967.

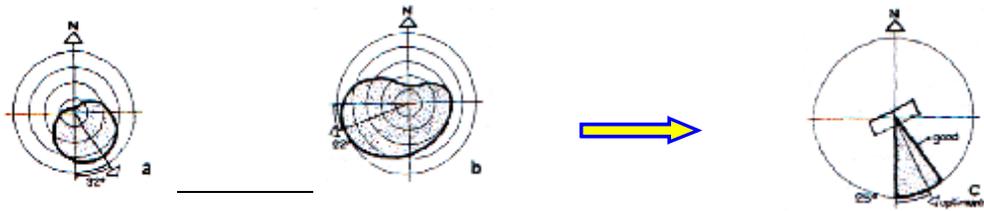


Figure 5-10 : Détermination de l'orientation optimale.

Source: OLGAYAY .V, 1967.

a = totale radiation durant la période froide
 b = totale radiation durant la période chaude
 c = à partir du diagramme un compromis détermine l'orientation optimale

La (figure 5–11) montre pour la ville de Constantine que les radiations solaires qui tombent sur une paroi selon les deux périodes (sous chauffe et de surchauffe) où on peut estimer que l'orientation optimale qui reçoit le maximum des radiations en hiver et le minimum en été est l'orientation sud.

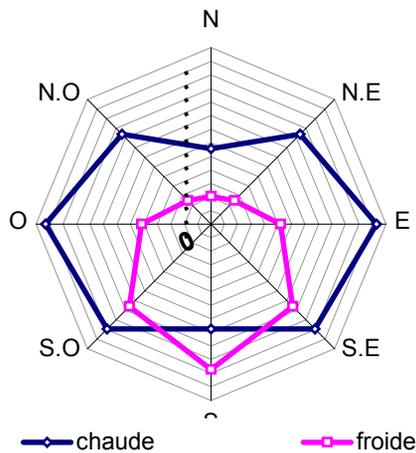


Figure 5-11 : Radiations solaires à la latitude 36°17 (pour une période de surchauffe et une deuxième de sous chauffe). Sources : CAPDEROU. M, 1988

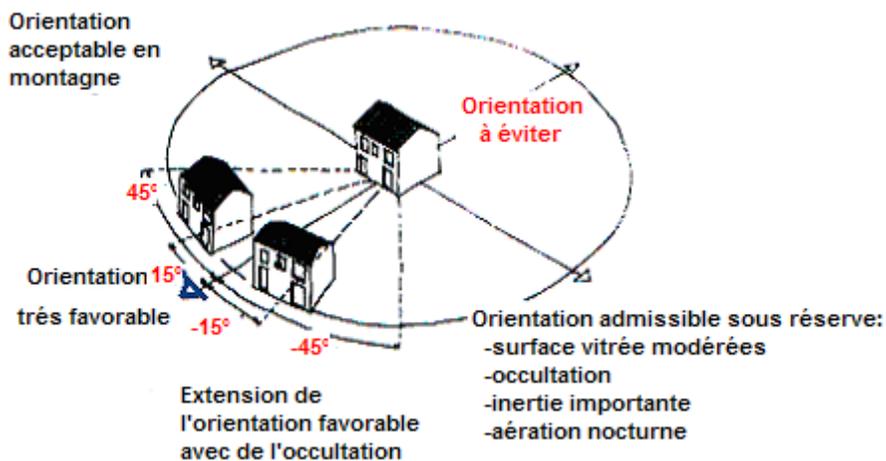


Figure 5-12 : Orientation de la façade principale d'un logement PACA.

Source : G.R.P.A.C.A, 1988

Les théories récentes préfèrent l'orientation sud, cette orientation bénéfique des radiations intenses en hiver et des radiations minimales ou basses en été.⁹ (Henri Wright ; Ludwing Hiberseimer ; Gaetano Vinaccia; Jean.Lebrouton (1945), Augustin Rey, J.Pdoux Et C.Bardet) ont démontré par leurs calculs que cette orientation reste la plus favorable quelque soit la latitude.

5.5- Effet de l'orientation des façades par rapport au soleil :

5.5.1- Effet de l'orientation sur les températures de surfaces extérieure :

La température de la surface externe (d'après GIVONI.B, 1978) a des grands effets sur :

- les conditions thermiques intérieures,
- La dilatation et la contraction de l'élément de la construction.

La température de la surface extérieure dépend de :

1. La température de l'air ambiant. « indépendant de l'orientation »
2. L'incidence du rayonnement solaire.

5.5.2- Orientation, couleur et matériaux :

Parmi les parois verticales, ce sont les parois Est et Ouest qui reçoivent les ensoleillements les plus importants en été.

Leur échauffement au-dessus de la température de l'air résulte de l'absorption d'une part plus ou moins importante de l'énergie solaire incidente, donc principalement de la couleur et de l'orientation.

La (figure –13) et la (figure 5-14) montrent l'effet de la couleur externe et l'orientation pour la température de surface externe. D'après une différence de 23° dans les surfaces peintes en gris sous diverses orientations, tandis que pour les murs peints en blanc la différence était inférieure de l'ordre de 3°. Ce qui explique que l'effet thermique de l'orientation fait référence à la couleur externe (facteur d'absorption)

La (figure5-13) et la (figure5 –14) montre d'après (GIVONI, 1978) l'impacte de la couleur sur les températures de surface, où la couleur claire est meilleure quelle que soit l'orientation. Par contre pour une couleur grise ; on remarque une différence de températures suivant l'orientation. Des formules empiriques qui permettent de prévoir la température externe de murs et toits et de faible masse :

Pour une surface horizontale :

$$T_s = T_a + aI / I_4 - 5 \dots\dots\dots [5]$$

Pour une surface verticale :

$$T_s = T_a + aI / I_4 - 2 \dots\dots\dots [6]$$

T_a = température de l'air extérieur
 a = facteur d'absorption de la surface dépend de la couleur
 I = intensité du rayonnement incident

Les (figures 5-15) et la (figure 5-16) montrent que les températures de surfaces externes des murs orientés dans différentes orientations et de différentes couleurs d'une zone semi-aride du NEGEV en Israël d'après GIVONI

Ce qui explique que plus que le coefficient d'absorptivité est grand plus que la température de surface est plus importante. Pour cela il faut éviter les couleurs foncées sur les parois soumises à

⁹ - OLGAYAY, design with climate – bio climatic approach to architectural regionalism, 1962 page.30

un fort ensoleillement d'été, en particulier lorsqu'il s'agit de la paroi Ouest ou horizontale la figure (5-17) donne les couleurs suivant l'orientation d'après G.R.P.A.C.A¹⁰.

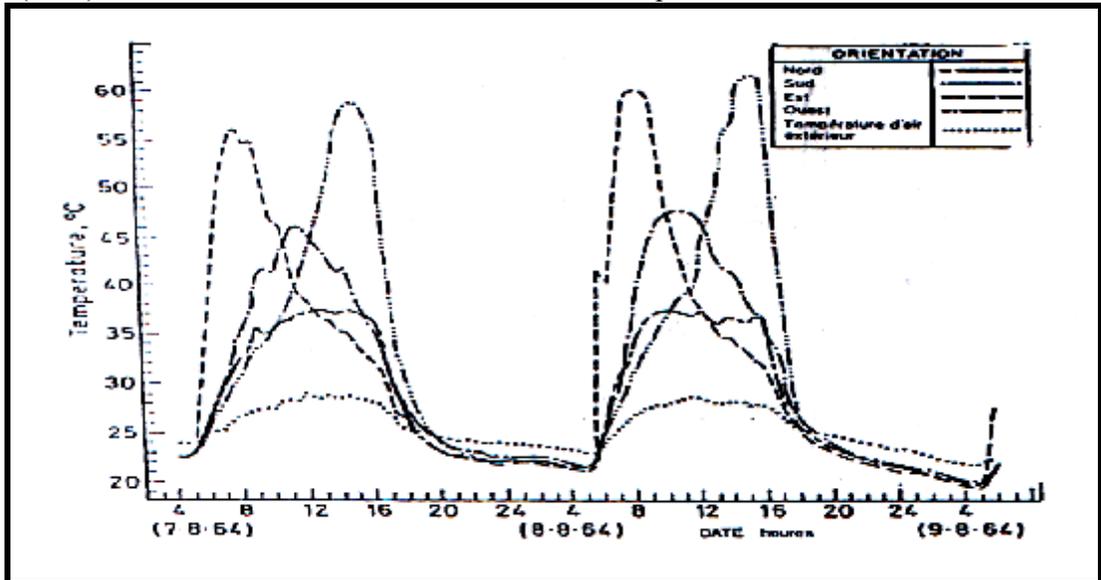


Figure 5-13 : Températures de surfaces externes de murs gris de différentes orientations.

Source : B. GIVONI, 1978.

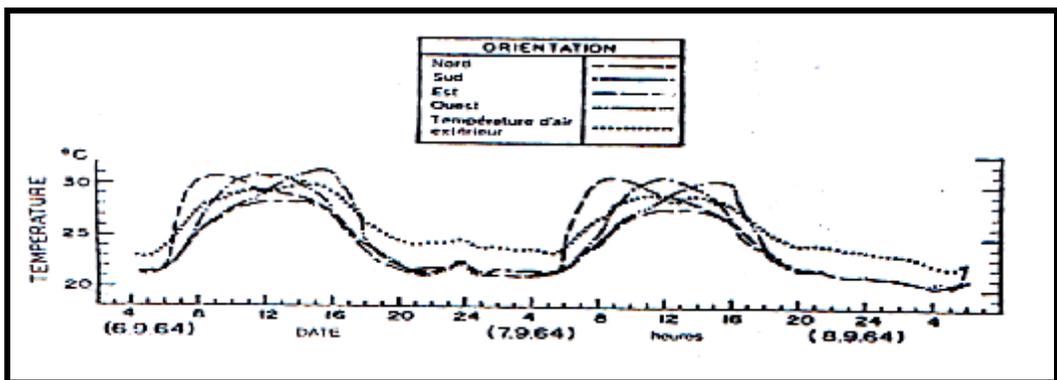


Figure 5-14 : Températures de surfaces externes de murs blancs de différentes orientations.

Source : B.GIVONI, 1978.

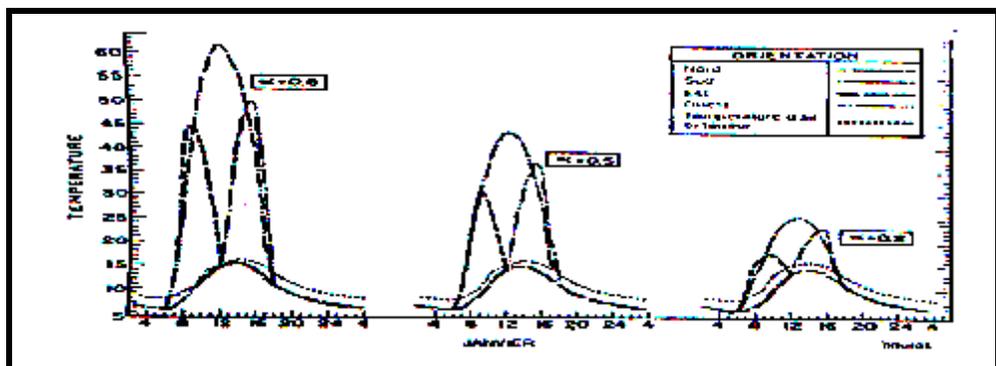


Figure 5-15 : Températures de surfaces externes calculées pour janvier sur des murs de différentes orientations et couleurs externes. Source : B.GIVONI, 1978

¹⁰ - GUIDE POUR LA REGION PROVENCE ALPES COTE D'AZUR « Conception Thermique De L'habitat »EDISUD. France, 1988- page.41

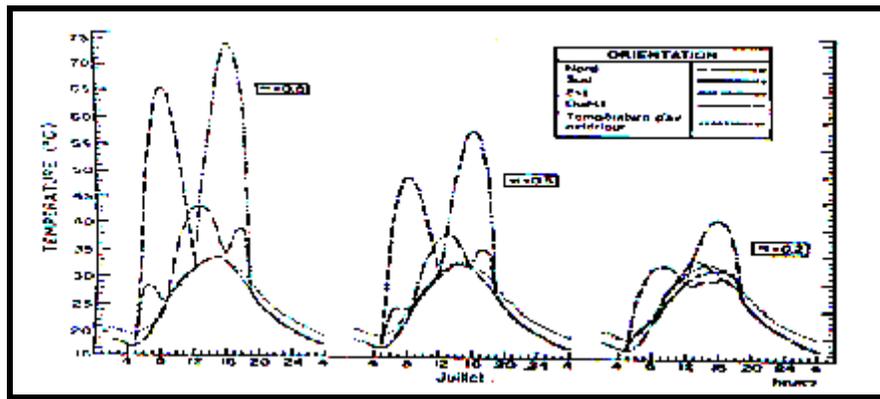


Figure 5-16 : Températures de surface externe calculées pour juillet sur des murs de différentes orientations et couleurs externe.

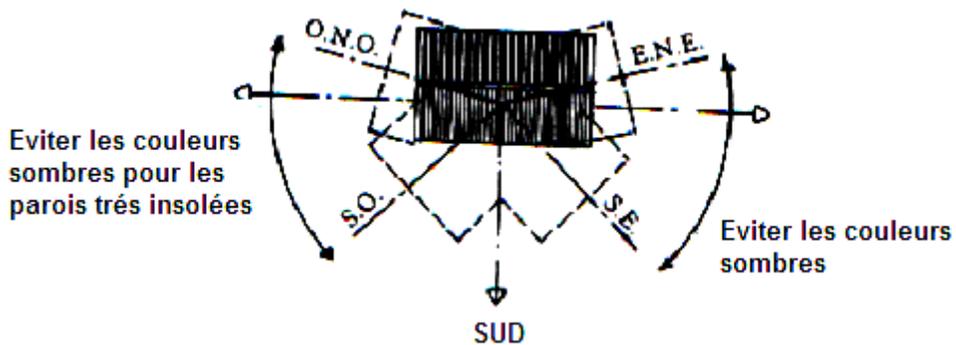


Figure 5-17 : L'orientation et la couleur. Source : G.R.P.A.C.A, 1988.

5.5.3- Effets de l'orientation sur les températures intérieures :

L'importance de l'effet thermique de l'orientation des murs sur l'ambiance intérieure dépend :

- De la conception,
- Des caractéristiques de la construction.

Les températures suivent le régime de l'air extérieur et offre peu de variation avec l'orientation dans le cas d'une surface de faible absorption. Et les températures surfaciques intérieures pour les différentes orientations sont à peu près les mêmes veulent dire indépendante de l'orientation (Elle dépend de la capacité calorifique de la structure et par la résistance thermique des matériaux constituant le bâtiment) ; Donc elle est très peu affectée par l'orientation. (GIVONI.B, 1978- E.GREGORY. McPHERSON , 1980 ¹¹)

Si l'extérieur des murs est sombre, le régime de la température varie en fonction de l'irradiation solaire de la surface, qui est déterminé par son orientation.

L'importance de l'élévation de la température au-dessus du niveau ambiant dépend de la direction du vent.

L'influence de l'orientation sur les températures externe affecte le flux de chaleur à travers le mur, et les températures de surface interne. (B. GIVONI, 1978) constate que lorsque la couleur est grise, la différence de température entre murs d'orientations et d'épaisseur différente était plus marquée pour les murs minces (de 10cm) avec un écart de 4.5°C, l'augmentation de l'épaisseur modérait sensiblement ces variations de températures ou l'intervalle des températures était de 2.5°C

¹¹ - E.GREGORY. McPherson "the Effects of Orientation and Shading from Trees on the inside and outside Temperatures of Model Homes" department of landscape architecture and environmental planning. Utah state university, UMC40, 1980

5.6- Effet de l'orientation des façades par rapport au vent :

La direction du vent a un impact direct sur les conditions d'ambiance intérieure, et la position de la façade joue un rôle important pour le refroidissement et la ventilation interne. La position des façades et des ouvertures par rapport aux vents dominant n'est pas indifférente ; distinguer entre les vents forts et les brises ; Les premières constituent une nuisance la seconde peut contribuer à la ventilation naturelle d'été.

Les orientations peuvent donc être choisies suivant le besoin climatique de la région.

Les parois exposées au vent porteur de pluie doivent être spécialement protégées, tandis que celles exposées aux brises peuvent être plus largement ouvertes (Izard.J.L et Guyot.A, 1979)

5.6.1- Effets de l'orientation des fenêtres sur les températures intérieures:

L'effet de l'orientation des fenêtres sur les températures intérieures est largement conditionné par :

- * / La ventilation naturelle.
- * / Le degré des protections solaires.

Lorsque l'occultation n'est pas efficace le rayonnement solaire pénètre directement par la fenêtre et chauffe l'intérieur. Les températures sont alors très influencées par l'orientation des fenêtres. Les vitrages d'une habitation sont responsables d'une importante source de déperditions thermiques « 10 fois moins isolante qu'un mur »¹² mais ils peuvent être le point de passage d'importants apports solaires, l'hiver comme l'été.

La (figure 6-18) montre l'effet de l'incidence du vent sur la température intérieure, (GIVONI, 1978- HARRIS J. SOBIN, 1981) ont démontré qu'une légère amélioration en vents obliques, spécialement dans le cas d'une ouverture de forme horizontale.

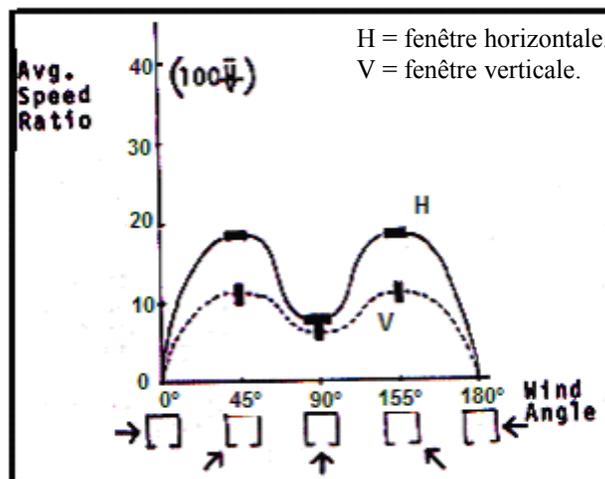


Figure 6-18 : Effet de la direction du vent sur la distribution de l'air à l'intérieur des chambres. Source : HARRIS J. SOBIN, 1981

5.6.2- Rapport Surface D'ouvertures/ Autres Surfaces Extérieures:

On considère que plus le rapport surface d'ouverture par rapport à la surface extérieure diminue, tout en veillant à la ventilation, plus la performance thermique globale de l'édifice augmente.¹³

¹² - **GUIDE POUR LA REGION PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR** « conception thermique de l'habitat » EDISUD. France, 1988, page.46

¹³ - **MAAZOUZ**. L'intégrations Des Facteurs Physiques De L'environnement Dans Le Processus De Conception Architecturale- thèse de doctorat d'état, université de Constantine, 2000.

5.6.3- Rapport Surface Exposée/ Autres Surfaces :

Plus la forme présente des surfaces exposées au froid ou à la chaleur plus la balance thermique devient négative (les échanges de la chaleur sera plus grand).

5.7.1- Orientation et composition du plan intérieur d'un logement :

L'élaboration de zoning climatique (figure 5-19) permet suivant le type d'activité et le taux de fréquentation de l'espace, de disposer les espaces suivant les besoins énergétiques, suivant que l'espace est chauffé, chauffant ou tampon, cela permet de réduire les besoins calorifiques et frigorifiques des bâtiments et d'en augmenter le confort.¹⁴

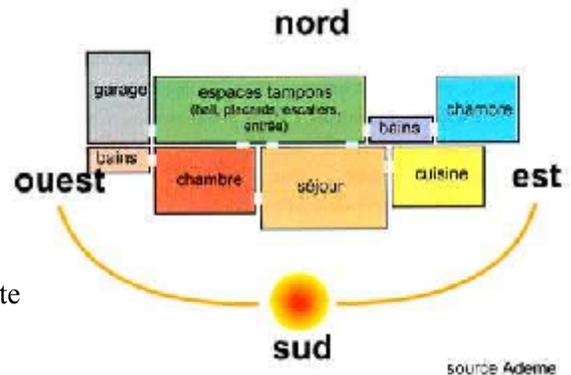


Figure 5-19 : Zoning climatique. Source : Adem. [Site Internet]

○ Des ambiances thermiques adaptées aux activités dans la maison:

Felix Mabroutin arrive à des conclusions suivantes :¹⁵

- Pour un bon séjour (chaud en hiver, fraîche en été) les façades principales de la construction doivent faire face au sud.
- Les façades face au sud-est et sud-ouest offre les avantages de régularité d'insolation, mais elles sont froides en hiver et chaude en été que les façades face au sud.

○ Des espaces tampons pour protéger la maison du froid et du vent :

Des espaces tampons aménagés en locaux non chauffés (sas d'entrée, garage, cellier,...) et adossés au Nord et à l'Est de l'habitation la protègent du froid et du vent. Ils se comportent comme une isolation thermique et diminuent les pertes de chaleur. Un grenier non aménagé peut aussi remplir cette fonction. Pour bien jouer leur rôle, les espaces tampons doivent être séparés des locaux habités par l'isolation de l'habitation.

5.7.2- Comportement de l'utilisateur :

L'influence du comportement de l'utilisateur est essentielle aussi bien sur le bilan d'hiver que sur le confort d'été. Les enjeux thermiques sont liés directement au comportement de l'utilisateur. La pratique de la manipulation des ouvertures, la fermeture ou l'ouverture influe sur le degré du confort intérieur.

La construction doit être conçue pour fonctionner avec le climat de toute l'année, l'intervention de l'utilisateur peut être requise pour la manipulation et le réglage d'éléments mobiles tels que volets et stores (BENNADJIA, 1999)

Des résultats de recherches montrent d'après (Abdou.S, 2003) que les conditions climatiques intérieures peuvent être tolérables et la sensation du confort n'est pas liée uniquement à la réponse physique du bâtiment mais aussi à l'acclimatation des occupants.

¹⁴ - site Internet, Adem [En Ligne] www.wanado.com page consulter le (30 janvier 2005)

¹⁵ -FELIX MARBOUTIN « L'actinomètre et l'orientation des rues et des façades » 19....

5.8- Analyse architecturale du cas d'étude :

5.8.1- Forme urbaine du site d'étude :

Le site d'étude présente une structure éclatée contrairement au tissu urbain traditionnel ou colonial, spécifique à un climat chaud et sec. Ce qui augmente d'une part les surfaces goudronnées (routes, parking) ces surfaces absorbent la chaleur pendant le jour, et la restitue dans l'air pendant la nuit. Le site urbain éclaté augmente l'exposition des surfaces extérieures aux rayons solaires (figure 5-20) beaucoup de recherches ont constaté qu'une différence de température allant jusqu'à 5°C peut exister entre la température d'un espace ouvert et un espace dense (Arbaoui A, 1998)

Les espacements entre les bâtiments très vastes varient entre 13 et 15 mètres. Des espaces intérieurs entre bâtiment devront être pourvus d'espaces verts et de jeu, qui auront pu fournir au site une micro climat agréable. Les espaces externes demeurent désertiques, sans aucun signe de vie comme le montre la planche (5-1) Les espaces plantés sont donc inexistant. Ce qui favorisent la réflexion de la chaleur vers le bâtiment.

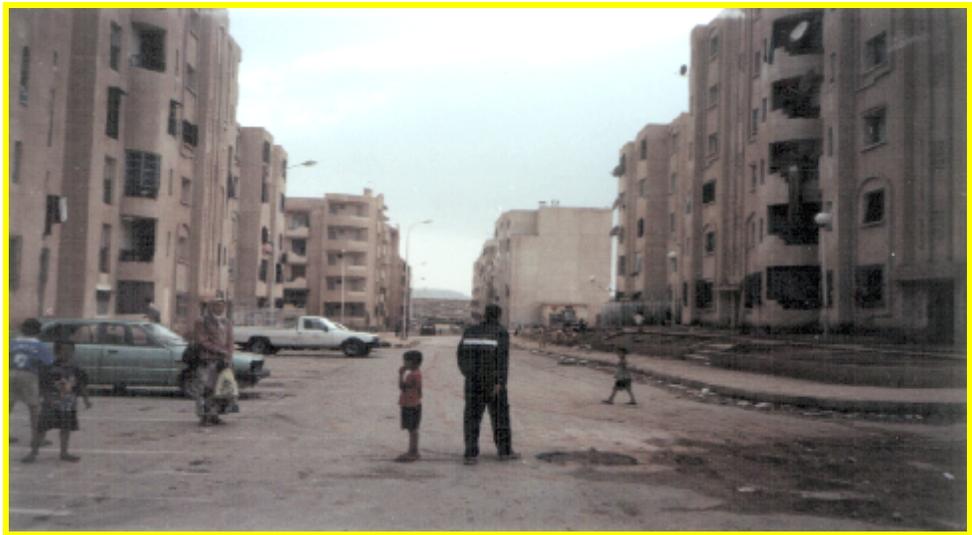
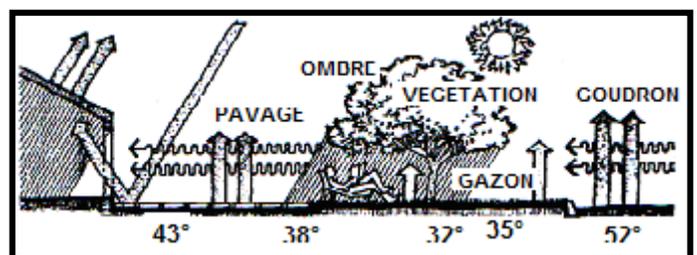


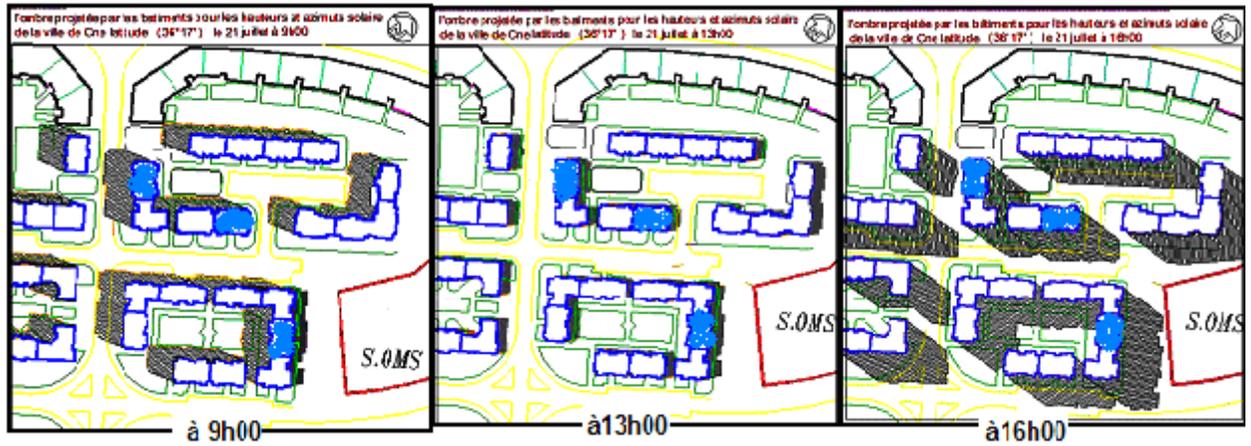
Planche 5-1 : Espacement entre bâtiments au niveau du site d'étude de l'UV7.

Source : Auteur, 2004.

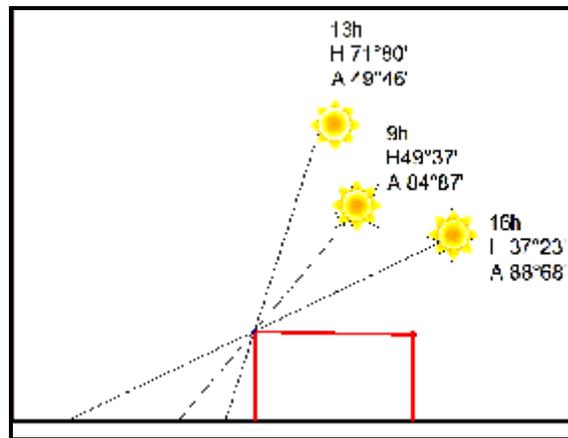
Les voies de circulations, comme le montre les planches (5-1) et (5-2), sont larges et sans protection solaire, en raison de leur haute capacité calorifique, et leur couleur sombre, elles absorbent de la chaleur de rayonnement solaire, pendant la journée et la restitue pendant la nuit et qui donne des températures d'air plus élevé. A noter que les surfaces du sol nu et asphalté, non ombragés participent à l'augmentation de la chaleur surtout en été. Où la nature du sol a une grande influence sur les valeurs des températures et de l'humidité, les températures dans et autour du bâtiment peuvent être diminuées ou augmenter selon la nature de la surface (figure5-20) d'après KONYA.A, 1980.les surfaces riches en végétation sont plus humides et plus frais que celle au niveau d'un sol nu ou pavé, La nature du sol est donc déterminante dans le phénomène d'échauffement de l'air.

Figure 5-20: Les Températures Autour D'un Bâtiment Et La Nature Des Surfaces Environnantes. Source : KONYA.A 1980

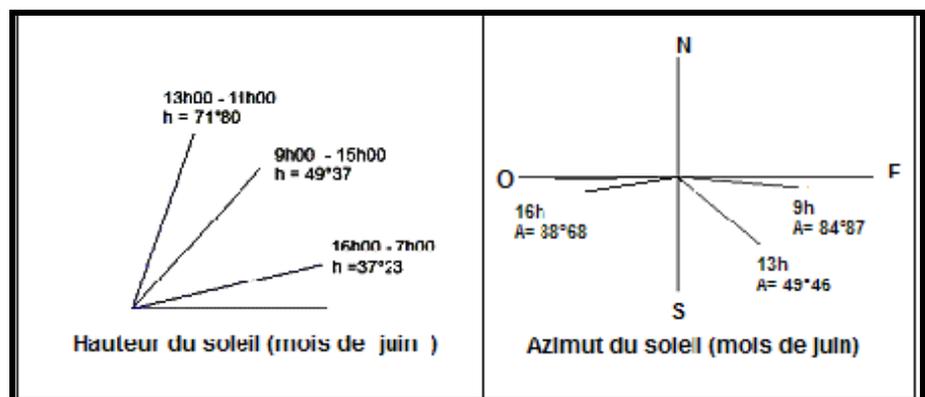




a) Masque d'ombre des espaces extérieurs



b) Extension de l'ombre pour un bâtiment de 16 mètres de haut



c) La position du soleil le 21 juin

Figure 5-21 : Angles du soleil & Masque d'ombre du modèle d'étude à 9h00, 13h00 et 16h00.

Source : Auteur.

L'implantation arbitraire des bâtiments permet une diversité d'orientation par rapport aux points cardinaux, ce qui aggrave le problème de confort thermique à l'intérieur des logements « réchauffement excessif en été, le bourdonnement des vents froids qui soufflent sur la paroi en hiver ce qui augmente les déperditions, donc les besoins de chauffage seront importants. » La disposition des constructions, leurs formes, leurs dimensions et leurs juxtapositions modèlent les écoulements (figure 5-22). Pour cela connaître la direction des vents pour pouvoir protéger le site et les différents bâtiments des effets indésirables. Les voies au niveau de l'échantillon d'étude sont orientées vers la direction des vents dominant (figure 5-23), se trouvent canalisés le long des voies, et l'effet de perturbation est atténué par la longueur des voies.

Figure 5-22 : Effet du vent par les différentes dispositions de la construction

Source : Ch.Chatelet, P.Lavigne et P.Fernandez, 1998

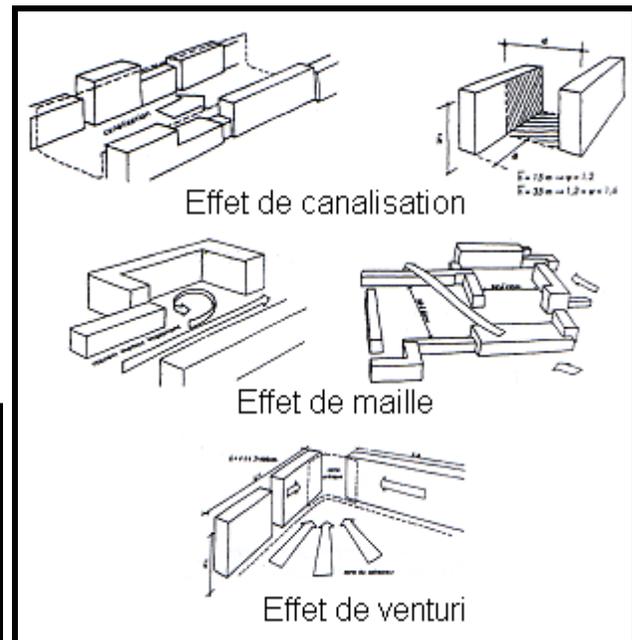
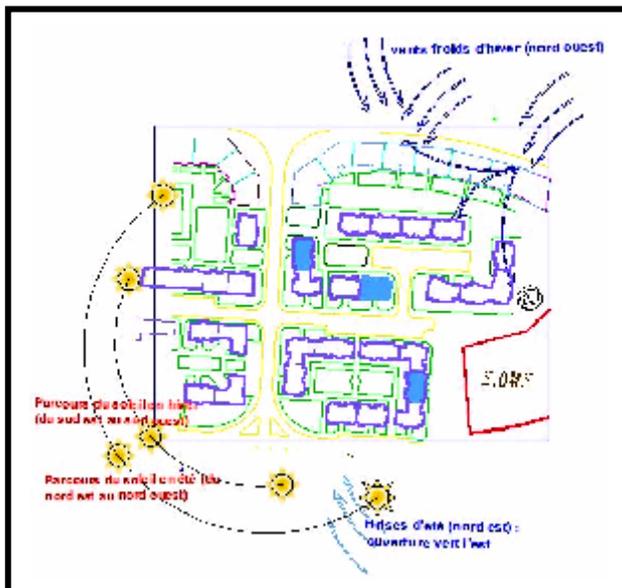


Figure 5-23 : Effet des éléments du climat sur le site d'étude de la nouvelle ville Ali Mendjeli.

Source : Auteur

5.8.2- Forme et orientation du bâtiment :

L'analyse des données climatiques de la ville de Constantine, révèle que les plus fortes intensités de rayonnement solaire sont reçues en été ; engendrant une très forte élévation des températures des surfaces extérieures frappées par le rayonnement solaire direct.

La question des effets thermique de l'orientation fait référence à la couleur externe des surfaces. Cette chaleur générée à l'extérieur sera transmise à l'intérieur du bâtiment à travers ses composantes opaques ou transparentes en y causant des ambiances inconfortablement chaudes.

Pour le modèle d'étude, les orientations, Est, Ouest, Sud-est et Sud-ouest sont attribuées aux façades principales (voir planche 5-3) Et qui ne respecte pas les recommandations d'OLGYAY citées plus haut.



Planche 5-2 : Largeurs des voies de circulation au niveau de l'UV7 (nouvelle ville de Constantine).
Source : Auteur, 2004



Planche 5-3 : Disposition des bâtiments suivant différentes orientations.



Planche 5-4 : Dispositions des mêmes espaces dans différentes orientations (plan de masse) de la nouvelle ville ALI MENDJLI (UV7) Source : CDROM –DUC, 2003.



Planche 5-5 : Disposition des bâtiments dans différentes orientations (le même séjour) une deuxième parcelle de l'UV7 de la nouvelle ville ALI MENDJLI.

Source : CDRM-CUC, 2004

5.8.3- Les ouvertures :

Les ouvertures sont des lieux privilégiés pour les échanges de la chaleur. Sa taille et son orientation sont parmi les facteurs les plus importants qui affectent l'ambiance intérieure.

Les ouvertures du modèle d'étude sont orientées dans diverse direction qui aggrave la situation du lieu. En plus la meilleure orientation requise des fenêtres et celle qui reçoit la quantité maximale de rayonnement solaire en hiver et la quantité minimale en été.

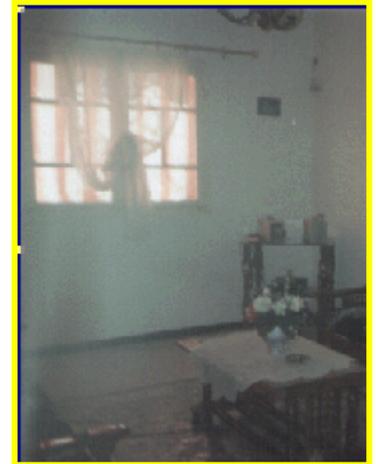
D'autre part, pour améliorer l'efficacité des fenêtres, il est important d'associer un système de protection convenable. Les protections solaires du bâtiment contemporain étudié reste pauvre ; et la protection se limite à l'utilisation d'un rideau en toile (planche 5-6), et (planche 5-7) celle-ci ne fourni pas une protection efficace durant la saison chaude surtout pour les orientations Ouest montré sur les diagrammes solaires pour les trois échantillon étudié.(figure 6-24), (figure 6-25) et (figure 6-26)



Planche 5-6: Elément architectural utilisé pour la façade du site d'étude de la nouvelle ville et type de protection utilisé pour se protéger des rayons solaires intenses.



a



b

Planche 5-7 : Type d'occultation utilisée pour les séjours du cas d'étude (a- séjour sud-est, b- séjour nord-est et nord-ouest)

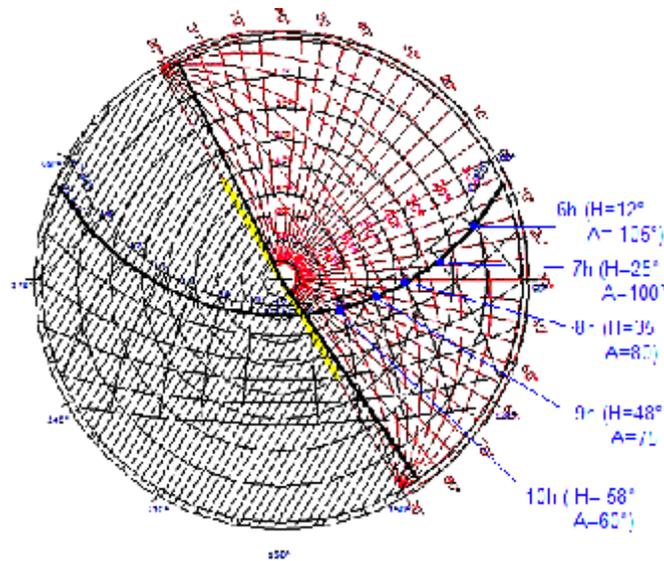


Figure 5-24 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre du séjour NORD-EST.

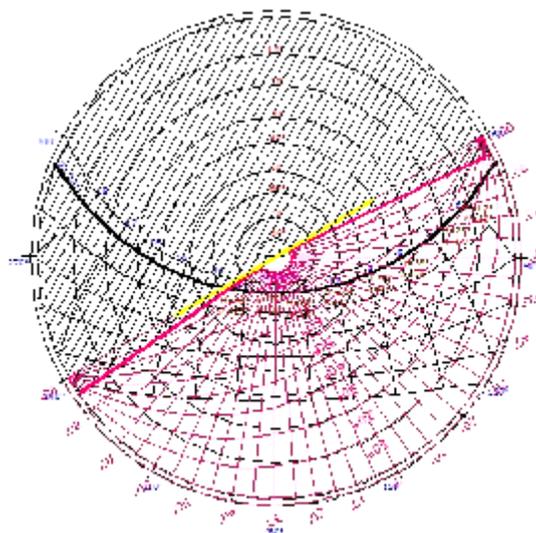


Figure 5-25 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre du séjour SUD-EST.

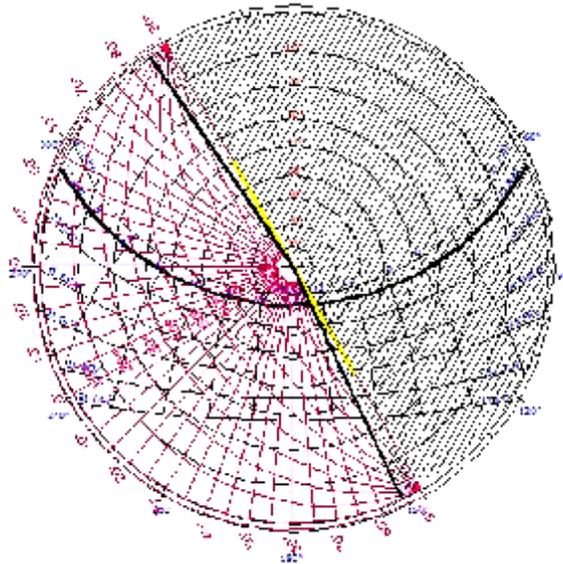


Figure 5-26 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre du séjour SUD-EST.

Le déficit thermique de ces constructions est dû à la forme urbaine, au microclimat et aux éléments architecturaux. Il se révèle que le bâtiment contemporain de la nouvelle ville présente une pauvreté architecturale du point de vue thermique. Le concepteur aurait pu s'inspirer de l'architecture traditionnelle et des exemples contemporains, pour adapter le bâtiment à la sévérité du climat, avec le contrôle efficace des rayons solaires et le vent, par la création de l'ombre.

5.9- Techniques Passives De Contrôles Thermiques :

Pour s'abriter de certains effets de la nature, l'homme, et depuis la résolution des contraintes primordiales de vie lui permettant de rechercher un confort appréciable, c'est donné la peine d'innover par des solutions pouvant l'abriter des conditions climatiques quelque fois sévères.

Les enseignants de l'architecture traditionnelle n'ont pas cessé d'émerveiller enquête de solutions aux problèmes.

La mise à l'ombre des fenêtres résulte de l'étude géométrique de la position du soleil par rapport aux façades.¹⁶

A travers des recherches (A.DOURI, 1976) a trouvé que la température des parois internes était très élevée par rapport à la température internes de l'air lorsque ces parois n'étaient pas protégées contre la radiation solaire, et il démontre par-là que l'ombrage de paroi contre la radiation solaire est essentiel dans la diminution de la température de surfaces interne des parois externes de l'enveloppe.¹⁷

5.9.1- L'ombrage Et Ensoleillement :

Plusieurs chercheurs dans le domaine d'architecture en milieu chaud précisent que toute stratégie bioclimatique doit essentiellement se baser sur les conditions d'été pendant la période de surchauffe [GIVONI, 1980.] « Le thème de l'ombre est familier pour tout architecte, mais il

¹⁶ - **CLAUD ROUGERON** – Isolation Acoustiques Et Thermique Dans Le Bâtiment- édition EYROLLES Paris, 1979. Page. 286

¹⁷ - **ABDOU .S** – Investigation Sur L'intégration Climatique De L'habitat Traditionnel En Région Aride Et Semi-aride D'Algérie- cas de Constantine et Ouargla, thèse de doctorat d'état. Université de Constantine, 2003-2004.page.

est une idée directrice pour les architectes modelant avec le soleil. »¹⁸ En saison d'été, le soleil est source de malaise ; Divers éléments utilisés pour ombrager l'enveloppe architecturale, si les murs des façades se portent ombre mutuellement ou bien grâce à l'implantation d'arbre, d'autres moyens sont éventuellement utilisés pour se protéger du rayonnement solaire.

Offrir de l'ombre c'est limiter les radiations solaires sur les surfaces extérieures de l'habitat, pour réduire les apports solaires :

5.9.1.1- Ombre urbaine :

« La forme urbaine, l'étrécissement des rues et la hauteur des constructions assurent un ombrage mutuel des façades. Selon l'orientation, il peut également intercepter les rayons solaires bénéfiques en période froide. Il faudra également souligner que ces rapports entre largeur des rues et hauteur des constructions sont des stratégies utilisées aussi pour protéger les espaces extérieurs ainsi que les bâtisses contre les vents chauds d'été et ceux froids de l'hiver »¹⁹

Généralement le tissu urbain dans l'architecture traditionnelle est dense et compact qui à un effet primordial de protection de rayonnement solaire d'été, et il est protégé contre les vents froids. Ses rues sont étroites longues et tortueuses, qui permet l'ombrage des passages le long de la journée et présente une certaine fraîcheur.

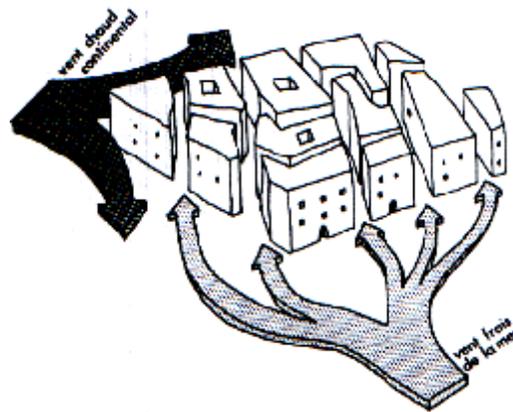


Figure 5-27: Organisation et Orientations des rues pour canaliser l'air frais.

Source : IZARD.J.L & GUYOT.A, 1979.

La protection contre les vents chauds et la recherche des brises fraîches confère à la ville une organisation et une orientation des rues qui canalisent l'air frais (figure 5-27).

La réduction des surfaces extérieures exposées au soleil ; l'ombrage des circulations extérieures. Ou il a été constaté qu'une différence de températures allant jusqu'à 5°C peut exister entre la température d'un espace ouvert et un site à densité moyenne ou forte. Comme il a été démontré que le prospect de la rue dans un tissu traditionnel de la ville d'El Oued, offre un microclimat plus agréable qu'en tissu contemporain.²⁰

Un prospect de type « vis-à-vis » peu intercepter le rayonnement solaire de la fin de journée pour les expositions Ouest (figure 5-28) ou la transmission à l'Est ou à l'Ouest est de **0.52** d'après IZARD.1993²¹

¹⁸ - **BENNADJIA** – *Adaptation climatique ou culturelle en zones arides* – université Aix-Marseille I, 1999. Page.35

¹⁹ - **FERDEHEB.B** – *passive solar journal* - volume n° 4, 1987 PAGE.377-417.

²⁰ - **BOURBIA.F** – *Urban canyon shading design in hot dry climate the city of El Oued, Algeria-PhD thesis, department of construction management and engineering, reading university, UK1999.*

²¹ - **IZARD.J.L** – *Architecture D'été* - construire pour le confort d'été. EDISUD, Aix-en-Provence, 1993. p.

Aussi on constate que la réduction des surfaces d'exposition extérieures (particulièrement les parois horizontales) implique la diminution de surfaces d'échange entre l'intérieures et l'extérieures, et donc participe au confort d'été intérieur des logements.



Figure 5-28 : Masque de type « vis-à-vis » recommandé surtout pour les orientations EST et OUEST ou la protection des façades contre les radiations solaires est maximale.

Source : IZARD. J.L, 1993.

5.9.1.2- L'ombrage par éléments architecturaux :

Les parois de l'enveloppe constituent la « peau » de la construction, c'est à travers elle qu'une partie non négligeable de l'échange thermique se produit. La protection de celle-ci s'avère indispensable. On peut réduire les apports thermiques d'origine solaire par deux techniques différentes qu'on peut associer ; elles consistent à mettre la baie vitrée à l'ombre par des dispositifs architecturaux, où utiliser des moyens de protection tels que stores et vitrages spéciaux.

5.9.1.2.1- Eléments de façades : Sur les façades se sont plutôt les décrochements qui assurent l'ombre. En forme de balcon ou moucharabieh, d'autre région utilise des décrochements en lamelles horizontales et cela dans le but d'ombrager les façades, Comme c'est montré dans la (figure 5-29), un exemple de l'architecture traditionnelle du Yémen.

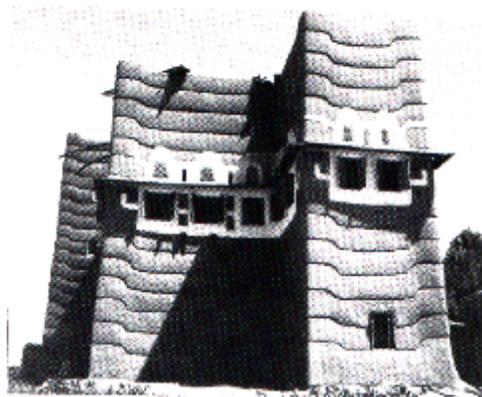


Figure 5-29 : Exemple dans l'architecture traditionnelle du Yémen. Source : IZARD.J.L, 1993. Efficacité de la protection solaire par les éléments de la façade (décrochement en lamelle horizontale, pour l'ombre de la façade).

5.9.1.2.2- Ombre et végétation : le recours à la végétation comme réponse à la recherche de l'ombre est une technique traditionnelle. La végétation procure de l'ombre mais aussi elle produit une humidité qui favorise le rafraîchissement de l'air. La végétation à feuille caduque est recommandée pour les climats semi- arides où la radiation solaire est appréciée en hiver ; « ce type de végétation perd son feuillage l'hiver qui laisse les radiations solaires se pénétrer à l'intérieur et apporte une sensation de fraîcheur durant l'été chaud et sec par humidification. La (figure 5-30) montre une réponse traditionnelle pour la protection des rayons solaires par la végétation.



Figure 5-30 : Réponse vernaculaire à la protection solaire avec un effet d'auvent « la treille »

Source : IZARD.J.L, 1993.

5.9.1.3- L'ombrage par éléments fragmentaires au niveau de l'enveloppe :

5.9.1.3.1- La couleur : la couleur blanche réfléchit les rayons solaires, qui sont peu absorbés par les parois. La chaux est une surface sélective froide qui a un facteur d'émission infrarouge de 90% et un facteur d'absorption solaire de 12%, cette technique de contrôle climatique est bien répandue dans les zones où l'intensité des radiations est forte.

Les enduits blancs à base de chaux dont on badigeonnait les murs permettaient de réfléchir les rayons solaires et évitent un échauffement excessif.

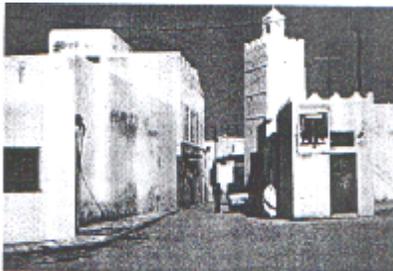


Figure 5-31 : Exemple de Kairouan (Tunisie), réponse au fort rayonnement solaire par l'utilisation extrême de la chaux blanche en enduit extérieur. (La couleur blanche des murs a pour effet d'éviter leur échauffement en réfléchissant le rayonnement reçu et de rendre leur bilan thermique « négatif »

Source : - [IZARD.J. et GUYOT, 1979] ²²

Figure 5-32 : Les façades blanches pour les climats chauds l'été.

La fondation MIRO à Barcelone.



²² - IZARD.J. Et GUYOT. A IZARD. J.L, GUYOT.A - *Archi Bio* – éditions: parenthèses; Paris, 1979.page.104.

5.9.1.3.2- Les éléments saillants ; on distingue

-les brises soleil « éléments qui constituent en des encorbellements horizontaux ou verticaux pouvant être de simples éléments linéaires ou entièrement volumiques »,

-les claustras « ce sont des parois non opaques perforées dont l'objectif est d'ombrager des surfaces verticales, ainsi que le tamisage de la lumière elle est souvent placée en saillie par rapport à la façade »

-les percements « comme les loggias ou terrasses de grandes dimensions ou des fenêtres.

5.9.2- Les écrans solaires :

1. Occultation fixe : sont utilisées pour ombrager les ouvertures et ceci essentiellement pour les périodes de surchauffe (en auvent (figure5-33), en flanc)

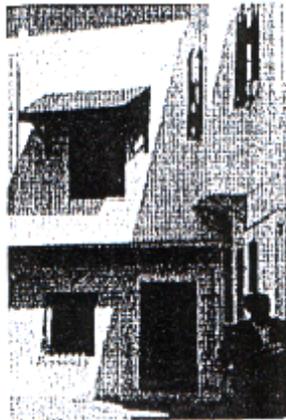


Figure 5-33: Occultation fixe par auvent
« exemple de la Tunisie »

Source : BENNADJIA, 1999.

2. Appareillage et crépissage une texture rigoureuse, telle qu'un appareillage en pierre ou en brique (figure5-34) ou simplement un enduit tyrolien (figure5-35), apporte un ombrage additif au fond²³, traditionnellement, une technique de crépissage très intéressante fut utilisée pour ombrager au maximum le fond de façade. « Le crépissage étant constitué de boules semi-sphériques étalées avec la main sur le mur ; chacune ombrage sa moitié et porte une ombre sur la boule en dessous ou d'un côté selon l'orientation de la façade et la course du soleil »²⁴

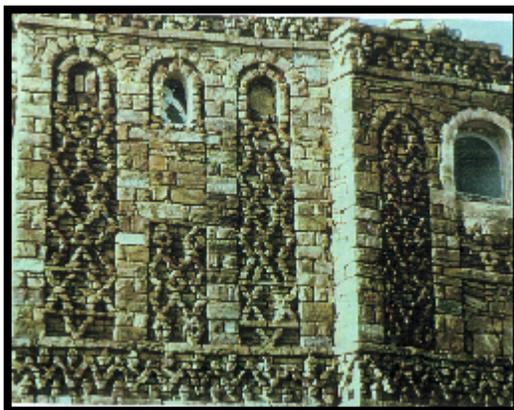


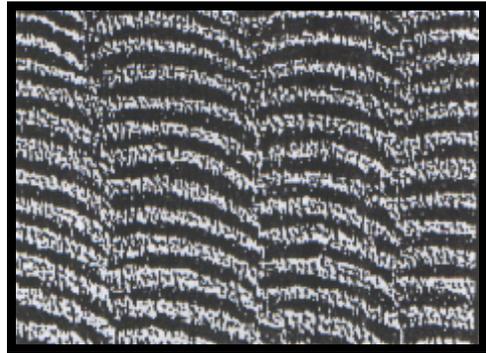
Figure 5-34: Appareillage de briques sur façades,
Yémen. Source : ABDOU.S, 2003.

²³ - ABDOU.S- Investigation Sur L'intégration Climatique De L'habitat Traditionnel En Région Aride Et Semi-Aride D'Algérie- cas de Constantine et Ouargla, thèse de doctorat d'état. Université de Constantine, 2003-2004.

²⁴ - BENNADJIA. – Adaptation climatique ou culturelle en zones arides – université Aix-Marseille I, 1999 P.50

Figure 5-35: Crépissage en terre « le relief assure une ombre assez importante »

Source : BENNADJIA, 1999.



La mise à l'ombre des fenêtres résulte de l'étude géométrique de la position du soleil par rapport aux façades.²⁵ Une façade SUD sera facile à protéger à l'aide d'un auvent, balcons ou pare-soleil horizontaux. En effet le soleil est haut sur l'horizon durant la saison chaude et une avancée horizontale égale à **0.7** fois la hauteur de baie est suffisante pour obtenir la mise à l'ombre. (Voir chapitre 4)

Une façade EST ou OUEST est, par contre, difficile à protéger par des pare-soleil fixes. Aux heures d'ensoleillement de ses façades le soleil est relativement bas sur l'horizon et tourne constamment de sorte que les dispositifs horizontaux devraient avoir une avancée prohibitive.

Plusieurs solutions architecturales contemporaines sont réalisées pour protéger ces ouvertures du rayonnement solaire voir exemples (figure 5-36), (figure 5-37), (figure 5-38), et (figure 5-39) traitant la protection des différentes façades suivant leurs orientations.

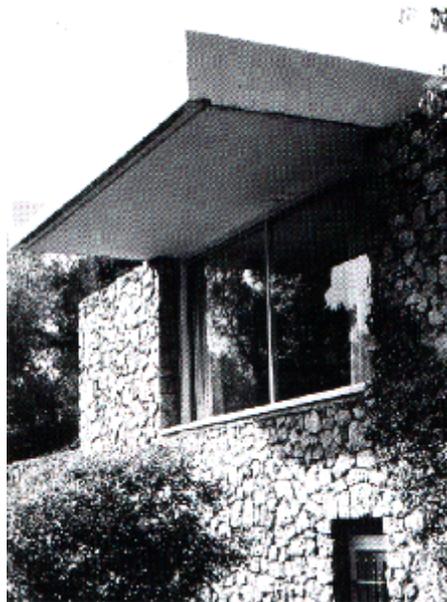


Figure 5-36 : La protection solaire (auvent bien dimensionné en orientation SUD), l'inertie thermique (appareillage de pierre), et la ventilation (grande baie coulissante) sont des éléments passifs pour le contrôle solaire réunis sur cette réalisation de JOSE-LUIS.

²⁵ - CLAUD ROUGERON – Isolation Acoustiques Et Thermique Dans Le Bâtiment- édition EYROLLES Paris, 1979



Figure 5-37 : Le traitement de la façade SUD à gauche et de la façade EST de face illustrent la maîtrise du contrôle de l'ensoleillement dans un climat chaud et ensoleillé en été, exemple de l'immeuble de la société mutuelle d'assurance incendie du Nord-ouest de Los Angeles, Californie, par RICHARD NEUTRA. Source : IZARD.J.L, 1993



Figure 5-38: Le vocabulaire de l'architecture high-tech lui permet de disposer de moyens importants pour la protection solaire des façades, comme ici au siège d'Expo 98 à Lisbonne, où la façade Ouest est entièrement doublée par son système pare-soleil en métal perforé.

Source : (Photo J-L IZARD) ²⁶

²⁶ - **laboratoire abc « galerie »** [En Ligne] <http://www.marseille.archi.fr/abc/galerie.htm>. (Page consulté le 23 mars 2005)

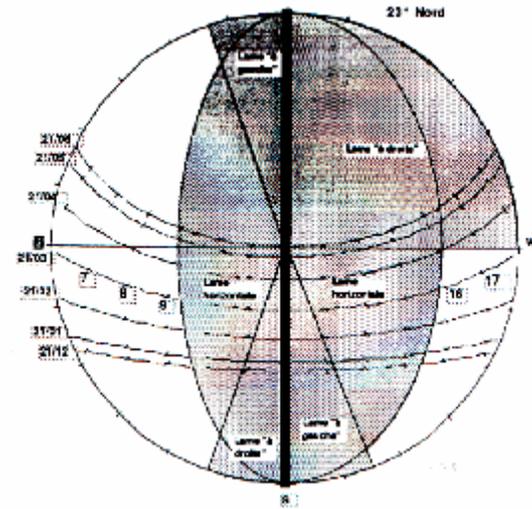
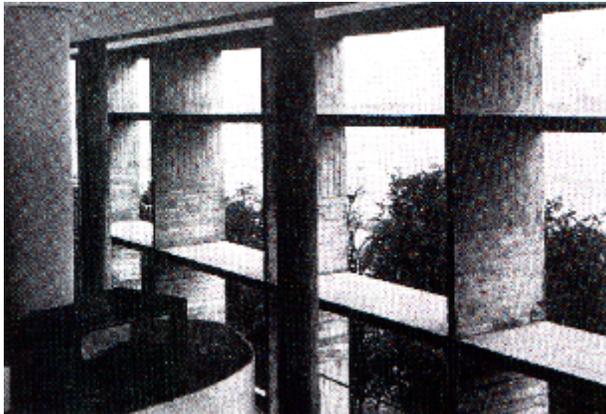


Figure 5-39 : Le contrôle solaire par des brises solaires en façade EST(a gauche) et OUEST(a droite), SOURCE : IZARD.J.L, 1993.

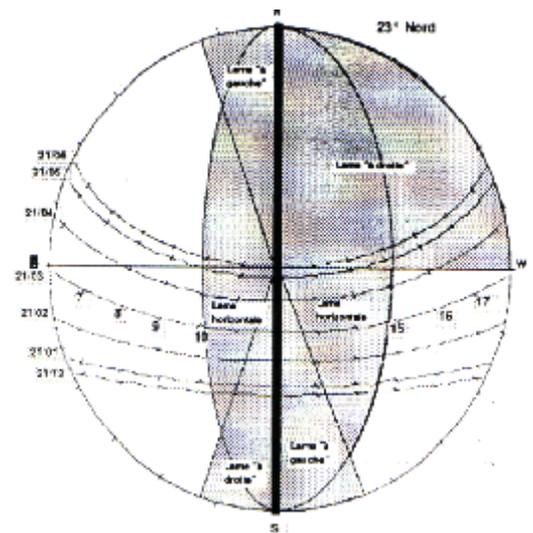


Figure 5-40 : La façade OUEST protégée par des éléments verticaux formant un angle 45° avec le plan de la façade (ou il y a deux hauteurs pour les ouvertures) et le contrôle de la façade OUEST est total pour les mois les plus chauds. Palais de l'association des filateurs à Ahmedabad, par LE CORBUSIER. SOURCE : IZARD.J.L, 1993

3. volumes saillants importants comme les encorbellements (figure5-41), leurs tailles et leurs saillies, en dehors de la parcelle, apportent un ombrage maximal à la façade

La projection de l'ombre concerne le relief sur la façade, les décrochements (moucharabieh, auvents ...) et le débord de toitures. Aussi l'inclinaison des façades. Comme c'est montré par les réalisations de le CORBUSIER dans la maison de jeune de Firminy où il adopte une inclinaison des façades ouvertes supérieure à 90°, et qui agit directement sur l'énergie incidente sans masque.



Figure 5-41 : Exemple d'effet d'auvent ; les étages en encorbellement de la cité des étudiants de l'université de Constantine, par KENZO TANGE

Source : IZARD.J.L, 1993.

4. Les occultations mobiles : Servent généralement à ombrager temporairement les ouvertures, comme les persiennes (figure 5-42), rideaux ...



Figure 5-42 : Des persiennes utilisées dans les régions méditerranéennes pour le contrôle solaire et la ventilation.

Sources : IZARD. J.L, 1993.

5.9.3- Les ouvertures :

Généralement dans les maisons traditionnelles dans les climats chauds les ouvertures sont petites et placées très haut dans le mur, sont conçu de telle façon que l'utilisateur peut voir l'extérieur sans être vu l'exemple du « Moucharabieh » sorte de lattis de bois qui permet une

bonne aération sans avoir à souffrir d'une élévation excessive de la température par rayonnement ou convection. Le moucharabieh (figure 5-43) et (figure 5-44) permet de soustraire du regard tout en voyant l'extérieure. Permette une bonne ventilation sans élévation excessive de la température, le bois ne s'échauffe pas au soleil on le trouve surtout dans les pays du moyen orient (Turques, Iran., Syrie, Irak et en Afrique du Nord)

Dans nos climats sec et chaud, Les ouvertures sont tourner vers l'extérieur et elles sont en nombres réduits, de taille et de dimensions petites, sont souvent orientées vers les directions des vents frais (brise) afin de permettre la ventilation durant les soirées.²⁷

Le vent est un facteur très important de confort, l'air chaud ayant tendance à s'élever, son remplacement par l'air frais peut créer un courant d'air ; Obtenue par un traitement ingénieux de la fenêtre ; cette dernière est constituée par une ouverture de petite dimension, une autre située à une hauteur élevée ou très basse sert à l'évacuation de l'air chaud et la pénétration de l'air frais. On peut encore rafraîchir l'air en plaçant des jarres pleins d'eau à la sortie des conduits ou un rideau humide à la porte²⁸, (voir fig. 5.45)

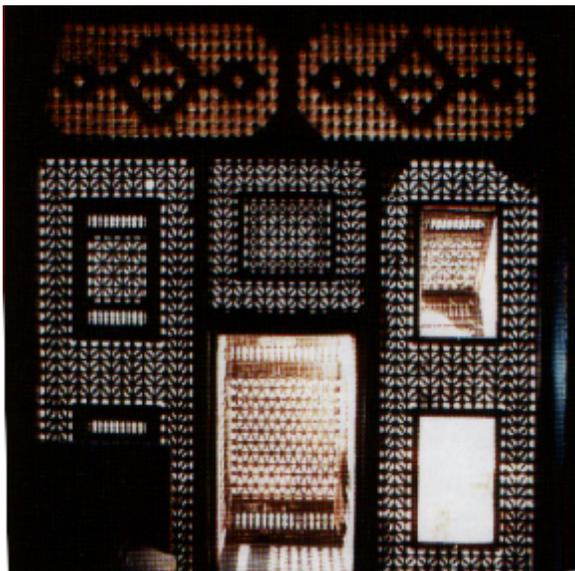


Figure 5-44 : Type de moucharabiehs d'une maison du Caire (EGYPTE)

Source : ALAIN LIEBARD & ANBDRE DE HERDE, 2003.

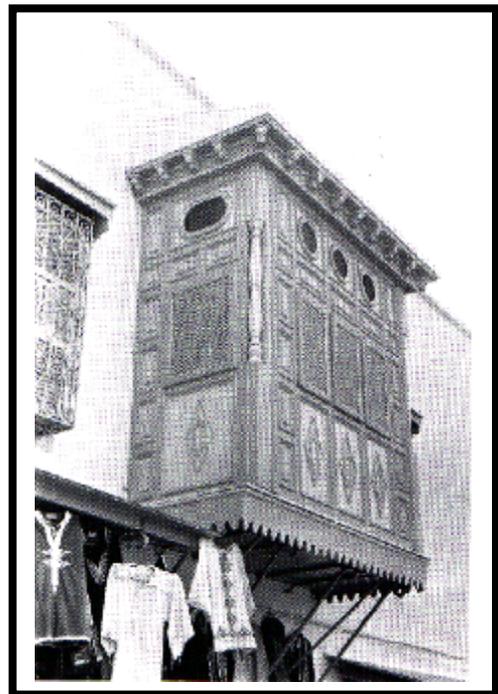


Figure 5-43 : Exemple de moucharabiehs à Carthage en Tunisie.

Source : IZARD. J.L, GUYOT.A, 1979

²⁷ - **ABDOU.S** - Investigation Sur L'intégration Climatique De L'habitat Traditionnel En Région Aride Et Semi-Aride D'Algérie- cas de Constantine et Ouargla, thèse de doctorat d'état. Université de Constantine, 2003-2004.page.

²⁸ - **BOUCHAHM.Y** -Une Investigation Sur La Performance Thermique Du Capteur A Vent Pour Un Rafraîchissement Passif Dans Les Régions Chaudes Et Arides-(cas de Ouargla) thèse de doctorat d'état. Université de Constantine, 2003-2004.page.57.

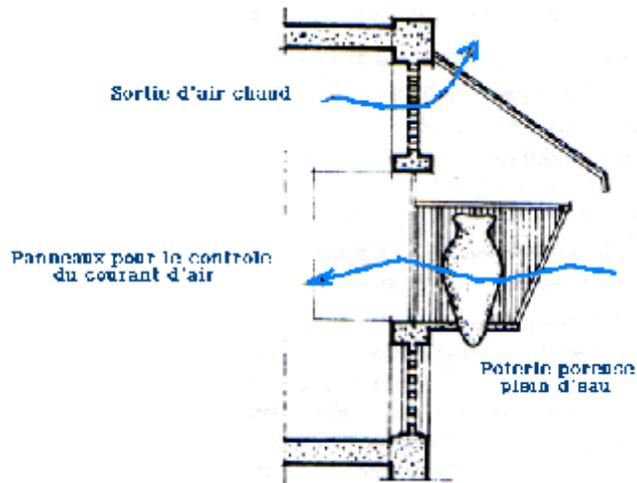


Figure 5-45 : Principe d'aération d'une fenêtre composée, principe de la jarre d'eau.

Source : C.R.A.U, 1988

5.10 - Conclusion :

Le choix de l'orientation est soumis à de nombreuses considérations, elle affecte l'ambiance intérieure par deux facteurs climatiques ; le rayonnement solaire et le problème de la ventilation.

Il est possible pour ajuster la conception d'un bâtiment, de modifier les effets de l'orientation à la fois sur les conditions de ventilation et de température.

Avec des murs convenablement localisés et de couleur externe claire, et avec des ouvertures efficacement occultées suivant les exigences de l'orientation, les différenciations dans les températures intérieures selon l'orientation sont négligeables (GIVONI.B, 1978) et (E.GREGORY McPHERSON, 1992)²⁹

Suite à cela le prochain chapitre fera l'objet d'une étude expérimentale sur un model de bâtiment contemporain pour tester l'impact de l'orientation sur la température intérieure ainsi que le confort thermique résultant.

²⁹ - E. GREGORY McPHERSON -The Effects Of Orientation And Shading From Trees On The Inside And Outside Temperatures Of Model Homes- 1992

INVESTIGATIONS

6.1- INTRODUCTION :

Le besoin de construire en masse n'est pas une raison pour ignorer toute une conception de l'habitat, après avoir vécu une période de haute civilisation dans les siècles passés. Mais de l'étudier et de l'adapter au climat. L'exploitation de l'énergie solaire, et son intégration dans la conception du bâtiment, permet de diminuer considérablement les besoins de chauffage et de climatisation.

Des bâtiments orientés arbitrairement à l'effet de l'ensoleillement et du vent, sans tenir compte des quantités d'énergie reçues. L'utilisateur se trouve obligé d'utiliser les dispositifs d'appoint de chauffage et de climatisation, pour assurer son confort.

Cette investigation vise à constater les effets de l'orientation sur le confort intérieur du logement.

L'étude s'est fixé l'objectif d'évaluer l'effet des radiations solaires suivant l'orientation sur la façade et son impact réel sur le confort intérieur de la construction.

Selon l'objectif de la recherche une campagne de mesures a été effectuée sur site, des échantillons représentatifs ont servi de support à l'analyse du comportement thermique de la construction, pour vérifier l'effet de l'orientation.

Dans ce présent travail, l'investigation a été menée sur un modèle de bâtiment contemporain situé à la nouvelle ville Ali Mendjeli (figure 6-1) « récemment étudié et construit. ». Et cela pour étudier et comparer le comportement thermique de plusieurs séjours (qui ont la même conception architecturale mais se diffèrent uniquement dans leur orientation par rapport au soleil.), L'organisation du plan de masse du site étudié est représentée par la figure (6-3)



Figure 6-1: Plan d'urbanisme de la nouvelle ville ALI- MENJELI -Constantine

Source : CD. ROM ville nouvelle, DUC »Constantine »

Toutefois, il est important de rappeler que le climat du site d'étude est à contrainte conflictuelle. Les solutions architecturales attendues seront nuancées entre ces deux contraintes. Pour cela la recherche de l'égalité de la balance devient difficile à étudier. (ABDOU, 2003)

Trois orientations majeures sont retenues suivant les grandes classes d'orientation (EST – OUEST –SUD) « sont définies dans le chapitre 6 » dont l'objectif est de vérifier l'effet de l'orientation par rapport au soleil voir figure (6-2)

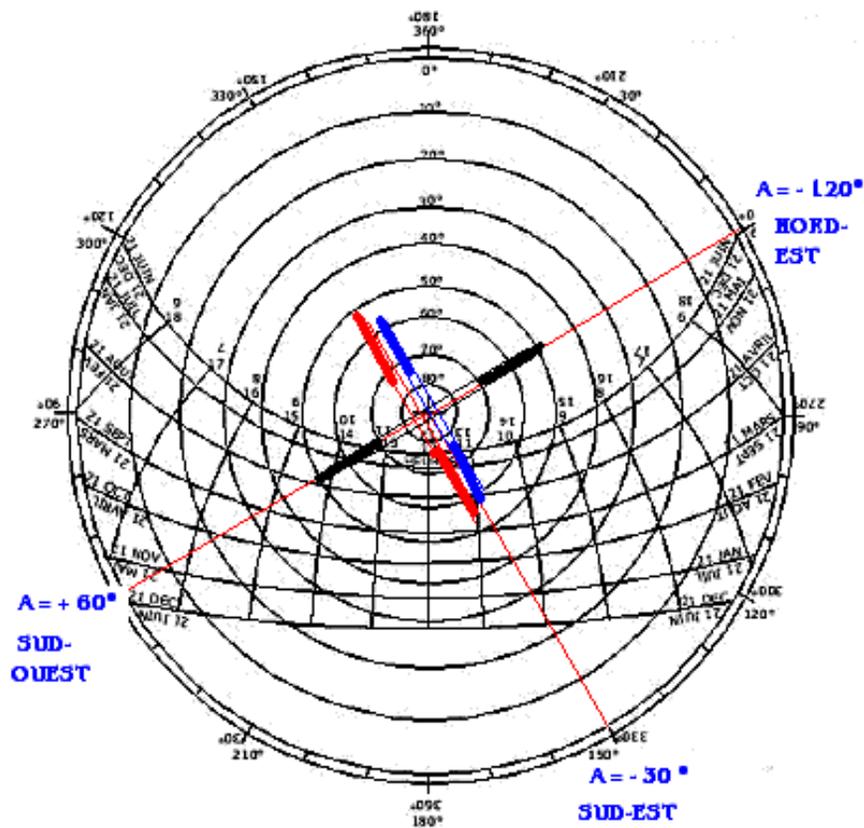


Figure 6-2 : Orientations des trois parois extérieures des séjours dans lesquelles se déroulent les mesures.

Les différents logements choisis se situent à un niveau intermédiaire « étage courant », et cela dans le but d'avoir les mêmes conditions donc une seule hypothèse à vérifier.

Notre investigation porte sur trois séjours dans trois logements:

- L'orientation de l'espace séjour est Nord-est (Azimut mur= -120°) dans le premier bâtiment (A) figure 6-3
- L'orientation de l'espace séjour est Sud-est (Azimut mur= -30°) dans le deuxième bâtiment (B) figure 6-3
- L'orientation de l'espace séjour est Sud-ouest (Azimut mur= $+60^\circ$) dans le troisième bâtiment(C) figure 6-3

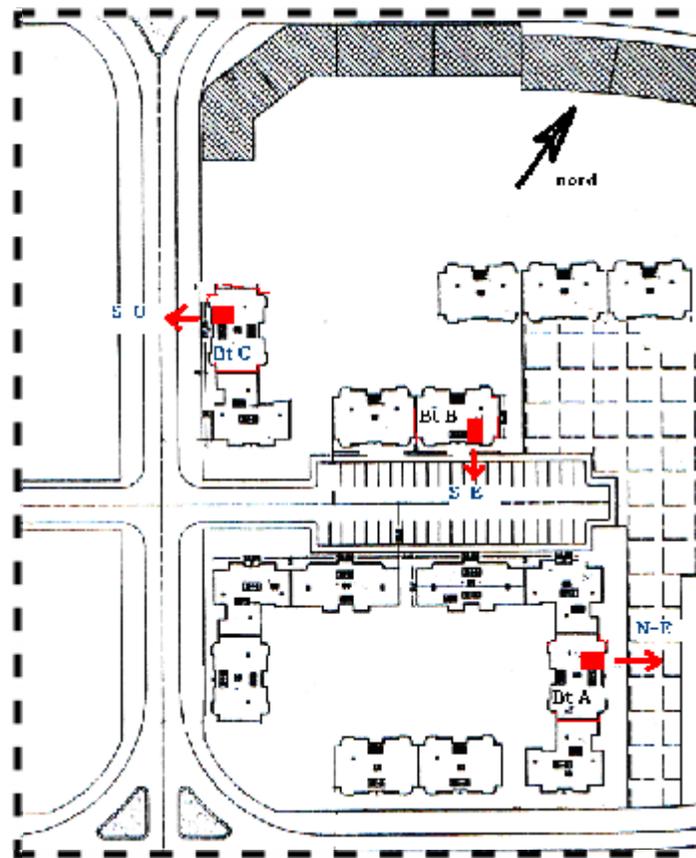


Figure 6-3 : Plan de masse du site d'étude (UV7) Ville nouvelle ALI MENJELI Constantine. Source : DUC, Constantine.

6.2- Présentation du logement d'étude :

Les trois bâtiments choisis ont la même conception architecturale, le système constructif est un système préfabriqué « le coffrage tunnel permet de couler simultanément les murs et les dalles, il fournit : - une structure porteuse par refends porteurs et dalles pleines. –une partie de séparations intérieures. – les parois pignons (en béton monolithique de 16 cm d'épaisseur), le remplissage des murs extérieurs est en maçonnerie « double parois de parpaing de (15+5+10) cm, avec une lame d'air ». La surface des murs externes est rugueuse à cause du crépissage de mortier de ciment qui recouvre les surfaces extérieures, elles sont peintes en un type d'enduit de couleur beige (planche 6-1). Les surfaces intérieures des parois et cloisons sont recouvertes d'un enduit au plâtre, peint en beige blanc cassé.

Les dimensions des séjours sont de (3.50 x 5.50) mètre, avec une hauteur sous plafond de 2.97 mètres, La taille des ouvertures est de (1.20 x 1.40) pour les différents séjours situés au milieu du mur. Elle occupe un pourcentage de 17.46 % de la façade exposée (soit 32.34% du surface du plancher). Les fenêtres ont une menuiserie en bois et d'un vitrage simple de 3 mm d'épaisseur. La distribution spatiale de la maison est représentée par la (figure 6-5).

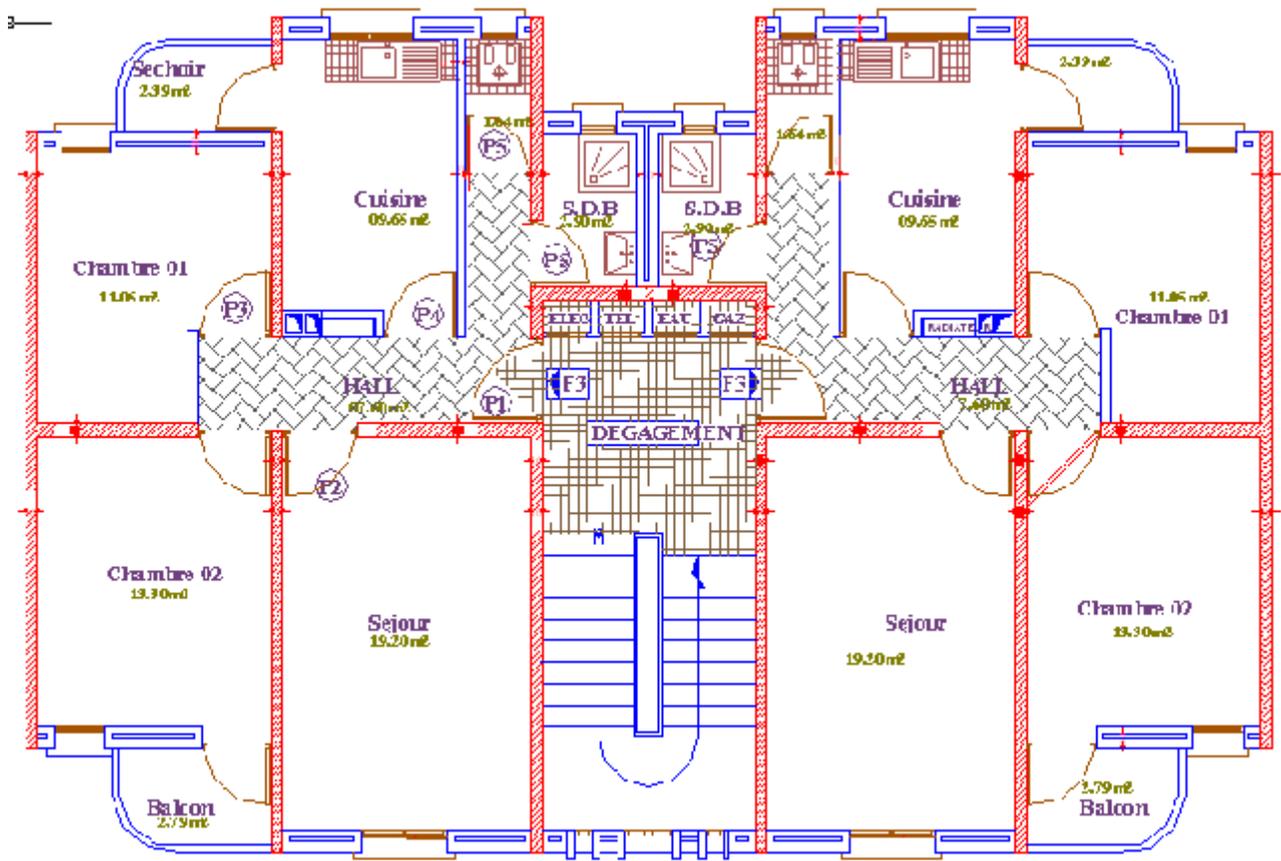


Figure 6-5 : Distribution spatiale du logement étudié. Source : O.P.G.I, 2004 Constantine.

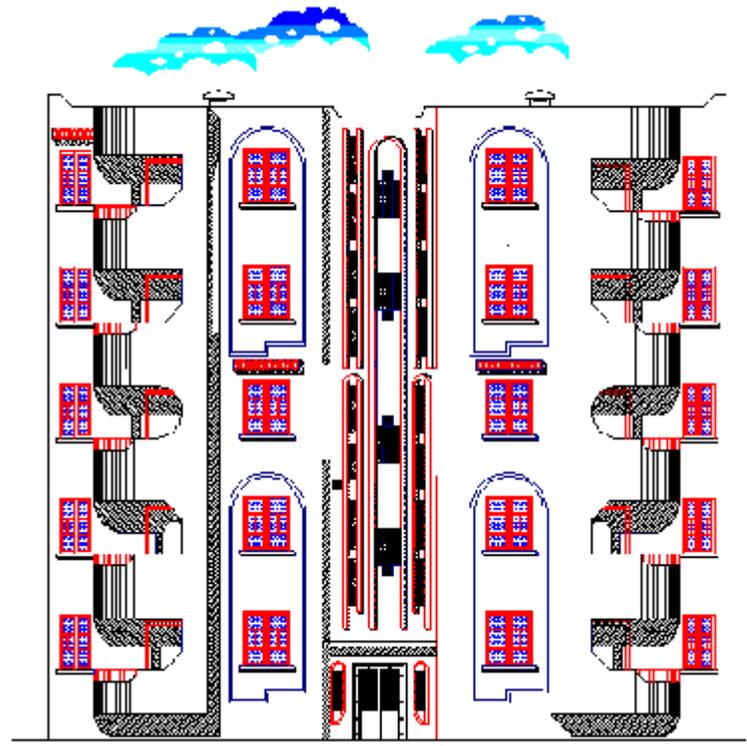


Figure 6-4 : Façade principale du bâtiment collectif. Présence des dessins mais qui n'ont aucun rôle de protection. Source : O.P.G.I, 2004

Les mesures sont déroulées simultanément pendant deux périodes ; les plus défavorables de l'année:

- **Période estivale** : le mois de juillet a été retenu pour être le plus chaud. La campagne de mesure a duré six jours (17 juillet au 22 juillet 2004)
- **Période hivernale** : le mois le plus froid de l'année décembre. La campagne de mesure a duré cinq jours (26 décembre au 30 décembre 2004)

6.3- APPAREILS DE MESURE :

Les appareils de mesures utilisés pour relever les températures et les humidités relatives internes et externes, et les mesures de températures surfaciques intérieures et extérieures :

- **Les thermographes** : les deux thermographes utilisés pour enregistrer les températures intérieures de chaque séjour dont chacun a été placé dans un séjour (séjour Nord-est et Sud-est), posé au niveau d'une table de 1.50 mètres de hauteur placé au centre de la pièce (planche (6-17)) ils ont été étalonnés pendant 24 heures auprès du service de la station météorologique, puis installés au milieu du séjour...



Planche 6-1 : Thermographes.

- **Les hygrographes**, les deux hygrographes utilisés pour enregistrer les humidités relatives intérieures des séjours qui font l'objet de cette analyse, ils sont étalonnés pendant 24 heures auprès du service de la station météorologique puis placés au centre de chaque séjour sur une table de 1.50 mètres de hauteur (planche (6-3))



Planche 6-2: Hygrographe.

- **Les thermocouples**, de nombre de trois placé au niveau de chaque séjour pour mesurer les températures surfaciques intérieures et extérieures (planche 6-3) et (planche 6-5), à l'aide d'une sonde, il est placé au milieu du mur à une hauteur de 1.80 mètres. Comme c'est mentionné au niveau de la figure (6-7)



Planche 6-3 : Thermocouple pour mesure de température surfacique interne et externe.



Planche 6-4 : Mise en place de l'appareil.

Planche 6-5: Thermocouple utilisé pour mesure de températures surfaciques (intérieure et extérieure) et de la température de l'air.



- **Des thermomètres ordinaires**, pour enregistrer les températures externes et la vérification journalière des enregistrements effectués par les thermographes et les hygrographes. (planche 6-6)

Ces derniers étaient étalonnés en premier lieu au niveau de la station météorologique de Constantine sur une durée de 24 heures.

Planche 6-6 : Thermomètre



Planche 6-7 : Thermo hygromètre

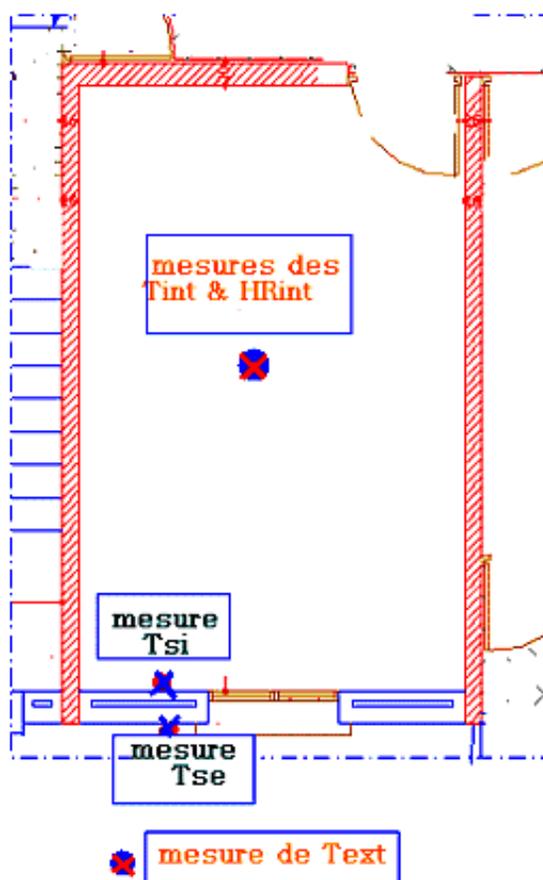


Figure 6-6 : Position des appareils de mesures au niveau du séjour

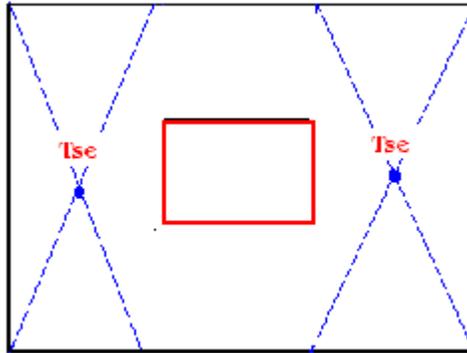


Figure 6-7 : Schéma de prise de mesures surfaciques (façade du mur extérieur)

6.4- CONDITIONS DE DEROULEMENT DES MESURES:

Comme il a été mentionné, que les mesures s'étaient déroulées sur deux périodes l'une estivale et l'autre hivernale.

6.4.1- période estivale :

La première période de mesure s'est déroulée pendant le mois de juillet, et cela durant six jours (17 juillet 2004 jusqu'au 22 juillet 2004.)

D'après la pré enquête qui a été faite auprès des ménages ; Il a été constaté que la totalité des habitants se comporte de la même manière pour l'usage des espaces, cependant leur vie estivale se déroule pour chaque séjour comme suit :

Pour le bâtiment A (séjour orienté nord-est):

- Nombre de personnes est de six (06), le séjour est occupé par (03) personnes
- Le séjour qui fait l'objet d'étude n'est pas utilisé (matin et soir), il est utilisé sauf pour le nettoyage et les tâches ménagères de 8h jusqu'à 11 heure.
- Le vitrage, de la fenêtre du séjour est généralement fermée toute la matinée de 10h00 jusqu'à 15h00, avec une simple protection des rayons solaire à l'aide d'un rideau en toile opaque fine de couleur beige qui sera fermé de 10heure jusqu'à 18heure, puis le vitrage sera ouvert à partir de 15.00 ; le rideau sera retiré pour le refroidissement nocturne de 18 heures jusqu'à 22 heures, au-delà le rideau et à nouveau fermé, la fenêtre ne possède pas des persiennes en bois ou une protection par les éléments de la façade.
- La porte qui donne sur le couloir reste ouverte.

Pour le bâtiment B (séjour orienté sud-est) :

- Nombre de personnes est de six (06), le séjour est occupé par (04) personnes
- Le séjour qui fait l'objet d'étude est utilisé, uniquement l'après midi pour la sieste à partir de 13heure et le soir à 22heure pour dormir. Il est occupé par deux personnes la nuit
- Le vitrage de la fenêtre du séjour est généralement fermé la matinée de 10h00 jusqu'à 16h00, avec une simple protection des rayons solaire à l'aide d'un rideau en toile opaque de couleur rouge, et rarement ouvert (par manque de persiennes).

Le vitrage est ouvert à partir de 16.00 heures ;Le rideau est tiré de 8.00 heures jusqu'à 9.00 heures pour l'aération de l'espace et la ventilation thermique et pour le nettoyage et le lavage du sol, ensuite il sera fermé pour se protéger des rayons solaires jusqu'à 18.00

heures à partir de 18.00 heures le rideau est tiré à sa moitié pour gagner de l'air frais. Il sera fermé de nouveau à minuit.

- La porte qui donne sur le couloir reste ouverte.

Pour le bâtiment C (séjour orienté sud-ouest) :

- Nombre de personnes est de huit (08) ; dont (05) personnes utilise constamment le séjour.
- Le séjour qui fait l'objet d'étude est utilisé souvent, pour regarder la télévision, l'après midi pour la sieste et le soir pour dormir, occupé par trois personnes la nuit.
- Le vitrage, de la fenêtre du séjour fermé à partir de 11.00 heures jusqu'à 20.00 heures, avec une simple protection des rayons solaire à l'aide d'un rideau en toile légèrement transparent de couleur beige. Le vitrage sera ouvert toute la soirée de 20.00 heures. Le rideau reste ouvert de 7.00heures jusqu'à 11.00 heures, à partir de 11.00 heures il sera fermé jusqu'à 20heure, puis retirer (ouvert totalement) jusqu'à minuit ou il sera ensuite fermé avec la fermeture des vitrages.
- La porte qui donne sur le couloir reste ouverte.

Il est noté que les trois séjours qui font l'objet de l'investigation occulte leurs fenêtres à l'aide d'un rideau par manque de persiennes ou d'autre protection fixe au niveau des éléments de la façade.

6.4.2- période hivernale :

La deuxième période de mesures s'est déroulée pendant le mois de décembre, et cela pour une durée de cinq jours (26 décembre 2004 jusqu'au 30 décembre 2004) cette période a connu une baisse importante de températures. Elle se caractérise par une vague de froid et un temps nuageux avec un ciel couvert pendant les trois premiers jours ensuite un ciel dégagé pour les journées du 29 décembre et 30 décembre 2004.

Les appareils de mesures ont été placés dans les mêmes endroits (figures 6-6) et (figure 6-7).

▪ **Pour le premier séjour orienté Nord-est :**

- Le séjour est pratiquement non utilisable ni la nuit ni la journée
- L'aération et le nettoyage ont lieu le matin à 8heure 30mn pour une durée de 30 à 60mn
- Le vitrage de la fenêtre est ouvert pour l'aération et les travaux ménagers de 8h30mn jusqu'à 10heure, puis il est refermé toute la journée. Concernant le rideau il est ouvert pour l'éclairage intérieur de l'espace.
- Le chauffage à gaz est éteint le matin, il est allumé à partir de 12.00 heure pour chauffer l'espace. le thermostat est positionné sur une température moyenne de (3) durant la période d'investigation. Le chauffage est placé au niveau du couloir en face du séjour (figure 6-9)

▪ **Pour le deuxième séjour orienté Sud-est :**

- Le séjour est utilisé occasionnellement, maintenu fermé
- Le vitrage de la fenêtre est ouvert pour l'aération et les travaux ménagers de 8h30mn jusqu'à 9.00 heures, puis il est fermé toute la journée. Concernant le rideau il est semi-ouvert pour l'éclairage intérieur de l'espace.
- Le chauffage à gaz est éteint le matin, il est allumé à partir de 12.00 heures pour chauffer l'espace. Le thermostat est positionné sur une température moyenne de (3) durant la période de mesure.
- Le chauffage est placé au niveau du couloir près du séjour (figure6-9)

▪ **Pour le troisième séjour orienté Sud-ouest :**

- Le séjour est occupé par les usagers fréquemment et cela pour regarder la télévision ou pour dormir la nuit (deux à trois personnes).
- Le vitrage et rideau sont maintenus fermés toute la journée à cause des vents qui domine cette orientation.
- Le séjour est ventilé que périodiquement pendant les jours ensoleillés.
- Le chauffage à gaz est éteint le matin, il est allumé à partir de 10.00 heures pour chauffer l'espace. le thermostat est positionné sur une température moyenne (4)



Figure 6-8 : Dimensions du séjour.

Les usagers des trois appartements utilisent le chauffage à gaz fixe pour se chauffer, celui-ci est placé au niveau du couloir tous près du séjour. (Figure 6-9)

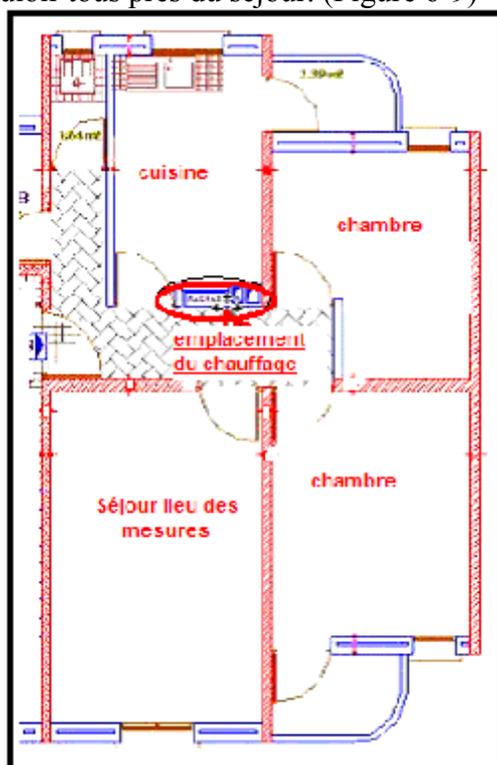


Figure 6-9 : Emplacement du chauffage.

6.5- INTERPRETATIONS DES RESULTATS :

Pour déterminer l'orientation la plus favorable, une comparaison a été effectuée entre la variation de la température et l'humidité relative intérieure et extérieure pour chaque orientation. Ainsi qu'une comparaison entre les températures intérieures et les températures surfaciques des différentes orientations pour évaluer l'impacte de l'orientation sur le degré de confort intérieure. Afin d'évaluer le degré de satisfaction des besoins du confort des habitants, une lecture comparative est effectuée entre les limites de confort (d'après l'analyse bioclimatique) et les températures intérieures de chaque séjour.

6.5.1- Période Estivale :

6.5.1.1- Etude de la variation de la température et l'humidité relative intérieure et extérieure :

6.5.1.1.1- Pour le séjour orienté Nord-est (A= -120°) :

La lecture du graphe (figure 6-10), fait sortir que les températures moyennes internes du séjour orienté N.E sont inférieures à la moyenne journalière externe, ceci de 6h00 jusqu'à 20h00. Et entre 20h00 et 6h00 elle est supérieure par rapport à la moyenne journalière extérieure. La température interne atteint sa valeur minimale de 27.52°C à 10 h. elle reste constante jusqu'à 12 h00, par contre la température extérieure atteint un minimum de 21.43 °C à 6h00 ; C'est-à-dire un déphasage de 6 heures.

La valeur maximale de la température moyenne intérieure est de 28.72°C. Cette dernière est atteinte à 18h00, alors que la température moyenne extérieure atteint son maximum de 36.55°C à 12h00.

Les fluctuations des températures intérieures ne sont pas très grandes, cela est dû d'une part à l'orientation de la paroi externe (azimut de - 120°), qui reçoit les quantités d'énergie les plus importantes le matin de 500 w/m² de 6h00 à 8h00, dont les températures sont plus fraîche (voir abaque, figure 3-29). D'autre part l'espace d'étude est maintenu fermé toute la journée, et la fenêtre protégée par un rideau de couleur blanche qui fait réfléchir les rayons solaires.

Les humidités relatives internes sont élevées par rapport aux humidités extérieures (figure 6-11). Mais le minimum de l'humidité relatif internes est de 50.10% atteint à 18h00 ce qui correspond à la température maximale à la même heure de 28.72 °C, celui de l'extérieur est de 24.17% à 12h00. Tandis que le maximum interne est de 53.22 % atteint à 6h00, celui de l'extérieur est de 65.17% enregistrée à 4heures.

En fait entre 6.00 heures et 12.00 heures la température extérieure varie entre 23.18°C à 36.55°C durant cet intervalle de temps l'oscillation de la température extérieure est de 14.37°C, elle augmente à raison de 2.39°C/h. alors que la température intérieure commence à augmenter mais sa valeur est de 0.01°C/h, elle ne commence à se sentir qu'à partir de 12 heures, où elle atteint la valeur de 27.63 °C.

Cette légère augmentation est influencée par les conditions sous lesquelles le local est soumis ; vitrage ouvert et rideau semi-fermé pour la ventilation thermique et hygiénique de 8h00 jusqu'à 9h00, effet des radiations solaire sur la façade et la fenêtre avec une hauteur solaire de 60°.

Le matin, avant le lever du soleil, les températures externes ont déjà atteint leur minimum, ainsi que la surface externe de la paroi.

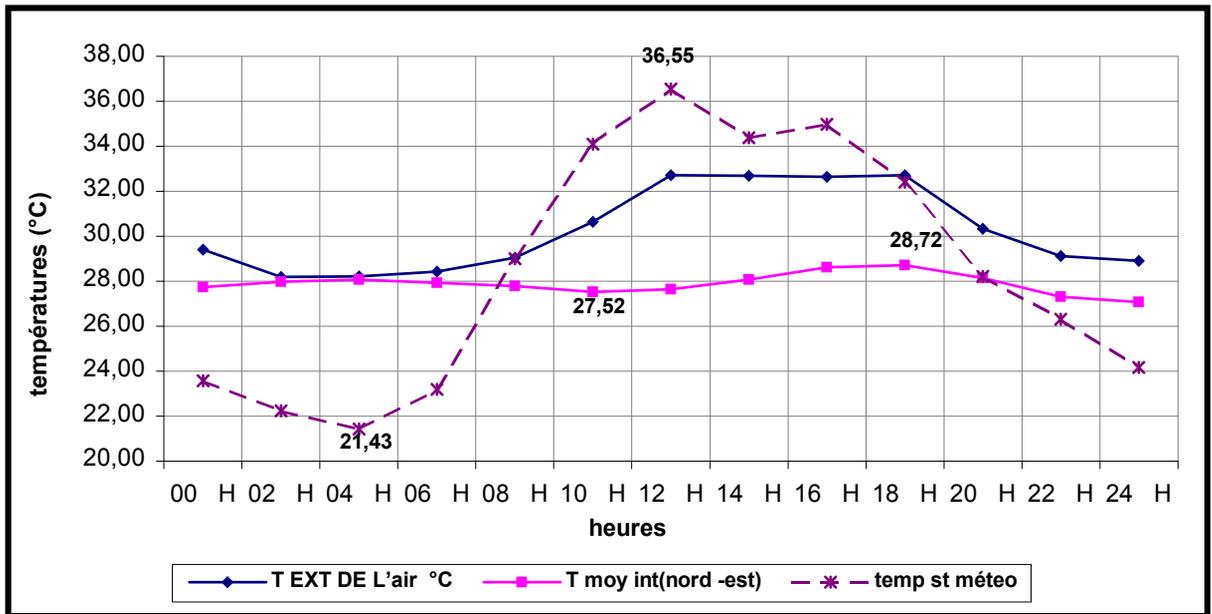


Figure 6-10: Variation de la température intérieure et extérieure, orientation Nord-est. Constantine période d'été.

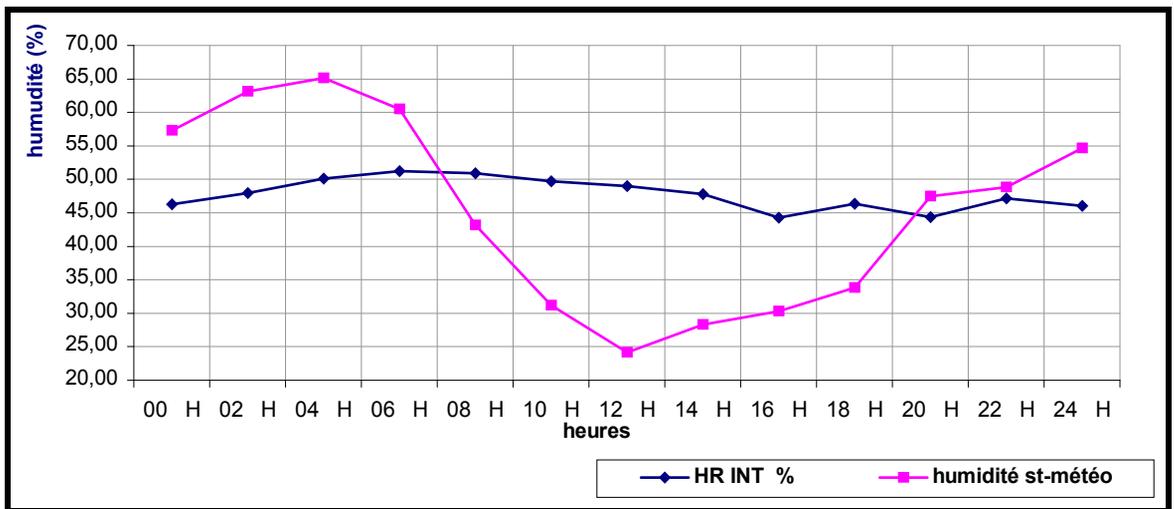


Figure 6-11 : Variation de l'humidité relative dans le séjour orienté Nord-est. Constantine période d'été.

Avec le levé du soleil, le rayonnement solaire frappe la façade N-E avec une intensité de 650w/m^2 , les températures externes commencent à augmenter, où il se produit un gain de chaleur par absorption à travers la paroi opaque qui a une couleur beige d'un coefficient d'absorption moyen ce qui réduit le phénomène d'absorption,(la présence du crépissage sur la façade augmente l'effet de l'ombre et minimise l'intensité solaire), cependant par manque de protection efficace un gain direct se produit par la fenêtre qui participe à cette augmentation. Ce qui rejoint l'idée de IZARD-J.L, 1993, que les surfaces vitrées ont une influence sur l'énergie solaire incidente.

Les déperditions se produisent par transmission à travers la fenêtre à partir de 6h00, cette compensation entre gain et perte de chaleur fait que la température garde une valeur constante minimale pendant cette période de 6h00 à 12h00.

D'autre part de 12heure jusqu'à 18 heures la température intérieure continue à augmenter jusqu'au maximum qui est de 28.72°C, Pendant ce temps le rideau est fermer et le vitrage est ouvert, l'absence des rayons solaire (façade à l'ombre) pour cette orientation espace non utilisé. La chaleur sera donc transmise à l'intérieur par l'air chaud qui pénètre à l'intérieur par la fenêtre ; cette chaleur dissipée restera piégé jusqu'au coucher du soleil.

Au-delà de 18 heures, la température extérieure diminue à raison de 0.76°C/h et la température intérieure de 0.06°C/h, Cette dernière à entre 20.00 heures et 24.00heure (minuit) elle diminue d'une façon lente de 0.41°C/h ceci est dû à l'effet de la chaleur dissipé par la paroi et l'ouverture du rideau.

D'après la lecture du graphe (figure 6- 13), La température de surfaces varie entre 26.83°C et 32°C ou la valeur minimale est enregistrée à 6h et la maximale à 12 h avec une amplitude de 6°C sur un intervalle de 24 heures alors que l'amplitude de la température de la surface interne n'est que de 4°C. La température surfacique intérieure atteint sa valeur minimale de 25.33°C à 2h00 et sa valeur maximale de 29.33°C à 16 h00.

Une élévation rapide de température surfacique extérieure est constatée entre 6heures et 8 heures ; tout cela est dû à l'exposition aux rayonnements solaires directs (avec une intensité de 60w/m²) ; Puis la courbe ralentit sa vitesse à partir de 12 heures, ceci est dû à l'absence des rayons solaires sur la façade et la présence de l'ombre à partir de 11heures. Par Contre la température de la surface interne continue à augmenter. Le rayonnement solaire incident, lorsqu'il atteint le mur extérieur il va être absorbé par la face extérieure, augmente la température de la surface à son tour un flux de chaleur qui est conduit vers l'intérieure par l'intermédiaire des composants du mur. Par les propriétés thermo physiques des matériaux vont retarder ce transfert et qui est surtout retarder par l'existence de la lame d'air que le temps chute et ralenti la pénétration de la chaleur (figure 6-12).

A cet effet on peut déduire que la température de l'air et la température de la surface extérieure de la paroi sont liées par un processus de rayonnement. Cependant l'évolution de la température de l'air intérieur suit celle des températures surfaciques.

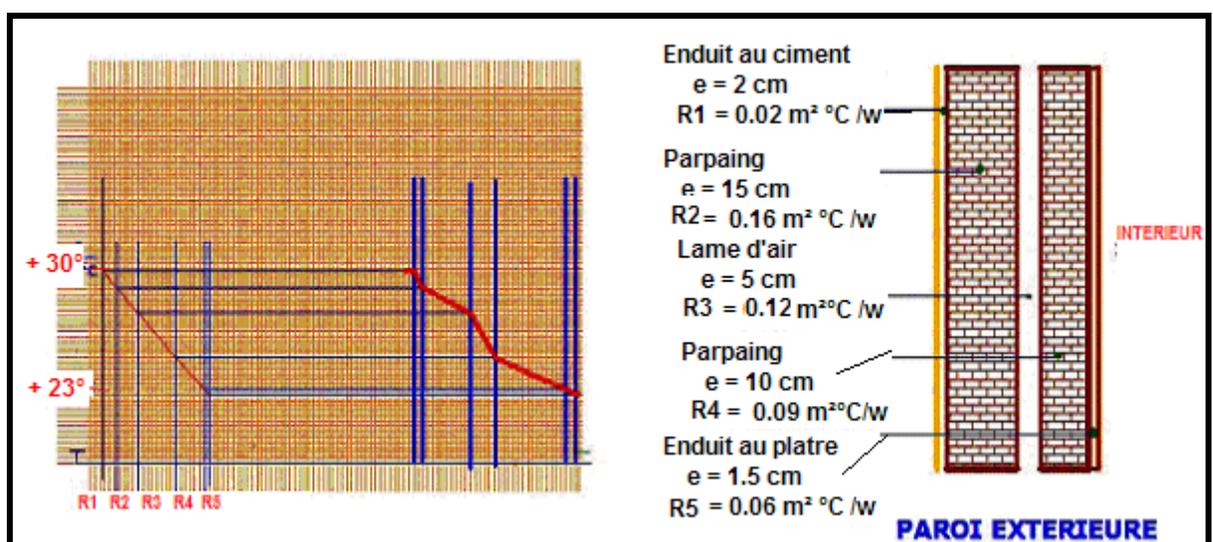


Figure 6-12 : Gradient thermique de la paroi extérieure.

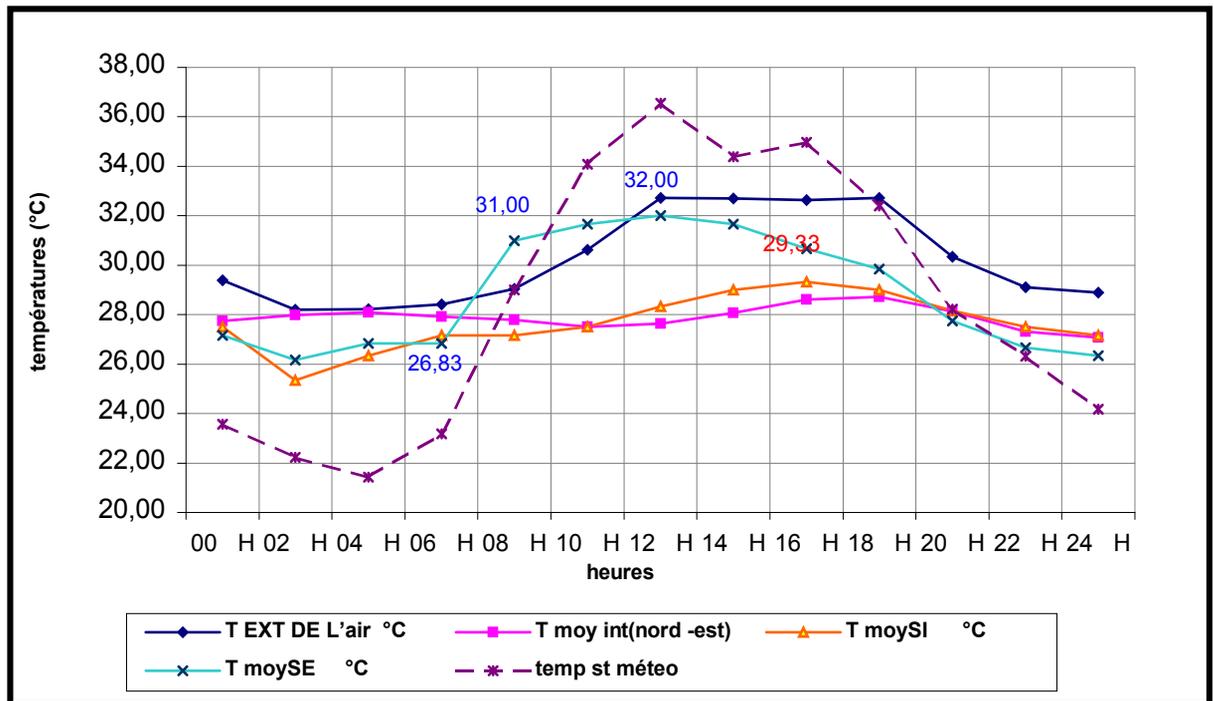


Figure 6-13 : Variation des températures surfaciques internes et externes, pour l'orientation Sud-est. Constantine, période d'été.

Par conséquent on peut conclure que la température moyenne intérieure du séjour orienté Nord-est reste inférieure à la température moyenne externe. Cela s'explique par l'exposition de cette façade au rayonnement solaire direct matinal de 6.00heures à 10.00 heures, ainsi que les quantités d'énergie globale importante reçue (de 2740w/m^2 sur une surface verticale Nord-est ($A= 120^\circ$)) (figure 3-29) et qui coïncide avec les valeurs de la température externe les moins élevées.

6.5.1.1.2- Pour le séjour orienter Sud-est ($A=-30^\circ$):

L'analyse de l'espace orienté vers le Sud-est montre que la température moyenne intérieure est supérieure à celle de la moyenne externe. (figure 6-14)

La température atteint la valeur minimale de 29.25°C à 10h. Alors que la température extérieure, atteint la valeur minimale de 21.43°C à 4.00heures donc le temps du déphasage est de 6 heures.

D'autre part le maximum de la température intérieure est de 30.62°C enregistré à 18h, alors que celui de la température extérieure est de 36.55°C atteint à 12.00 heures moment où le soleil est plus haut dans le ciel (a pour azimut de -30 , une hauteur solaire de 80°) et frappe le séjour avec une intensité maximale de 430w/m^2 ce qui fait augmenter la température de la paroi « surface externe », cette dernière sera restituée plus tard après 6 heures de temps vers l'intérieur.]

Etant donné que l'orientation de la paroi est Sud-est, les rayons solaires frappent la façade de 8.00 heures jusqu'à 14.00heures. La face externe du mur subit un temps d'ensoleillement de 7h30mn.

Les humidités relatives internes sont élevées par rapport aux humidités extérieures. Cependant, le minimum de l'humidité relative interne est de 50.10% atteint à 18h, celui de l'extérieur de 24.17% à 12h. Tandis que le maximum interne est de 53.22% atteint à 6h, celui de l'extérieur est de 65.17% enregistrée à 4h. (Figure 6-15) Les valeurs hautes de l'humidité intérieure marque l'utilisation de l'espace surtout la nuit.

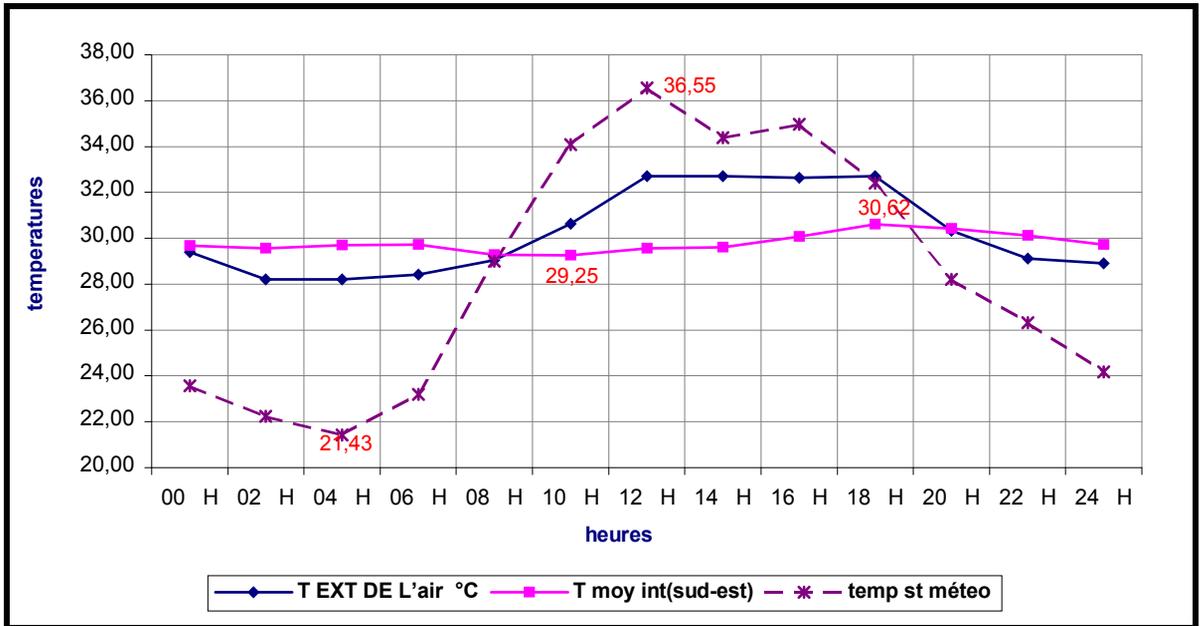


Figure 6-14 : Variation de la température intérieure et extérieure, orientation Sud-est. Constantine période d'été.

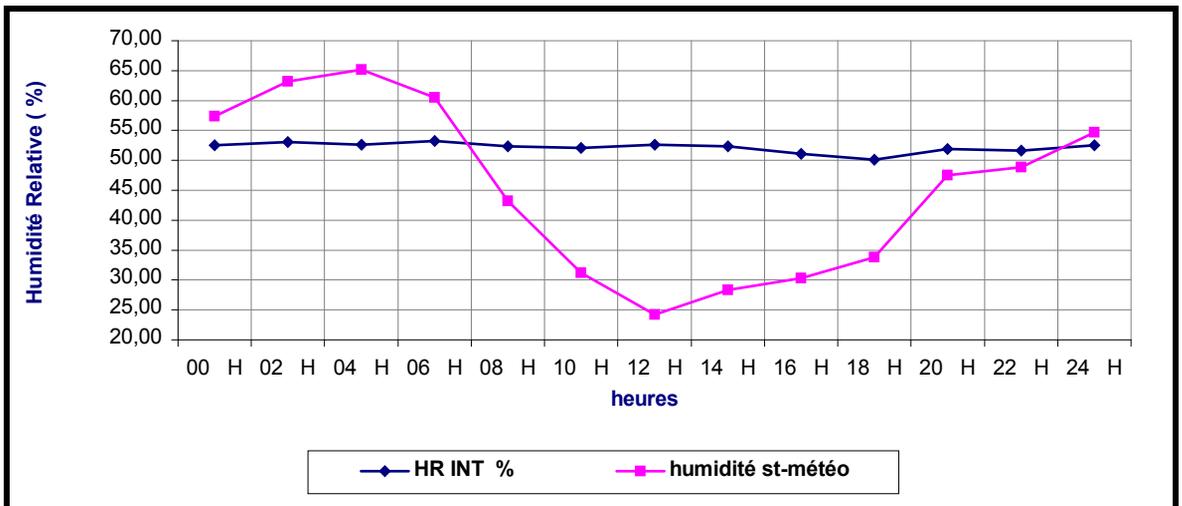


Figure 6-15 : Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure du séjour orienté Sud-est. Constantine période d'été.

Entre 6 heures et 14 heures la température extérieure varie entre 23.18°C à 36.55°C durant cet intervalle de temps l'amplitude extérieure est de 14.37°C, elle augmente à raison de 2.39°C/h. alors que la température intérieure commence à diminuer lentement de 6heures jusqu'à 10heures de l'ordre de 0.12, Cette légère diminution est influencée par les conditions sous lesquelles le local est soumis ; Vitrage ouvert et rideau semi-fermé pour la ventilation thermique et hygiénique, effet des radiations solaire (de 15° à 68°) sur la façade et la fenêtre.

Avec le levé du soleil, le rayon solaire frappe la fenêtre S-E où il se produit un gain de chaleur par absorption à travers la paroi opaque qui a une couleur beige d'un coefficient d'absorption moyen et un gain direct par la fenêtre.

D'autre part de 12heure jusqu'à 18 heures la température intérieure continue à augmenter jusqu'à ce quelle atteint 30.62°C (le maximum. Pendant ce temps le rideau est fermé et le vitrage est ouvert. La chaleur sera donc transmise à l'intérieure par conduction à travers la paroi exposée aux radiations solaires et par l'air chaud qui pénètre à l'intérieur par convection à travers l'ouverture ; et par la radiation réfléchiée des espaces environnantes (espaces nues, parking goudronné) cette chaleur dissipée restera piégé jusqu'au coucher du soleil.

Au-delà de 18 heures, la température extérieure diminue à raison de 0.76°C/h et la température intérieure de 0.08°C/h, où T_i entre 20 heures et 24heure (minuit) diminue d'une façon lente dû à l'effet de la chaleur dissipée par la paroi, et l'ouverture du rideau, l'orientation de la rue (nord-est, sud-ouest) qui favorise la brise d'été qui aide au rafraîchissement de la température durant la nuit.

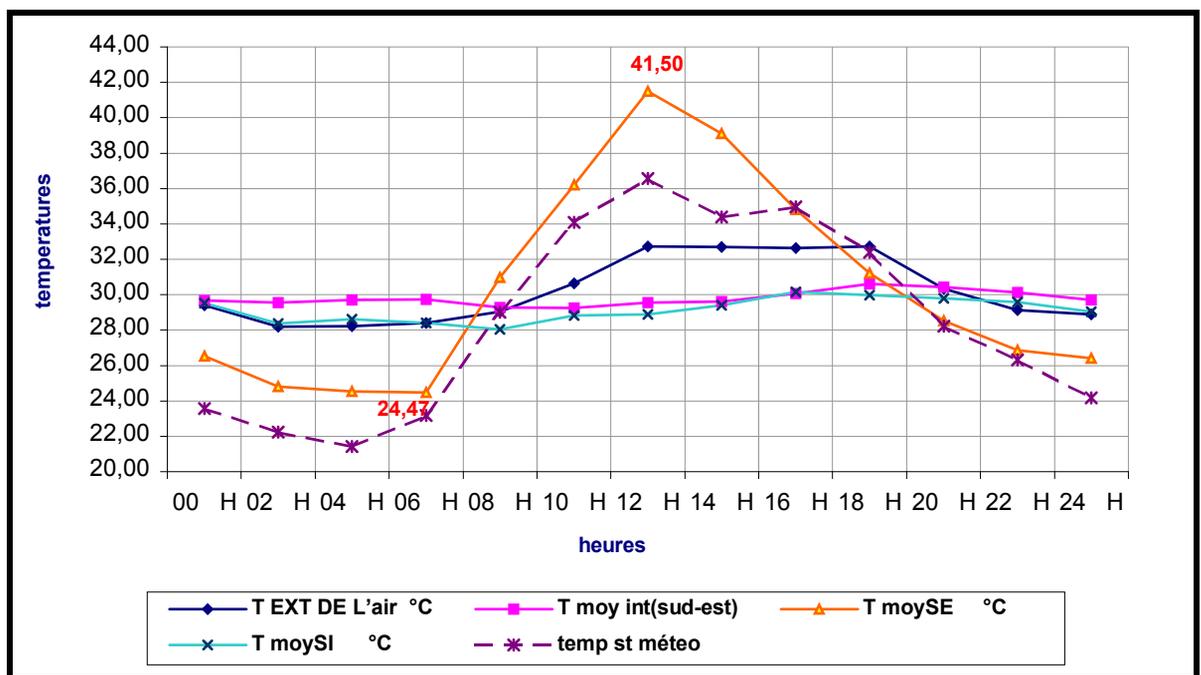


Figure 6-16 : Variation de la température intérieure et des températures surfaciques interne et externe pour le séjour orienté Sud-est. Constantine, 2004 [période estivale]

L'allure de la courbe de températures de surfaces croit rapidement de 6.00heures jusqu'à 12.00heures et cela en fonction du degré d'exposition de la façade aux radiations solaires, où elle enregistre les valeurs les plus hautes maximales de 41.50°C à 12.00heures, la température externe présente donc une amplitude de 17.03°C sur un intervalle de 24 heures alors que la

température intérieure varie lentement avec une amplitude de 2.14°C , ce qui explique l'inertie et le déphasage de la paroi.

D'après la lecture du graphe (6- 16), la température extérieure diminue l'après midi alors que celle de la surface intérieure continue à augmenter. Cela est dû à l'effet de l'inertie de la paroi qui emmagasine la chaleur et la restitue vers l'intérieur après 6 heures.

A cet effet on peut déduire que La température de l'air et la température de la surface de la paroi sont liées par un processus de rayonnement. Ce qui rejoint les conclusions de AKBARI H, KURN DM, BRETZ SE, HANFORD JW « lorsque la surface externe est exposée aux radiations solaires, sa température surfacique augmente plus que la température de l'air extérieur et elle est proportionnelle à l'insolation »¹

Pour les humidités relatives intérieures qui diminuent de 02.35% mais elles restent toujours supérieures à celle de l'extérieure. L'augmentation de la température et des humidités est due à l'occupation de l'espace.

A cet effet On peut déduire que les températures moyennes intérieures du séjour orienté Sud-est sont plus élevées que la température moyenne externe. Cela est dû à l'exposition de cette façade au rayonnement solaire qui s'étale de 8h jusqu'à 14h (une durée d'ensoleillement de 7h30mn) cette orientation bénéficie d'une quantité d'énergie solaire assez importante de $2150\text{w}/\text{m}^2$; la participation de l'occultation de la fenêtre par le rideau toute la journée minimise les gains de chaleur très importante, ainsi que le crépissage (texture de la face externe) qui participe à ce confort.

6.5.1.1.3- Pour le séjour orienter Sud-ouest ($A= +60^{\circ}$):

La lecture du graphe (6-17), fait sortir que L'évolution de la courbe des températures moyennes de l'air à l'intérieur du séjour orienter Sud-ouest suit celle des températures extérieures. Ou elle atteint sa valeur maximale de 31.60°C à 20h et sa valeur minimale de 25.17°C à 4.00heures soit une amplitude de 14.50°C

La température de l'air extérieur enregistrée par la station météorologique présente une amplitude de 15.12°C .

A partir de 6.00 heures jusqu'à 10.00 heures la courbe de la température intérieure évolue lentement le matin où les températures intérieures varie entre 23.33°C et 28°C durant cet intervalle de temps dû aux radiations solaires réfléchies des surfaces proches et de l'orientation de la rue qui fait canaliser l'air chaud et par manque de végétation qui augmente les températures, puis rapidement à partir de 10h00 pour atteindre sa valeur maximale de 31.60°C à 20h00. Sous l'effet de la radiation solaire direct qui lui parvient de la fenêtre, par l'occupation du séjour et les gains interne.

Le soir la température diminue lentement à cause du manque de ventilation et par effet de l'inertie de la paroi qui a emmagasiné la chaleur la plus importante de la journée. Elle coïncide avec les températures ambiantes extérieures les plus élevées.

¹ - AKBARI H, KURN DM, BRETZ SE, HANFORD JW in BOURBIA.F -Building Cluster And Shading In Urban Canyon For Hot Dry Climate- renewable- energy 29 (2004) page 297.

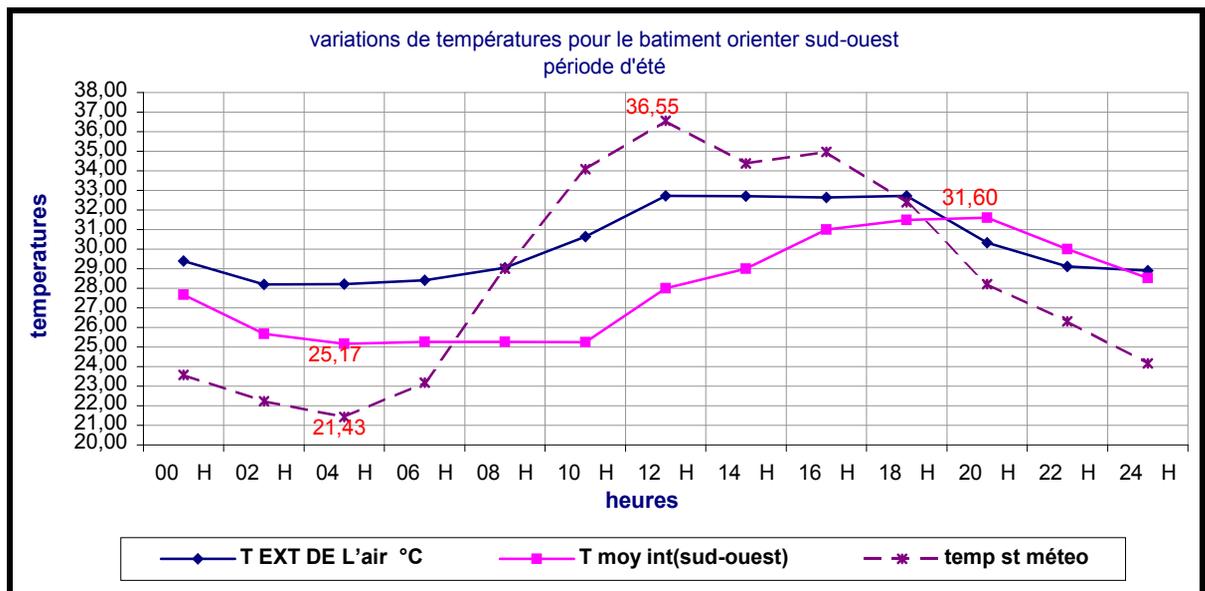


Figure 6-17 : Variation de la température intérieure et extérieure pour le séjour orienté Sud-ouest. Constantine, 2004 [période d'été].

D'après la courbe représentative du graphe (6-18) les températures surfaciques augmentent au fur et à mesure que la paroi s'expose aux rayonnements solaires et que l'angle d'incidence de la radiation solaire se rapproche de la normale.

Cependant La température de surface externe oscille entre 25°C à 44°C, elle enregistre la valeur maximale de 44°C dans l'après midi à 15.00heures et à 18.00heures du à l'effet de l'orientation qui bénéficie des radiations directes. L'amplitude est de 13.5°C pour une période de 24 h alors que l'amplitude de la température surfacique intérieure est de 12.5°C. On remarque qu'il n'y a pas de grande différence entre les deux faces de la paroi ce qui explique la sévérité de l'orientation Sud-ouest par rapport aux orientations Sud-est et Nord-est.

En effet on peut déduire qu'une fois la température surfacique extérieure est élevée la température surfacique interne augmente.

A cet effet, la façade n'est pas totalement protégée des radiations solaires, ce qui converge avec les recherches de (A.DOURI, 1976) ou il a trouvé que la température des parois internes est très élevée par rapport à la température internes de l'air lorsque ces parois n'étaient pas protégées contre la radiation solaire.²

Ce qui explique ce qui suit :

- Le séjour occupé durant toute la durée (gains internes).
- L'orientation de la façade qui bénéficie du rayonnement direct intense de l'après qui atteint la valeur de 2000w/m² entre 15.00heures et 17.00 heures et ces rayons ont une incidence très faible de l'ordre de 10 à 15° qui fait que ces rayonnements pénètrent plus profond à l'intérieur.
- La façade n'est pas protéger du rayonnement solaire voir (figure 6-19)
- Le microclimat qui est pauvre (espaces goudronnées, absence de masques environnant et absence totale de la végétation.)

² - **ABDOU. S** – Investigation Sur L'intégration Climatique De L'habitat Traditionnel En Région Aride Et Semi-aride D'Algérie- cas de Constantine et Ouargla, thèse de doctorat d'état. Université de Constantine, 2003-2004, page

Après le couché du soleil, la température de la surface extérieure diminue alors que celle de la surface interne continue à augmenter, ce qui explique l'effet de l'inertie de la paroi qui stocke de la chaleur et la restitue vers l'intérieur.

Cependant la courbe des températures de l'air et les températures surfaciques de la paroi intérieure Evolue simultanément.

A cet effet on peut déduire que la température moyenne intérieure du séjour orienter Sud-ouest est plus haute que la moyenne des températures externe. Tout cela est dû à l'exposition de la façade aux rayonnements solaires très intense de 3150w/m^2 , et qui pénètre profondément à l'intérieure du séjour d'un angle d'incidence très faible de 10° .

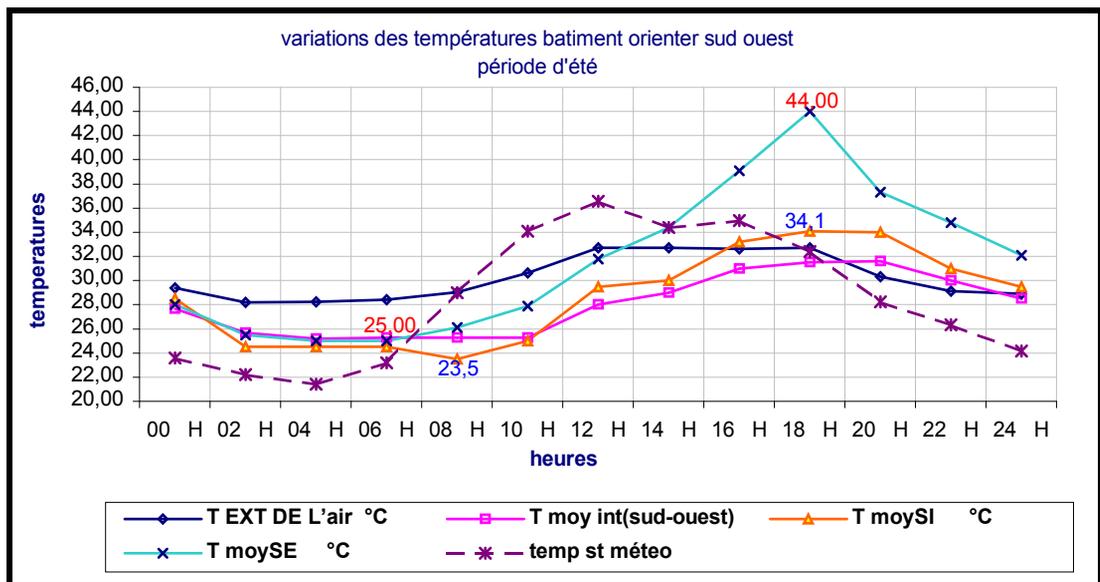


Figure 6-18 : Variation de la température surfacique interne et externe pour l'orientation Sud-ouest. Constantine, 2004 [période d'été].

6.5.1.2- Comparaison des températures intérieure et extérieure des différentes orientations :

D'après la lecture du graphique (6-19) on peut déduire que l'orientation Nord-est présente des températures moyennes intérieures plus basses que celle des températures moyennes intérieures du séjour orienté Sud-est. Cette différence s'explique par le degré d'exposition des deux façades voir abaque (figure 5-24) et (figure 5-25), dont la durée d'ensoleillement est différente. Cependant la première orientation reçoit le soleil tôt matin de 6h jusqu'à 10h (une durée de 4heures durant les moments où les températures sont encore fraîches) et elle reçoit une quantité d'énergie égale à 2740w/m^2 mais la deuxième orientation reçoit le soleil d'été de 6h jusqu'à 14h (une durée plus long de 7h30mn) et qui coïncide avec les températures de l'air plus important surtout à partir de 12.00heures. Et elle reçoit une quantité d'énergie de 2150w/m^2 . Mais l'orientation Sud-ouest présente des fluctuations dans les températures interne qui marque deux périodes distincts : La première période du matin présente des températures plus basses que celle des deux autres orientations, cependant la deuxième période de l'après midi présente des températures plus hautes ; Et tout cela explique l'effet des radiations solaires sur l'orientation de la façade et qui reçoit une quantité importante de radiation de 3150w/m^2 . Cette différenciation peut être expliquer comme suit :

De 8 heures –12 heures :

La température moyenne intérieure du séjour orienté Nord-est reste inférieure à la température moyenne intérieure du séjour orienté Sud-est de l'ordre de 2 °C. cela est dû à l'effet des radiations sur les deux orientations. Sauf que la face Nord-est subit l'effet de la brise du vent qui vient du Nord-est et qui participe à cette diminution et par l'ouverture de l'espace, cependant la durée de l'ensoleillement est réduite de l'ordre de la moitié par rapport à l'orientation Sud-est. Pour la température moyenne interne de la façade Sud-ouest qui reste inférieure à celle des deux autres orientations de l'ordre de 3°C durant la période matinale, s'explique par l'absence totale des radiations solaires sur cette façade. Ce qui rejoint l'idée de GIVONI.B qui dit que les températures intérieures sont largement conditionnées par la ventilation naturelle et le degré d'efficacité des protections solaires.

De 12 heures – 18 heures :

La température moyenne intérieure du séjour orienter Sud-ouest augmente de l'ordre de 8°C entre 12h et 18h (1.33°C /h) par rapport aux deux autres orientations [Nord-est et Sud-est]. Ce qui nous donne une augmentation légère respective de l'ordre de 1.05°C (0.17 °C /h) pour l'orientation Nord-est et de 1.09 °C (0.18°C) pour l'orientation Sud-est.

En effet cette forte augmentation de la température de la façade Sud-ouest est due à l'effet des radiations solaire de l'après midi et de la transmission de l'air chaud (température de l'air extérieur) et par manque de protection solaire efficaces. OÙ, GIVONI.B [1980] rappelle que l'orientation par rapport au soleil a une influence sur l'ambiance intérieure.

D'après G.S YAKUBU et S. SHARPLES [1992]³, l'ambiance intérieure de chaque séjour dépend étroitement de l'effet de l'orientation et sur l'élévation de la température,

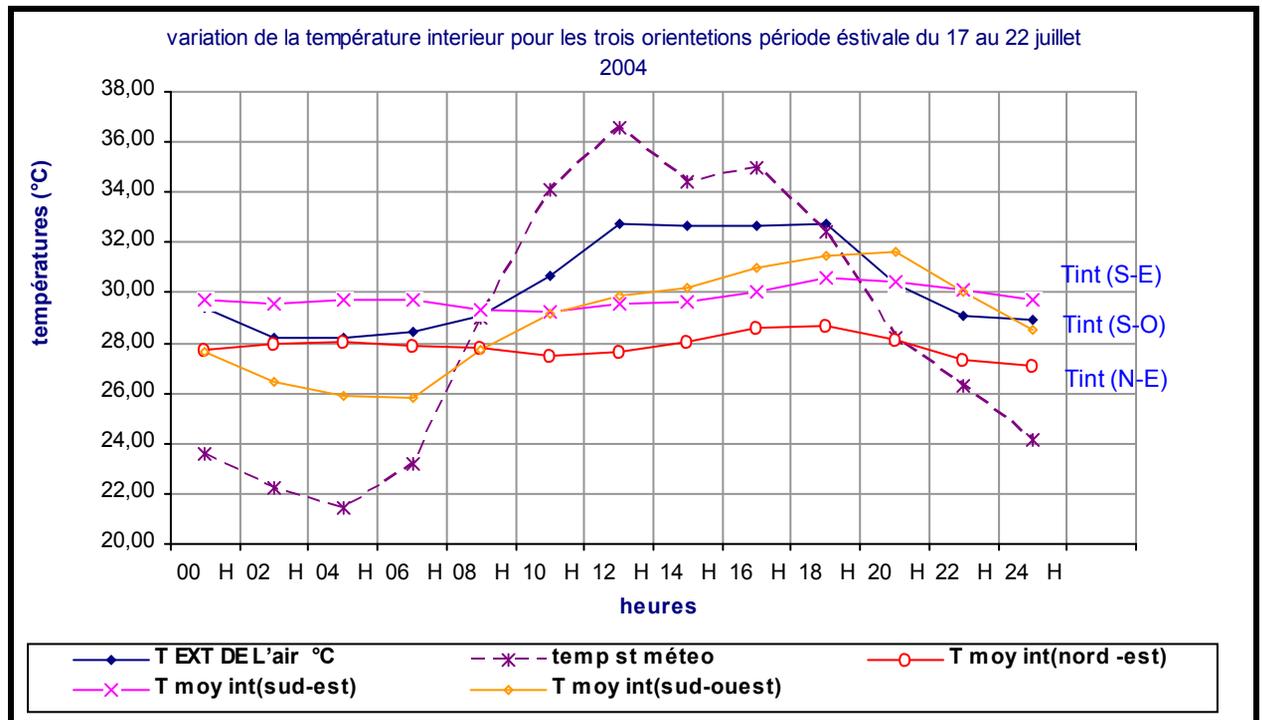


Figure 6-19 : Comparaison de la variation de la température intérieure pour les trois orientations [période estivale]. Constantine, 2004.

³ - G.S YAKUBU et S. SHARPLES – *Bioclimatic Design Studies For Passive And Low Energy Building Design In Hot-Dray/Semi-Arid Climates*- world renewable “pergamon press”1992.

6.5.1.3- Comparaison Des Températures surfaciques (intérieure et extérieure) :

6.5.1.3.1- Les températures surfaciques extérieures :

Plus le mur est exposé au soleil plus la température surfacique de ce mur augmente, Les températures surfaciques extérieures ont une relation entre l'intensité solaire et le degrés d'incidence des rayons solaires. Le bâtiment étudié a une couleur beige ce qui veut dire une absorption moyenne.

D'après GIVONI.B [1978]⁴ la température de la surface externe a des grands effets sur les conditions thermiques intérieures, ce dernier, varie avec la clarté de la couleur et la vitesse de l'air en contact avec la surface.

D'après le graphe de la figure (6-20) on constate que la température de surface externe de la façade N-E Fluctue au-dessous du niveau moyen de la température externe. Ce qui rejoint les constatations de AKBARI « que l'ombre réduit les températures de surface extérieure et l'énergie incidente. »

Par contre les températures surfaciques S-E présente une importante élévation par rapport à la température surfacique extérieure du séjour orienter N-E, de 7h00 jusqu'à 12h00, ce qui explique l'effet des radiations solaires sur la surface et la durée d'ensoleillement.

Par contre la température surfacique extérieure de la façade S-O elle enregistre une augmentation plus importante que les deux autres orientations, de 9h00 jusqu'à 20h00 ou elle atteint son maximum de 44°C à 18h00. Pour cela, il convient de noter que l'augmentation de la température de surface extérieure du mur est provoquée principalement par le manque d'ombrage et le manque de protection efficace des ouvertures. Aussi par les radiations solaires réfléchies des surfaces environnementales causent aussi cette augmentation (surfaces nues, rue asphaltée).

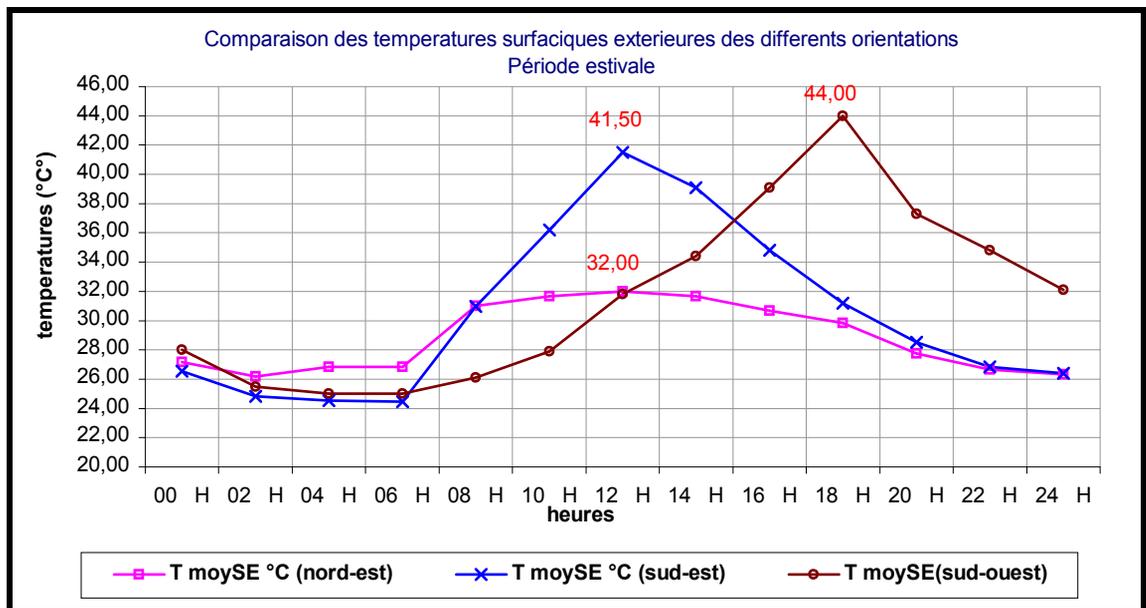


Figure 6-20 : Comparaison des températures surfaciques extérieures des trois orientations [période estivale].

⁴ - GIVONI. B --L'homme, L'architecture Et Le Climat- édition : le Moniteur Paris, 1978 page.

6.5.1.3.2- Les températures surfaciques intérieures :

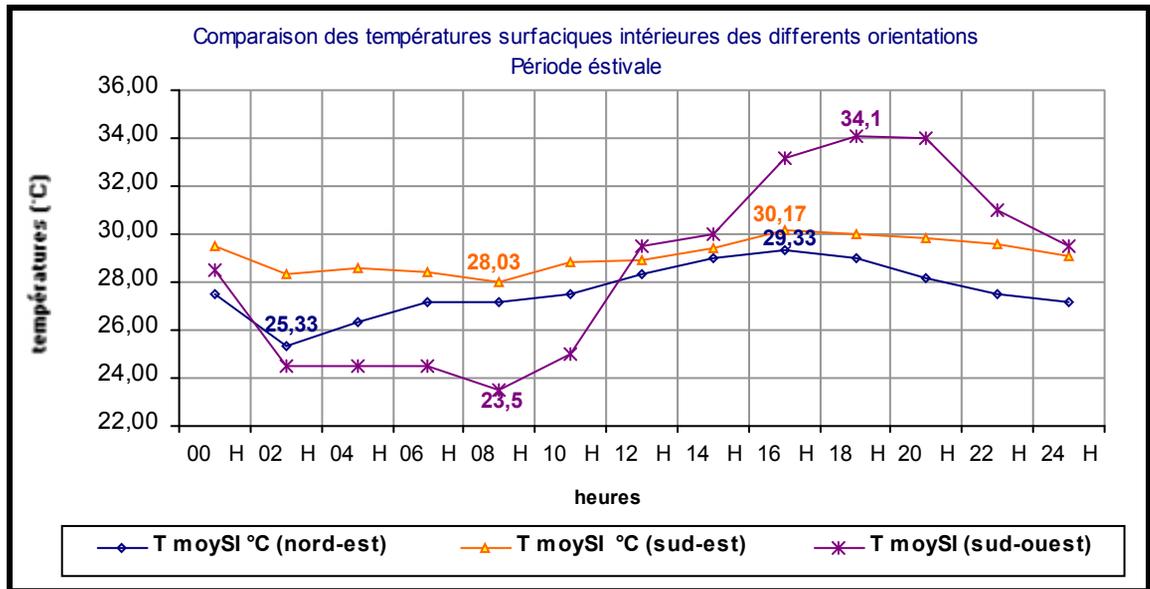


Figure 6-21 : Comparaison des températures surfaciques intérieures des différentes orientations Constantine, 2004 [période d'été]

D'après le graphe de la figure (6-21) on peut constater que les températures moyennes des surfaces intérieures suivent celles des températures surfaciques extérieures avec un écart de température $0,50^{\circ}\text{C}$

La température surfacique intérieure de la façade N-E reste inférieure à la température de surface de la façade S-E, et qui veut dire que plus la paroi est exposée aux radiations solaires plus le flux de chaleur à travers la paroi est élevée. Afin de minimiser les gains de chaleur à l'intérieur du local il faut choisir l'orientation qui bénéficie moins de radiations solaires en été.

6.5.1.4- Comparaison des écarts entre température intérieure et extérieure ($\Delta T = t_i - t_e$)

La différence des températures moyennes horaires extérieure et intérieure du local permet d'évaluer l'écart de la température entre l'intérieur et l'extérieur.

Le confort intérieur est de plus en plus apprécié lorsque cette différence s'éloigne du zéro en valeurs négatives⁵

D'après la figure (6-22) :

- L'orientation Nord-est a un écart négatif sur toute la journée qui justifie la fraîcheur à l'intérieur du séjour,
- L'orientation Sud-est a un écart positif entre 20h et 6h ce qui nous donne un gain d'énergie venant de l'effet des parois externes exposées au soleil de (9h à 14h), ce gain de chaleur est stockée puis transmis à l'intérieur par la paroi opaque. Durant la journée de 9h à 18h ce bilan est négatif, important (3°C) pour cela il reste apprécié car c'est le moment de la journée le plus défavorable et ce qui justifie l'utilisation de l'espace cela s'explique par l'effet de la protection de la fenêtre de la radiation solaire et que le

⁵ - **ABDOU. S** - Investigation sur l'intégration climatique de l'habitat traditionnel en région aride et semi-aride d'Algérie – cas de Constantine et Ouargla, thèse de doctorat d'état. Université de Constantine, 2003. page 233

résultat aurait pu être meilleur si la protection était constituée en dur (l'exposition à la radiation diffuse et réfléchie porte de la chaleur)

- L'orientation Sud-ouest a un écart entre la température intérieure et la température extérieure positif entre 15h et 24h ce gain d'énergie est dû à l'exposition au rayonnement solaire intense de l'après midi, il reste non apprécié car c'est le moment le plus défavorable de la journée ou la façade est exposée aux rayons solaires directs. De 24h à 15h, l'écart est négatif ce qui justifie l'appréciation de cet espace dans cet intervalle de temps, qui est dû à la ventilation nocturne produite par la fenêtre et l'absence du rayonnement solaire.

On constate que l'orientation Nord-est reste la plus fraîche et la plus confortable durant la période estivale, pour la simple raison que cette façade ne reçoit pas assez de radiations solaires directes et tout le temps à l'ombre.

Cependant la façade Sud-ouest est à éviter durant cette période surtout qu'elle reçoit l'intensité la plus importante de l'après midi.

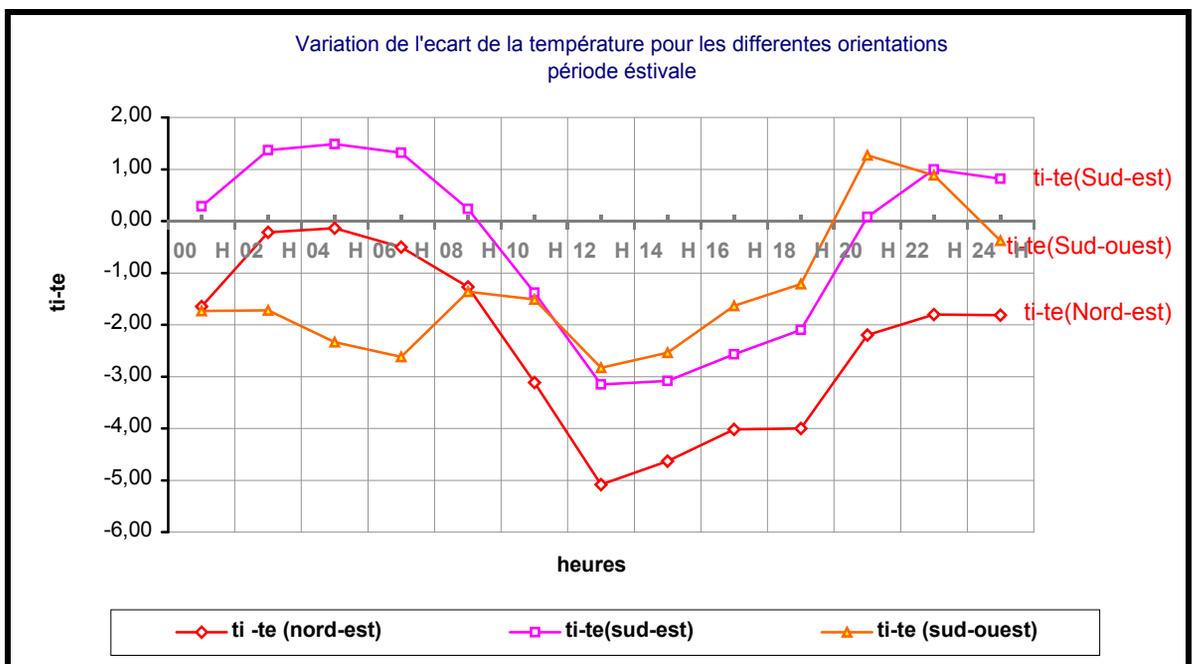


Figure 6-22 : Variation de l'écart de la température pour les différentes orientations [période d'été]

6.5.2- Période hivernale :

6.5.2.1- Etude de la variation de la température de l'air et l'humidité relative intérieure et extérieure :

6.5.2.1.1- Pour le séjour orienter Nord-est :

Le graphe de la figure (6-23) montre que les températures intérieures présente des fluctuations importantes de l'ordre de 2.69°C

Avec une température intérieure minimum de 12.51°C atteinte à 10h et un maximum de 15.20°C atteint plus tard dans la soirée vers 24h. Tandis que la température extérieure varie de 02.18°C à 24h00 (minuit) et 05.72°C à 14h00, les températures internes sont beaucoup plus élevées que celles de l'extérieur.

Quant aux humidités relatives internes (figure 6-24), elles sont basses par rapport à celle de l'extérieur.

Les températures et les humidités relatives à l'intérieur du séjour N-E atteignent simultanément leurs valeurs les plus élevées de 22h jusqu'à 24h. (Séjour non utilisé et fermé, chaleur transmise par le chauffage, fermeture des fenêtres qui favorise la diminution des déperditions à travers l'ouverture)

Nous constatons que le matin, de 8h00 jusqu'à 10h00 les températures intérieures diminuent de 0.89 °C alors que les températures extérieures augmentent de 2.5°C cela à, cause de l'ouverture de la fenêtre dans le but de la ventilation matinale ainsi que le chauffage qui est éteint. Par conséquent les températures et les humidités décroissent jusqu'à 12h mais entre 11h à 18h elles tendent à prendre des valeurs plus ou moins uniforme de 14°C, (vitrage fermé réduisant les pertes par (infiltration) convection.)

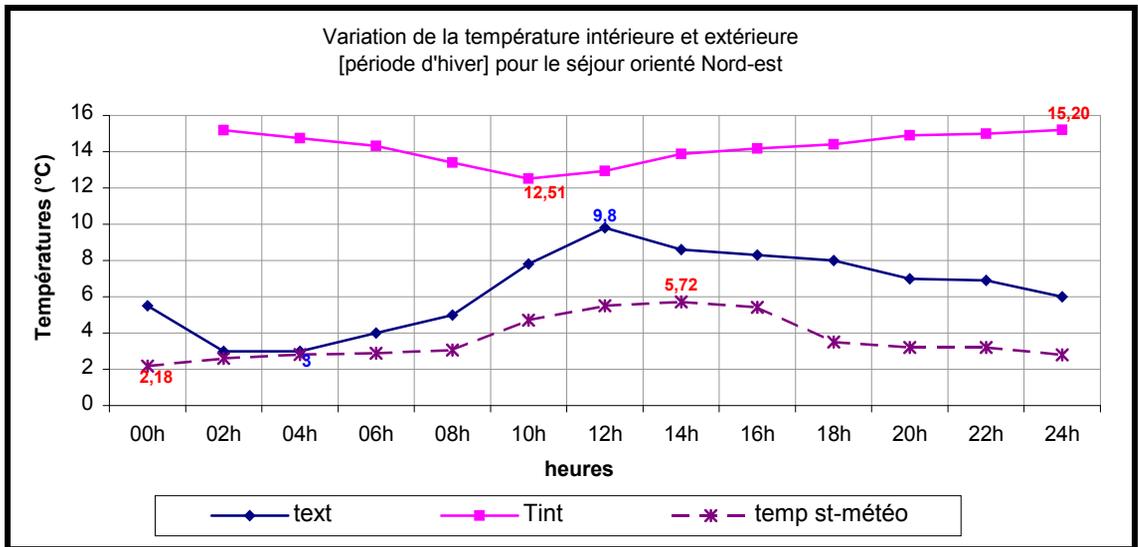


Figure 6-23 : Variation de la température intérieure et extérieure pour le séjour orienté Nord-est. [Période d'hiver] Constantine, 2004.

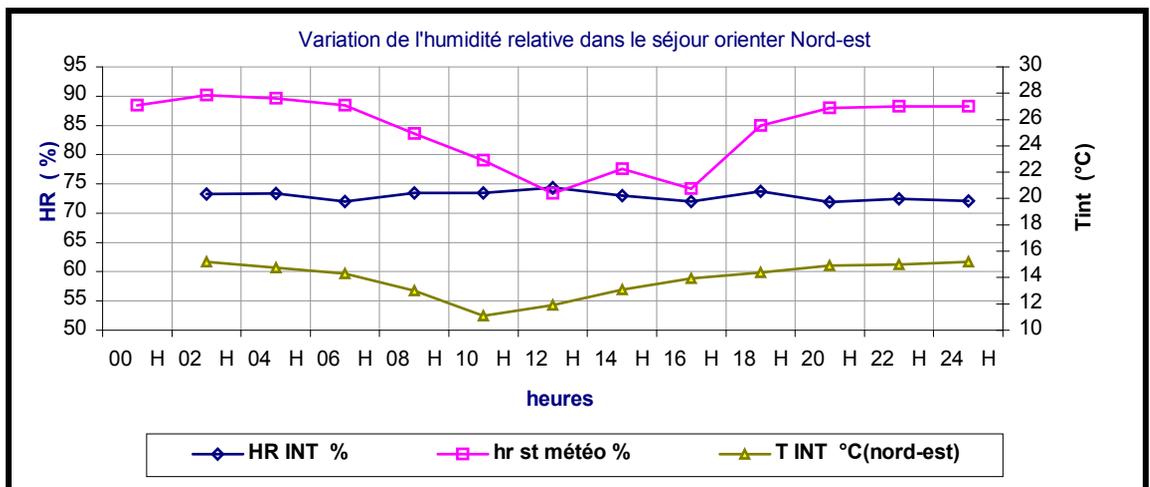


Figure 6-24 : Variation de l'humidité relative dans le séjour Nord-est. [Période d'hiver] Constantine, 2004.

Le rayonnement direct de l'orientation Nord-est est pratiquement inexistant « voir abaque solaire », (figure-24) à cet effet la transmission de la chaleur par rayonnement solaire est nul.

En tenant compte que les usagers utilisent la poêle à gaz pour chauffer l'intérieur, ce dernier est placé à proximité du séjour. Utilisé surtout pendant les soirées au moment où la température extérieure baisse.

Un mur exposé au Nord-est contribue à la réduction des températures surfacique intérieure de l'hiver, suite aux déperditions par convection et par conduction aussi par infiltration d'air frais par les fenêtres..

D'autre part les gains internes gratuits participent à l'élévation des températures (chaleur générée par les occupants, par les appareils électriques ou à la proximité d'une source de chaleur telle que la cuisine, chauffage...).

Toutefois, la consommation énergétique en matière de gaz est très élevée durant cette période. (Dépense supplémentaire sur le pouvoir d'achat)

Cependant les températures moyennes de la surface extérieure (figure 6-25) de la paroi Nord-est varie entre 4.36°C et 7.67°C ou la valeur minimale est enregistrée 00h00 et la maximale à 12h00 avec une amplitude de 3.31°C, alors que l'amplitude de la température moyenne de la surface interne est de 1.27°C, où elle enregistre la valeur minimale de 13.93°C à 10h00 et la maximale de 15.20°C à 20h00.

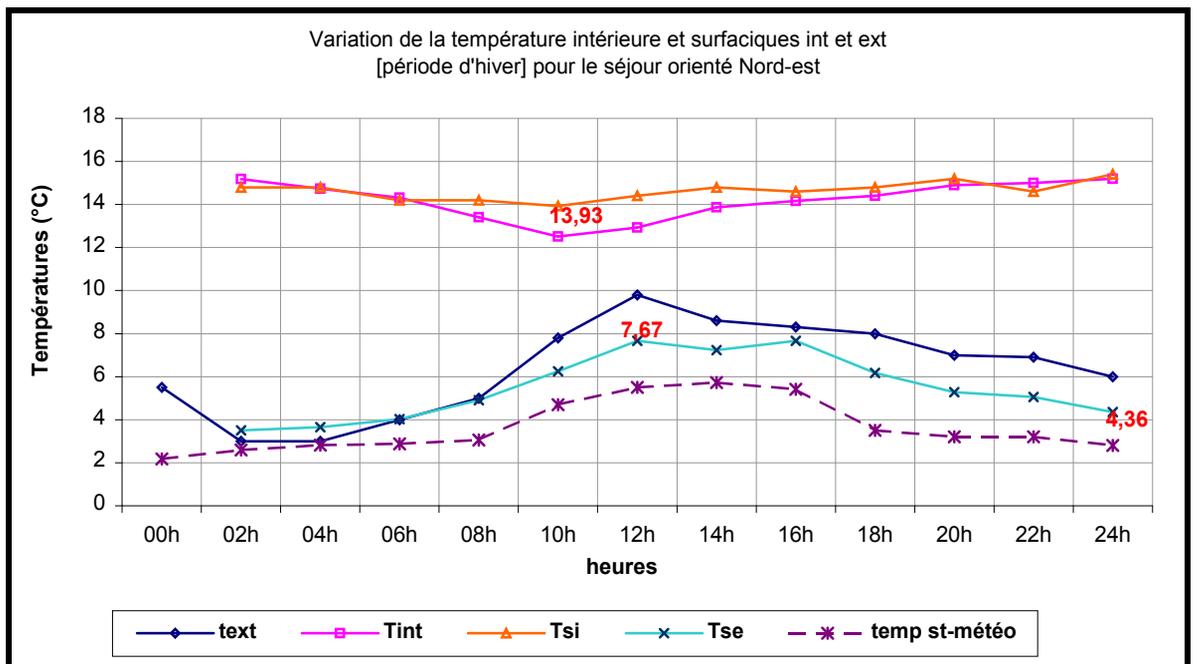


Figure 6-25 : Variation de la température intérieure et surfacique intérieure et extérieure pour le séjour orienté Nord-est. [Période d'hiver] Constantine, 2004.

6.5.2.1.2- Pour le séjour orienter Sud-est :

La lecture du graphe de la figure (6-26) fait ressortir que la fluctuation de la température interne n'est pas très grande, elle ne varie que de 1.96°C. Les températures internes sont beaucoup plus élevées que les températures de l'extérieur à cause du chauffage. Quant aux humidités relatives intérieures, elles sont basses par rapport à celles de l'extérieures (figure 6-27). Les températures et les humidités relatives intérieures du séjour Sud-est atteignent

simultanément leurs valeurs les plus élevées de 18h00 jusqu'à 6h00. Cela s'explique par le fait que durant cette période l'espace est occupé par 2 à 3 personnes pour dormir. On constate que le matin les températures et les humidités décroissent jusqu'à 10h00, à cause de l'ouverture de la fenêtre dans le but de la ventilation matinale, ainsi que le chauffage qui est éteint.

Cependant, entre 10h et 18h la température intérieure prend des valeurs plus ou moins uniforme. Pendant cette période le vitrage est fermé, réduisant ainsi les pertes par convection et conduction. Le rayonnement direct est transmis à travers la paroi externe.

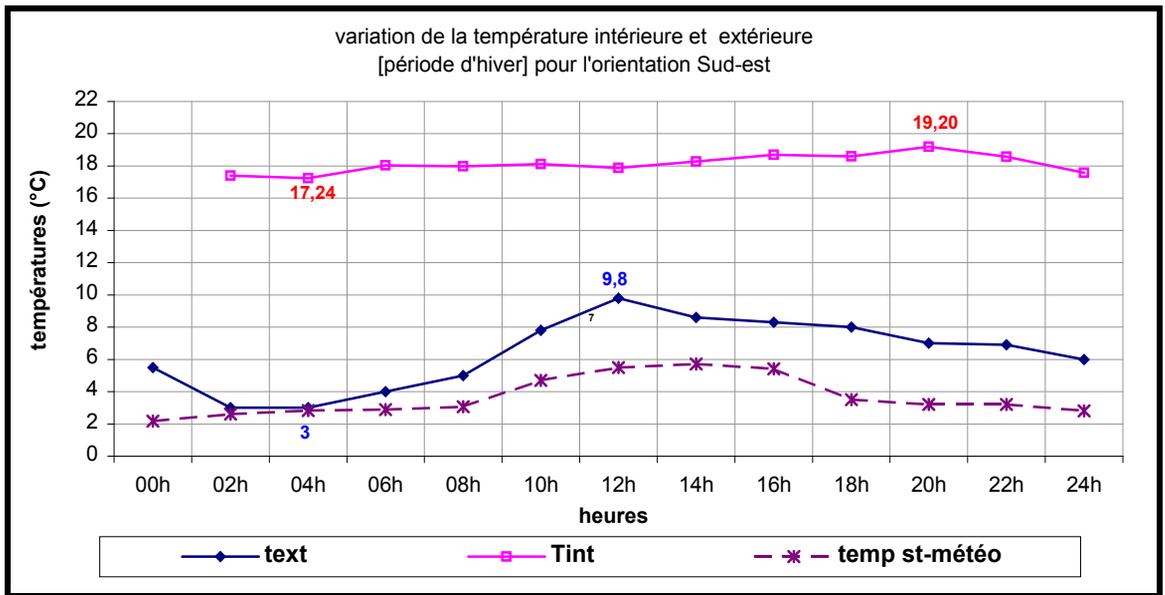


Figure 6-26 : Variation de la température intérieure et extérieure pour le séjour orienté Sud-est. [Période d'hiver] Constantine, 2004.

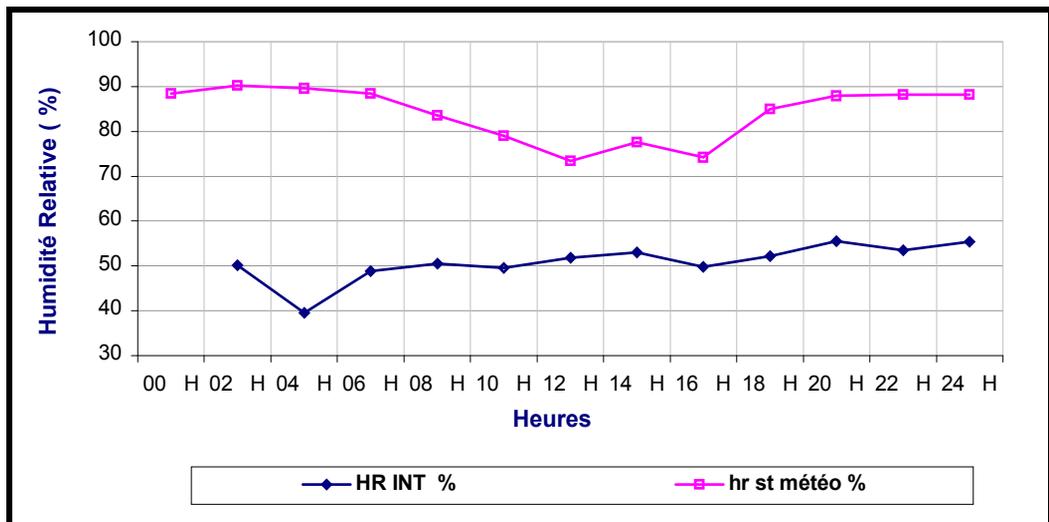


Figure 6-27 : Variation de l'humidité relative dans le séjour orienté Sud-est. [Période d'hiver] Constantine, 2004.

D'autre part les températures moyennes des surfaces extérieures de la paroi S-E (figure 6-28) varie entre 4.17°C et 10.72°C avec une amplitude de 6.55°C, alors que l'amplitude de la température moyenne de la surface interne est de 2.60°C.
 La température surfacique extérieur reste inférieur à la température surfacique intérieure. Mais la température moyenne interne de l'air reste supérieur aux températures surfaciques intérieures.

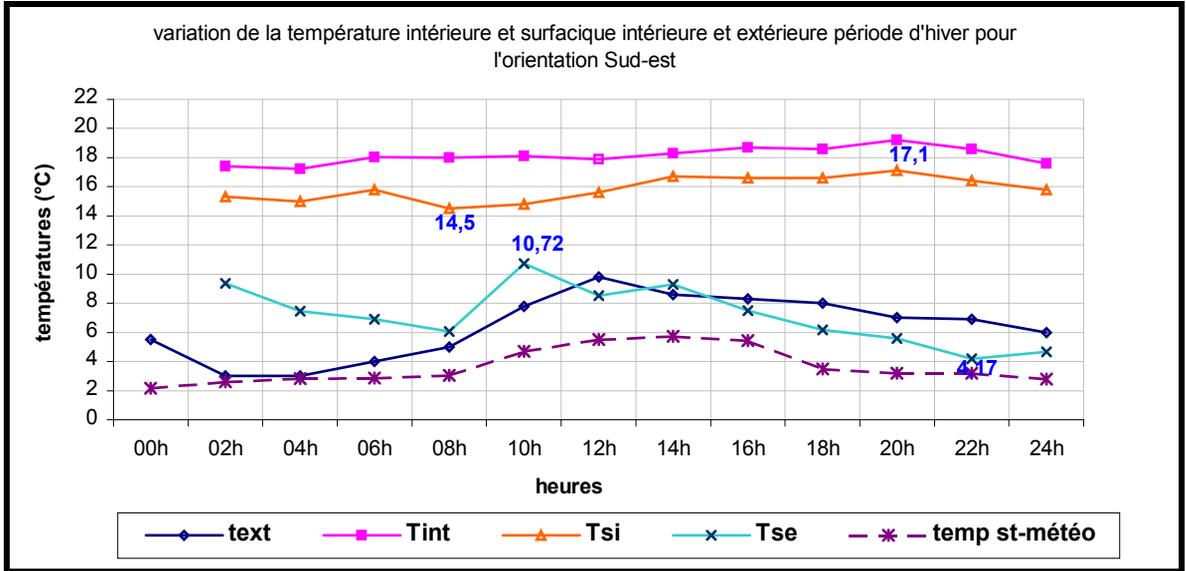


Figure 6-28 : Variation de la température intérieure et surfacique intérieure et extérieure, pour le séjour orienté Sud-est. [Période d’hiver] Constantine, 2004.

6.5.2.1.3- Pour le séjour orienter Sud-ouest :

D’après la lecture du graphe (6-29) on peut déduire que les fluctuations de la température moyenne intérieures ne sont pas très grandes. Elle ne varie que de 1°C. Tandis que la température de la station météo varie de 2.60 °C à 2h00 et 05.72°C à 14h00.ainsi les températures internes sont beaucoup plus élevées que celles de l’extérieur à cause du chauffage.

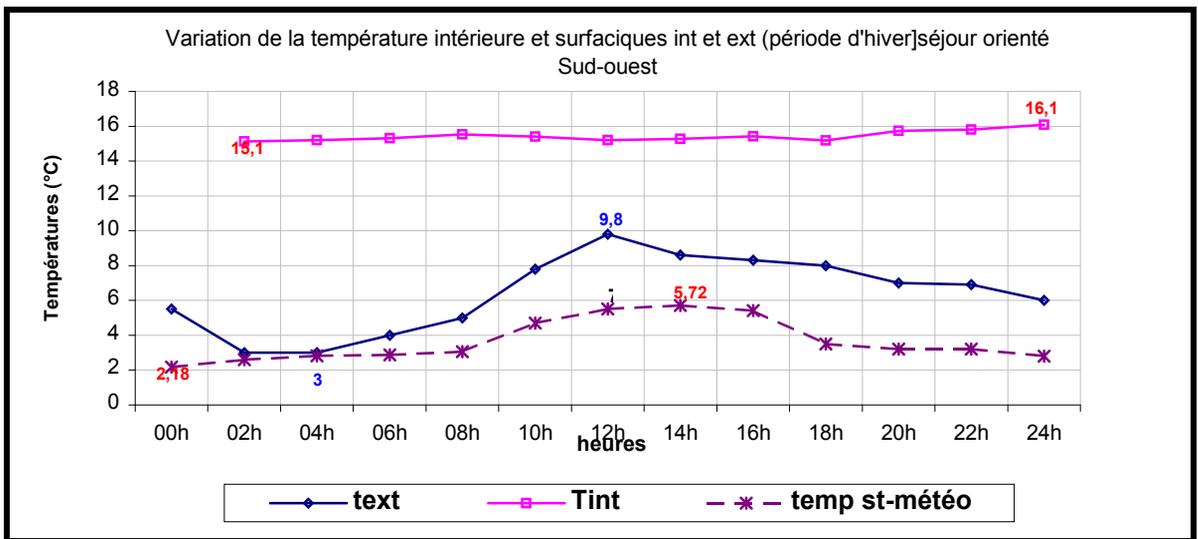


Figure 6-29 : Variation de la température intérieure et surfaciques intérieure et extérieure pour le séjour orienté Sud-ouest. [Période d’hiver] Constantine, 2004.

Quant aux humidités relatives intérieures, elles sont basses par rapport à celles de l'extérieures de 18h jusqu'à 8h. (Figure 6-30)

Les températures et les humidités relatives intérieures du séjour Sud-ouest atteignent simultanément leurs valeurs les plus élevées depuis 20h00 jusqu'à 8h00, ce qui explique l'occupation de l'espace pendant cet intervalle de temps, chaleurs transmis par le chauffage, énergie transmise par la télévision et la fermeture des fenêtres qui favorise la diminution des déperditions à travers l'ouverture.

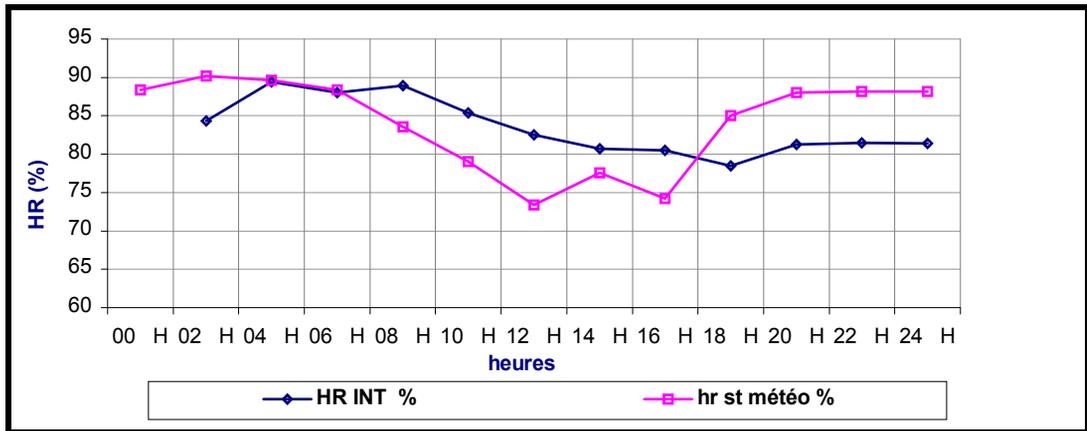


Figure 6-30 : Variation de l'humidité relative dans le séjour orienté sud-ouest. [période d'hiver] Constantine, 2004.

la température surfacique intérieure suit celle de la température moyenne intérieure de l'air avec des valeurs inférieures de l'ordre de 2°C (figure 6-31)

Les températures moyennes des surfaces extérieures de la paroi S-O varie entre 2.7°C et 9.10°C avec une amplitude de 7.30°C , alors que l'amplitude de la température moyenne de la surface interne est de 1.61°C.

Où les températures moyennes de la surface intérieure varie entre 12.84°C et 14.4°C.

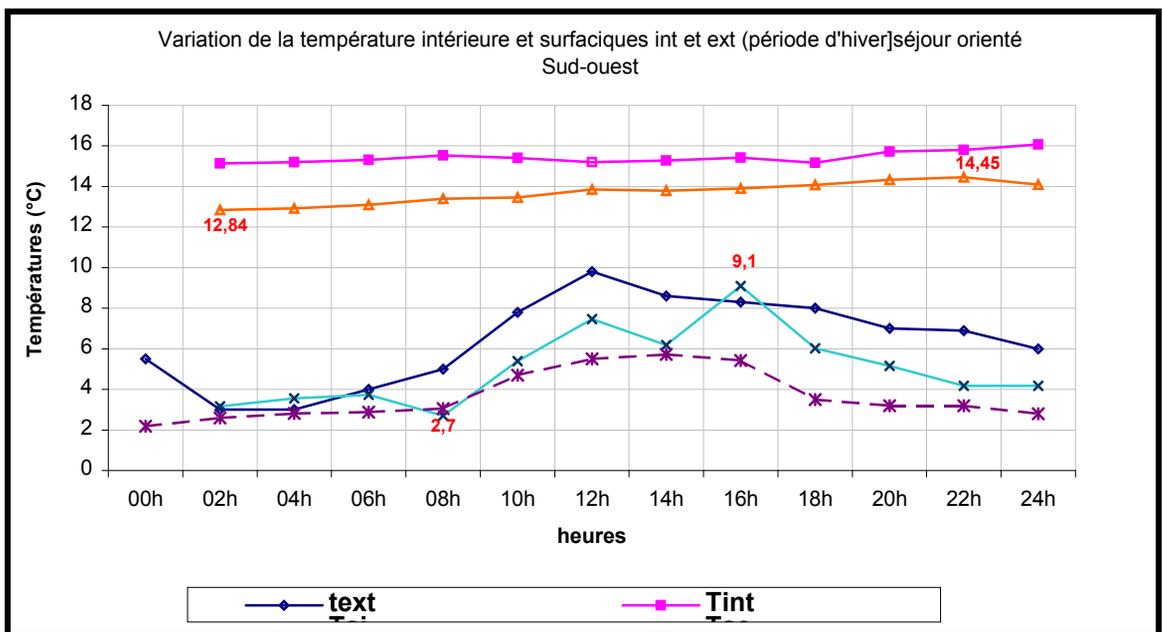


Figure 6-31 : Variation de la température intérieure et de surfaces int. et ext. pour le séjour orienté Sud-ouest. [Période d'hiver] Constantine, 2004.

6.5.2.2- Comparaison des températures intérieure et extérieure des différentes orientations :

D'après la lecture du graphe (figure 6-32) on peut déduire que l'orientation Nord-est présente des températures moyennes intérieures plus basses que celle des températures moyennes intérieure du séjour orienté Sud-est d'un écart maximale de 7.02°C à 10h00 et minimale de 2.22°C à 2h00. Ce qui veut dire que l'exposition de la façade Sud-est aux rayonnements solaire d'hiver, la paroi bénéficie d'un gain solaire par transmission à travers la paroi et la fenêtre. Par contre la façade N-E ne reçoit pas les radiations solaires (absence des radiations solaires).

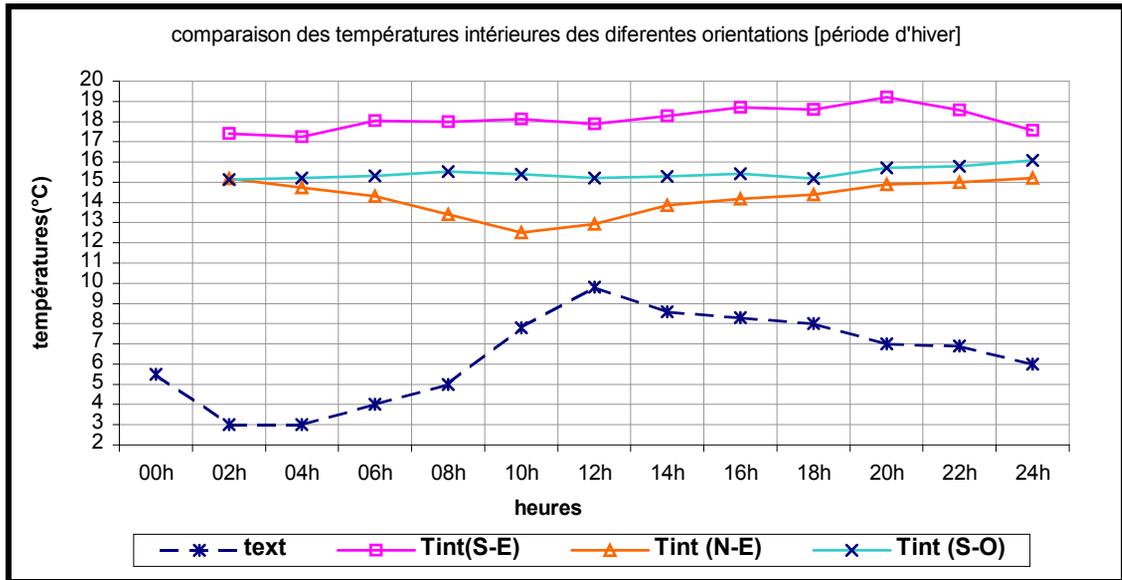


Figure 6-32 : Comparaison des températures intérieures des trois séjours [période d'hiver] Constantine, 2004.

Et du fait que cette façade reçoit le vent froid d'hiver et qui participe à cette diminution (déperditions) en plus l'absence totale des brises vents.

Mais l'orientation Sud-ouest présente des températures interne moins basse que celle de l'orientation Sud-est avec un écart maximal de 3.88°C à 16h00 et minimale de 1.50°C à 00h00.

De cela, on peut dire que l'orientation Sud-est reste la plus favorable durant cette période, par contre, les orientations Nord-est et Sud-ouest sont à éviter durant la période hivernale cela est dû à l'exposition au vent d'hiver les plus froids, qui participe à la diminution des températures par infiltration et par déperditions.

6.5.2.3- Comparaison des températures surfaciques (intérieure et extérieure) :

D'après la lecture du graphe (figure 6-33) on peut déduire que l'orientation Sud-est prend les valeurs des températures surfaciques les plus élevés d'un écart de 2.5°C par rapport à l'orientation Nord-est et de 3°C par rapport à l'orientation Sud ouest cela est dû à l'effet du vent dominant du Nord-ouest et Nord qui influe sur l'abaissement de la température de la surface externe. On constate que cela influe sur les températures de surface interne et qui fait que les deux orientations Nord-est et Sud-ouest présentent des températures plus basses que celle de l'orientation Sud-est.

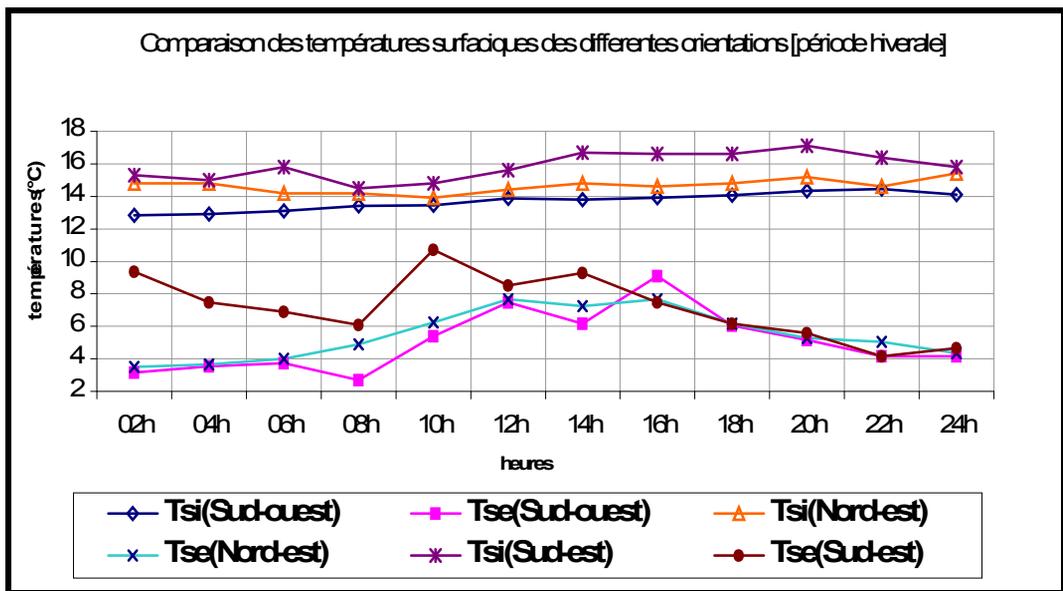


Figure 6-33 : Comparaison des températures surfaciques int. et ext.[période d’hiver] Constantine, 2004.

6.5.2.4- Comparaison des écarts entre température intérieure et extérieure ($\Delta T = t_i - t_e$)

La différence des températures moyennes horaires intérieures et les températures moyennes extérieures révèle une différence positive durant toute l’investigation (figure 6-34). Cette différence exprime un gain énergétique. Nous remarquons que l’écart entre les températures moyennes intérieures augmente entre 20h00 et 6h00 du matin. Cette augmentation est plus ressentie dans l’orientation du séjour Sud-est avec une différence de 2.5°C par rapport au séjour Sud-ouest, et de 3.8°C par rapport au séjour Nord-est.

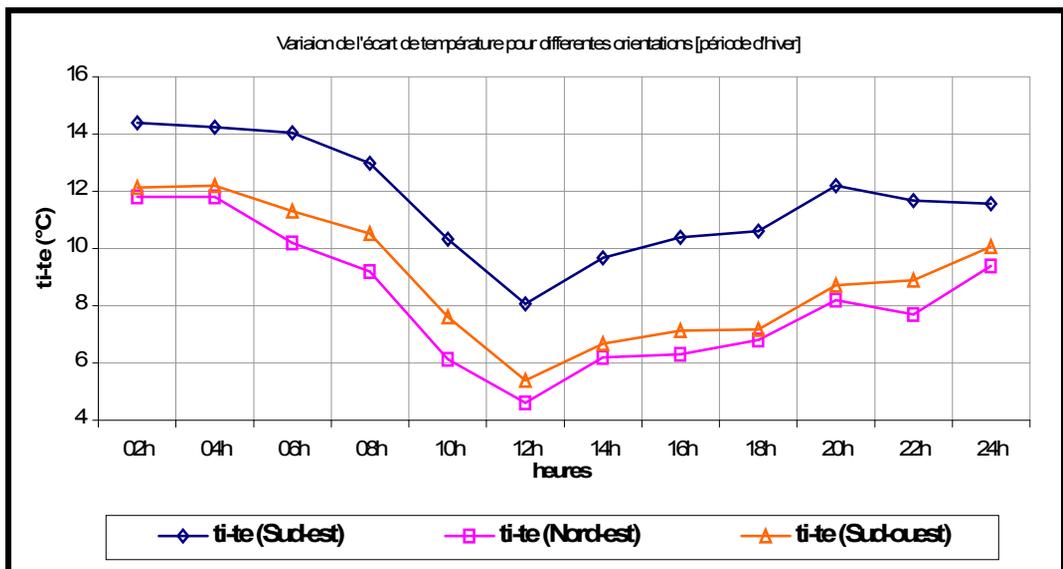


Figure 6-34 : Comparaison Des Ecart Entre Température Intérieure Et Extérieure [Période d’hiver] Constantine, 2004.

Ces résultats nous permettent de confirmer que ces gains directs par les radiations solaires ont une influence directe sur l’élévation de la température intérieure et qui dépend de

l'orientation de la paroi externe, De même l'effet du vent à un impact sur les déperditions calorifiques et qui dépend de l'orientation de la paroi par rapport aux vents dominant.

6.5.3- - Evaluation de la performance thermique des trois séjours :

Les résultats retenus de l'investigation ont déterminé l'origine du transfert de chaleur vers l'intérieur de l'espace, la variation de la température intérieure a pour cause la variation de la puissance incidente de la radiation solaire sur la paroi verticale, la transmission par rayonnement direct à travers la fenêtre.

La comparaison des températures intérieures et extérieures démontre l'effet des paramètres intervenants, les limites de confort situent l'origine du problème et proposent des dispositions architecturales.⁶ Pour cela les températures mesurées des différentes orientations dans ce cas seront situées dans une zone de confort établie d'après la température neutre de Humphrey lors de l'analyse bioclimatique de la ville de Constantine. Cette zone est comprise entre la limite supérieure de 27.89 °C et la limite inférieure de 23.89°C pour la période estivale.⁷

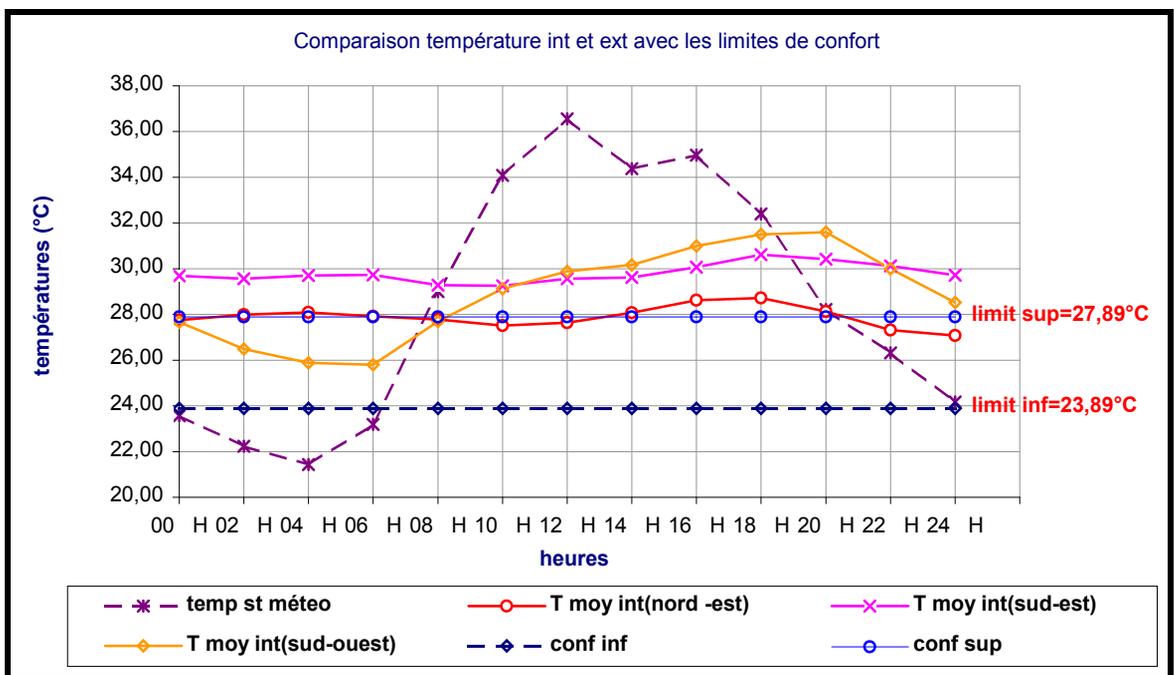


Figure 6-35 : Comparaison des températures Int. et Ext. avec les limites de confort.

De la comparaison de la température intérieure avec ses limites de confort pour la période d'été (figure 6-35) nous constatons que :

- Pour l'orientation (Nord-est) les températures intérieures du séjour restent inférieures à la température moyenne extérieure, la courbe de ses valeurs se situe dans la zone de confort. Elle reste supérieure à la limite supérieure de confort de 14h00 jusqu'à 20h00 avec un écart maximal de 0.83°C à 18h00 et un écart minimal de 0.18°C à 14h00. mais elle reste au dessus de la limite inférieure du confort. Où elle présente un écart maximal

⁶ - ABDU. S Investigation Sur L'intégration Climatique De L'habitat Traditionnel En Région Aride Et Semi-aride D'Algérie- cas de Constantine et Ouargla, thèse de doctorat d'état. Université de Constantine, 2003-2004.

page.157

⁷ - Idem. ABDU. Page 157

de 4.24°C à 20h00 et minimal de 3.19°C à 24h00. et par conséquent elle est très proche de la limite supérieure de confort, ce qui fait de cet espace un espace confortable surtout la matinée et qui est dû à l'absence des radiations intense dans cette orientation.

- Pour l'orientation (Sud-est) la température intérieure du séjour reste au-dessus des limites de confort durant les 24heures ce qui justifie la qualité de l'ambiance thermique du séjour S-E, avec un écart maximal de 2.73°C à 18h00 et un minimal de 1.36°C à 10h00, pour la limite supérieure de la zone de confort. Ces résultats montrent que l'espace est inconfortable pendant le jour.
- Pour l'orientation (Sud-ouest), la courbe de ses valeurs est en dehors de la limite supérieure de confort durant toute la journée de 08h00 à 24h00. elle présente avec la limite supérieure de confort un écart maximal de 3.61°C à 18h00 et minimal de 1.21°C à 10h00, ce qui justifie l'inconfort à l'intérieur de l'espace l'après midi par la chaleur transmise par la combinaison des hautes températures enregistrées à ce moment et l'incidence des rayons solaire sur la façade orientée vers l'Ouest. Entre 00h00 et 08h00 la température se situe dans la zone de confort avec un écart maximal de 3.78°C à 00h00 et minimal de 1.91 °C à 06h00.

Pour cela on peut dire que le séjour orienté Nord-est est le plus confortable durant la nuit et la matinée pendant cette période d'été. Et que l'orientation Sud-ouest reste la plus inconfortable et à éviter durant cette période.

Pour la période hivernale la zone de confort est comprise entre la limite supérieure de 22.04°C et la limite inférieure de 18.04°C.⁸

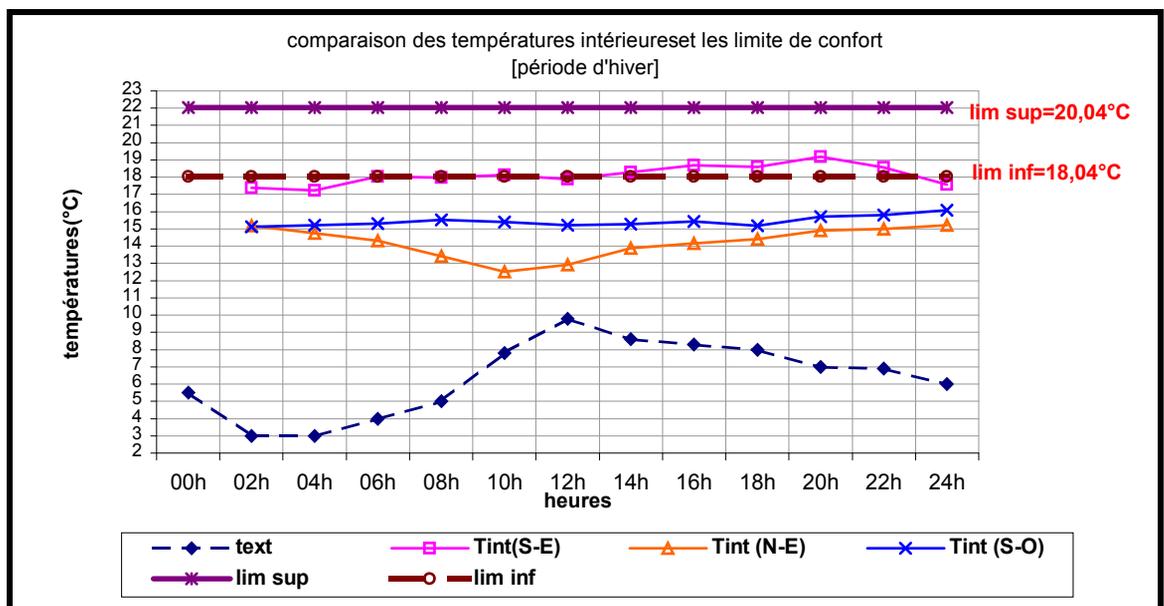


Figure 6-36 : Comparaison des températures intérieures des trois séjours et les limites sup. et inf. de confort. [Période d'hiver] Constantine 2004.

⁸ - Idem. ABDYOU. Page 157

La courbe de la température intérieure (figure 6-36) du séjour orienté Sud-est s'approche de la limite inférieure de confort. Elle reste au-dessous de cette limite de 23h00 jusqu'à 06h00, avec un écart maximum de 0.80°C à 4h00 et un minima de 0.06°C à 8h00. elle reste au-dessous de cette limite supérieure du confort toute la journée avec un écart minimal de 4.24 °C à 14h00 et un maximal de 5.16°C à 20h00. Ce qui explique l'utilisation du chauffage à ce moment.

Par contre l'orientation Sud-ouest reste très inférieur à la limite inférieure du confort. Elle présente avec la limite inférieure de confort un écart maximum de 2.91°C à 2h00 et un minimum de 1.98°C à 00h00. Et nous pouvant encore une fois déduire que l'espace est inconfortable malgré l'utilisation du chauffage.

Pour le séjour orienté Nord-est la courbe de sa température intérieure reste au-dessous de la limite de confort. Elle présente avec la limite supérieure de confort un écart maximum de 09.53°C à 10h00 et un minimum de 07.64°C à 18h00. elle reste inférieure à la limite inférieure du confort avec un écart maximal de 03.14°C et minimal de 02.84°C. Et nous pouvant encore une fois conclure que l'espace est inconfortable. Ceci malgré l'usage du chauffage d'appoint

Pour cela le séjour Sud-est reste le plus confortable par rapport aux deux séjours orientés Nord-est et Sud-ouest durant la période hivernale.

6-6- Conclusion :

De cette investigation, il ressort que l'impacte de l'orientation est perceptible dans la création du confort intérieur, et suivant le degré d'exposition de la façade au rayonnement solaire direct qui influe directement sur l'élévation de la température intérieure.

La température intérieure d'après les résultats de l'investigation reste gouvernée par la puissance de la radiation solaire tombant sur la paroi verticale et la température extérieure. Ce qui influe sur l'ambiance intérieure de chaque séjour en été, tout cela dépend étroitement de l'effet de l'orientation et qui rejoint les conclusions de (B.GIVONI, 1978 – J.L IZARD, 1993 - G.S YAKUBU & S.SHARPLES, 1992). Les résultats ont révélé que la radiation solaire directe a participé dans la performance des séjours analysés, le fait est dû à l'inefficacité des protections utilisées.

Cependant en hiver la température de l'air intérieure dépend surtout de l'effet de refroidissement et de déperdition due à l'exposition au vent dominant.

Pour cela les résultats de l'investigation démontrent que l'orientation Sud-est reste plus confortable durant les deux périodes hivernale et estivale par rapport aux deux autres orientations. Par contre l'orientation sud-ouest est à éviter durant les deux périodes (hivernale et estivale) par ce qu'elle génère d'importantes surchauffes en été par la quantité des radiations solaires directe transmise à travers l'ouverture et la paroi, et en hiver par l'effet du vent canaliser par la voie orienter (nord-ouest- sud-est) malgré l'utilisation du chauffage.

Le microclimat environnant marque aussi une certaine importance dans l'augmentation des températures à l'intérieure du site et qui participe à l'augmentation des températures de surfaces extérieures des façades. Car les espacements entre les bâtiments et l'augmentation des espaces nus (route et parking) favorisent la réflexion des rayons solaires vers le bâtiment et augmente les températures externes.

Afin de déterminer l'orientation la plus favorable on a procédé à une simulation à l'aide d'un programme informatique (TRNSYS version 14.1). Dans le but d'évaluer la performance thermique des logements étudiés, ainsi que la possibilité de l'amélioration de leur performance thermique suivant les différents angles d'orientation.

SIMULATION

7.1- Introduction:

Pour l'architecte, la simulation doit permettre de valider rapidement des options fondamentales (implantations, structure, ouvertures..) D'explorer et de commencer à optimiser certains choix pour un meilleur confort.¹

L'analyse thermique par simulation se fait dans une perspective d'intégration des paramètres physique et climatique au processus de conception des bâtiments, elle permet aussi l'évaluation et le contrôle thermique des projets.

L'évaluation par simulation est plus flexible dans la mesure ou elle permet d'évaluer les performances thermiques d'une construction tout en agissant à volonté sur les éléments de la construction.

Pour évaluer notre bâtiment, on a utilisé le logiciel TRNSYS² qui permet de tester selon le mode conventionnel le comportement thermique global du bâti et de son environnement. Ceci afin de valider les résultats des mesures du terrain et de tester des variantes pour chercher l'orientation optimale.

7.1.1- Description du logiciel :

Le TRNSYS (ATRANSIENT SIMULATION PROGRAM), développé par le laboratoire de « solar energy » de l'université de WISCONSIN .Ce logiciel est un outil de simulation en régime dynamique, il est structuré de manière modulaire, ce qui assure au programme une grande flexibilité et facilité par l'insertion des sous-programmes. Il est développé en fortran.

Ce logiciel informatique, se caractérise par ses fonctions qui peuvent se regrouper en trois domaines :

- Les entrées : concernant toutes les informations à introduire et à stocker dans des bibliothèques que le concepteur peut les utiliser. Ces entrées concernent(l'environnement physique « climat, site », le bâtiment « l'enveloppe », les apports internes « occupants.. »,Les équipements « ventilation, chauffage, climatisation.. »)
- Le traitement des données : se fait en fonction du bâtiment.
- Les sorties : sont les ensembles des résultats qui peuvent être fournis par le logiciel à l'issue d'une exécution.

Ce logiciel multi zones permet de valider plusieurs options architecturales.

Les types (model utiliser) les plus utilisés pour la simulation dans le bâtiment sont :

- Type9 : Lecture de données.
- Type54 : Générateur des données météo.
- Type33 : Diagramme psychométrique.
- Type16 : Processeur d'enseillement.
- Type56 : Bâtiment multi zone.
- Type25 : Impression des données.
- Type65 : Affichage des résultats.

¹ - CHATELET.A – FERNANDEZ.P- LAVIGNE.P- Architecture Climatique -une contribution au développement durable. EDISUD1998. Page.133.

² TRNSYS : transient simulation program (solar energy laboratory) Université de Wisconsin –Madison version 14.1 late 1993.

Les phénomènes que le model de simulation thermique doit prendre en compte :

- Le transfert de chaleur par conduction à travers l'enveloppe et les effets de stockages calorifiques dans la masse de bâtiment.
- Les gains dus aux occupants, aux appareils, à la lumière électrique.
- L'ombrage des parois opaques et transparentes.
- Les effets des radiations solaires de courte longueur d'onde et les radiations reçues par les surfaces exposées et internes.
- Les radiations de longueur d'ondes échangées entre les surfaces externes, la voûte céleste et l'environnement.
- Les effets de l'humidité.

7.1.2- Déroulement de la simulation :

A partir des données architecturales et des propriétés thermo physiques du matériau, une analyse du comportement thermique de l'habitat est effectuée à l'aide du logiciel « TRNSYS »

Le déroulement de la simulation a pris comme cheminement :

1. Première étape : concerne l'introduction des données climatique de la région (Constantine 36° 17'); les valeurs horaires des températures et humidités relatives, et les valeurs de l'intensité des radiations, le flux directe et diffus(voir annexe2)
2. Deuxième étape concerne la description détaillée du bâtiment et les scénarios de la pratique de l'espace.

Selon l'objectif de la recherche par la simulation, on s'est limité à l'évaluation de la température intérieure de la zone d'étude, les températures surfacique intérieure et extérieure du mur extérieur et les quantités de radiations solaires absorbées par le mur extérieur.

Cependant dans le but de chercher l'orientation optimale, une évaluation des différentes orientations a été faite en pivotant l'axe de l'orientation de la face externe suivant un angle de 15° à partir du Nord (voir figure 7-1)

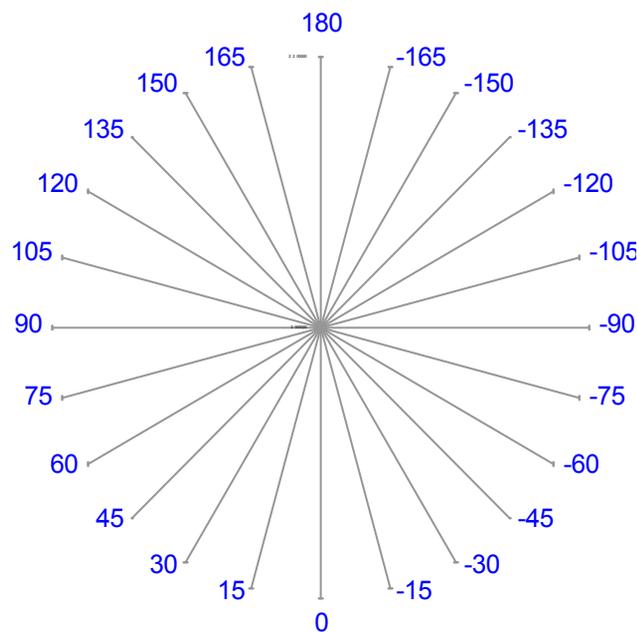


Figure 7-1: Azimut des différentes orientations simulées.

Les résultats du traitement sont rassemblés dans un fichier contenant pour chaque orientation, l'évolution heure par heure du facteur pour la durée de simulation qui a pris deux périodes distincts (une période hivernale et une période estivale)

Nous déterminons les valeurs de l'attribue « azimut » qui caractérise le modèle du bâtiment multi zone (type 56) de TRNSYS.

Ses valeurs horaires sont lues dans TRNSYS par un model « data reader » (type 9) standard, puis connecte aux inputs du type 56 assignés à chaque valeur d'azimut.

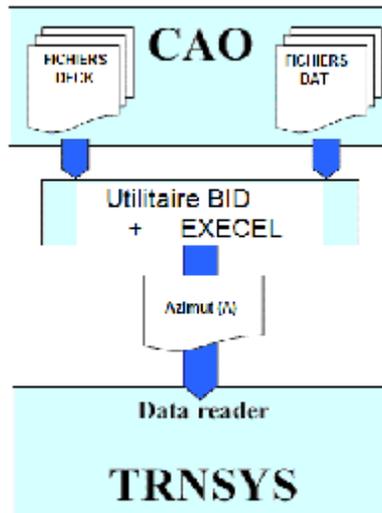


Figure 7-2: Schéma de déroulement de la simulation.

7.2- Comparaison entre températures mesurées et calculées par TRNSYS :

7.2.1- période d'été :

7.2.1.1- Séjour orienté Sud-est (A= -30°)

Les résultats révèlent en générale une correspondance entre les courbes des températures horaire mesurées et celles simulé.

Sur la base de la courbe (figure 7-3) des températures intérieures obtenues par simulation, nous montre une élévation de la performance thermique en fonction des heures de la journée par rapport au cas mesuré. le graphe nous a permis de constaté les faits suivants :

- l'allure de la courbe des températures intérieures calculées suit celle de l'extérieur, mais la température nocturne est supérieure à celle de l'extérieur, cette différence est égale à 6.5°C.
- Parallèlement à cela, il a été relevé pour les deux courbes (température intérieure calculée et température extérieure) que la température intérieure la plus élevé est enregistrée à 15h00 de 29.93°C, alors que la température extérieure atteint 38°C à 14h00, soit un décalage de 1 heure de temps.
- Les écarts de températures intérieures obtenus par calcul sont moins élevé que celles obtenus par les mesures, pendant la nuit. Mais les deux courbes s'atténuent progressivement et les températures finissent par s'égaliser. Ce phénomène peut être justifié par l'intervention de l'utilisateur par le maintien de l'espace fermé durant cet intervalle de temps pour la raison qu'il n'est pas utilisé.

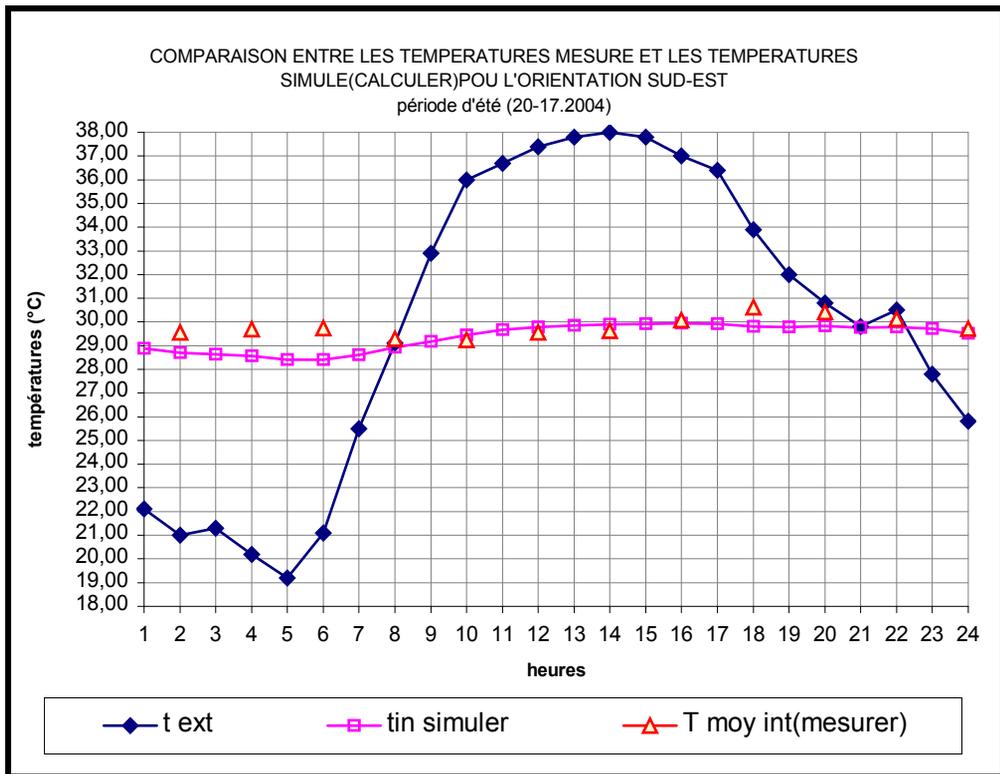


Figure 7- 3 : Comparaison des températures intérieures mesurée et simulée pour l'orientation Sud-est [période d'été] journée du 20-07-2004.

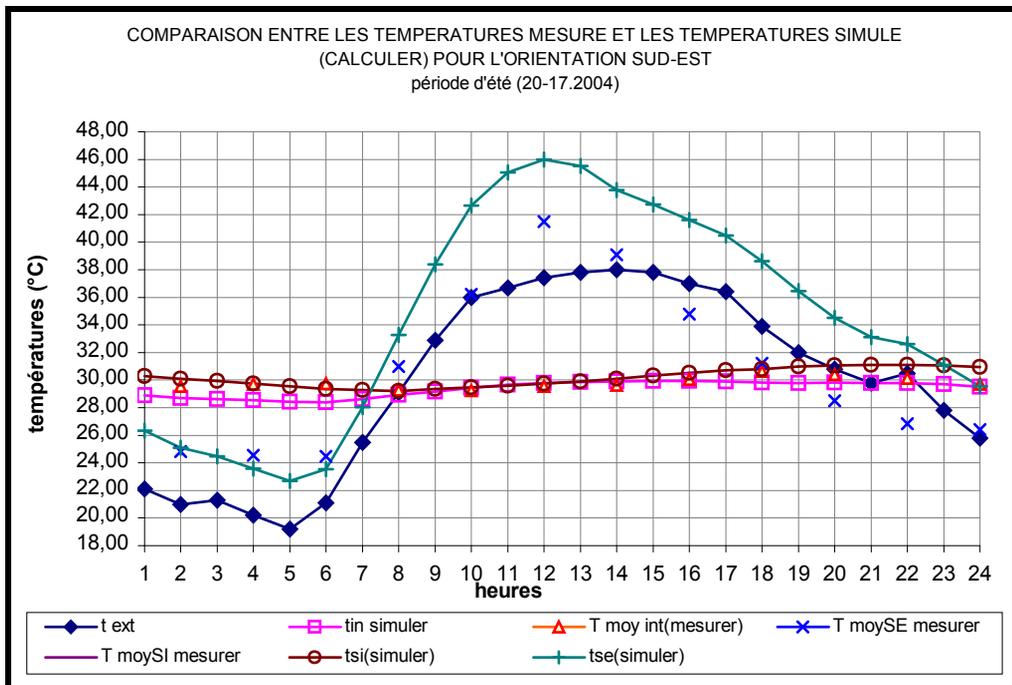


Figure 7-4 : Comparaison des températures surfaciques mesurée et simulée pour sud-est. [Période d'été] journée du 20-07-2004.

6.6.2.1.2- Séjour orienté Nord-est (A= -120°)

La comparaison des courbes de températures simulées et mesurées n'indique pas une grande différence entre les valeurs, comme indique la (figure 7-5) l'écart est inférieur à 2°C, ce qui permet de valider l'interprétation des mesures sur site.

Sur la base de la courbe (figure 7-5) des températures intérieures obtenues par simulation, il a été procédé une élévation de la performance thermique en fonction des heures de la journée du cas mesuré le graphe nous a permis de constater: Les écarts de températures intérieures obtenus par le calcul moins élevé que celles obtenus par les mesures, pendant la nuit de 0.35°C. Ce phénomène peut être justifié par l'intervention de l'utilisateur par le biais de la ventilation et le refroidissement de l'espace. Cet écart sera maximal à 22h00 de 1.15°C et à 10h00 de 1.65 °C .

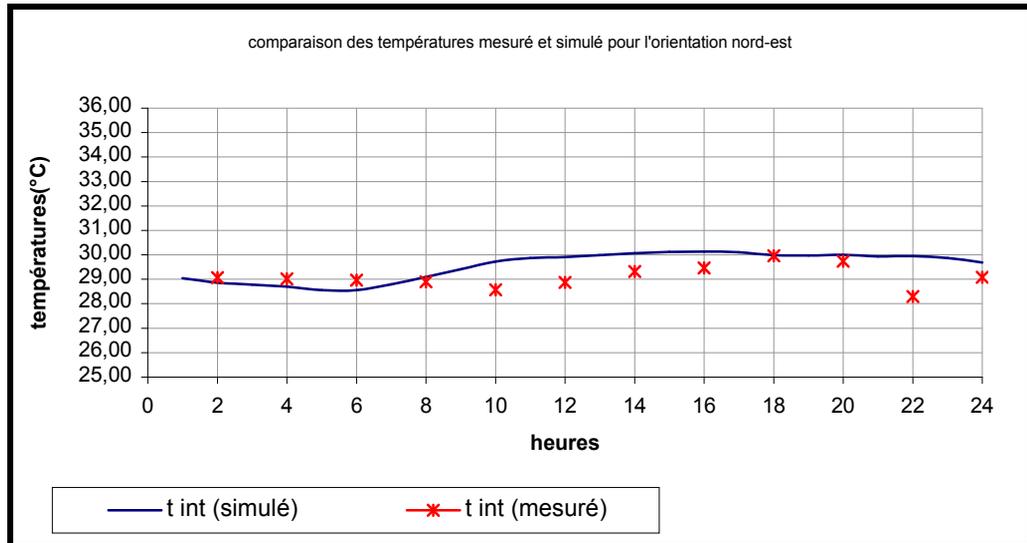


Figure 7-5 : Comparaison des températures intérieures mesurée et simulée pour l'orientation Nord-est. [période d'été] journée du 20-07-2004

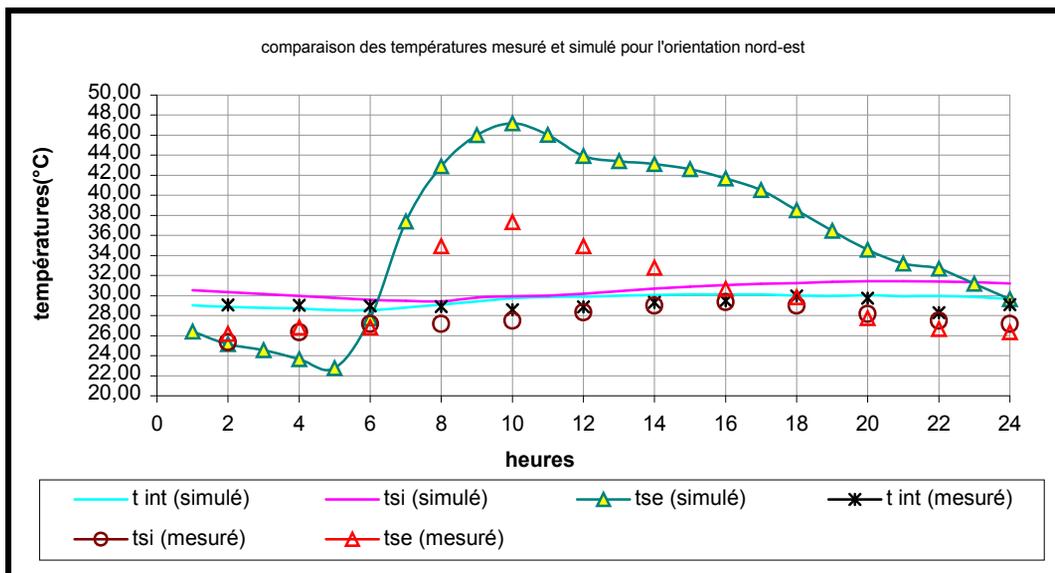


Figure 7-6 : Comparaison des températures surfaciques mesurée et simulée pour l'orientation Nord-est. [Période d'été] journée du 20-07-2004.

6.6.2.1.3- Séjour orienté Sud-ouest (A= 60°) :

Pour le séjour sud-ouest suivant la figure (7-7) il a été constaté une élévation dans les températures intérieure simulées par rapport à celle mesuré de 00h00 jusqu'à 9h00. ce phénomène peut être expliquer par l'intervention de l'usager par le biais de la ventilation et le refroidissement et la création de la ventilation transversale par l'ouverture des portes et fenêtres des deux coté de façades, aussi par les différents scénarios par rapport aux autres orientations (surtout que le scénario pris en considération lors de la simulation correspond au séjour orienté Sud-est azimuth égale à -30°)

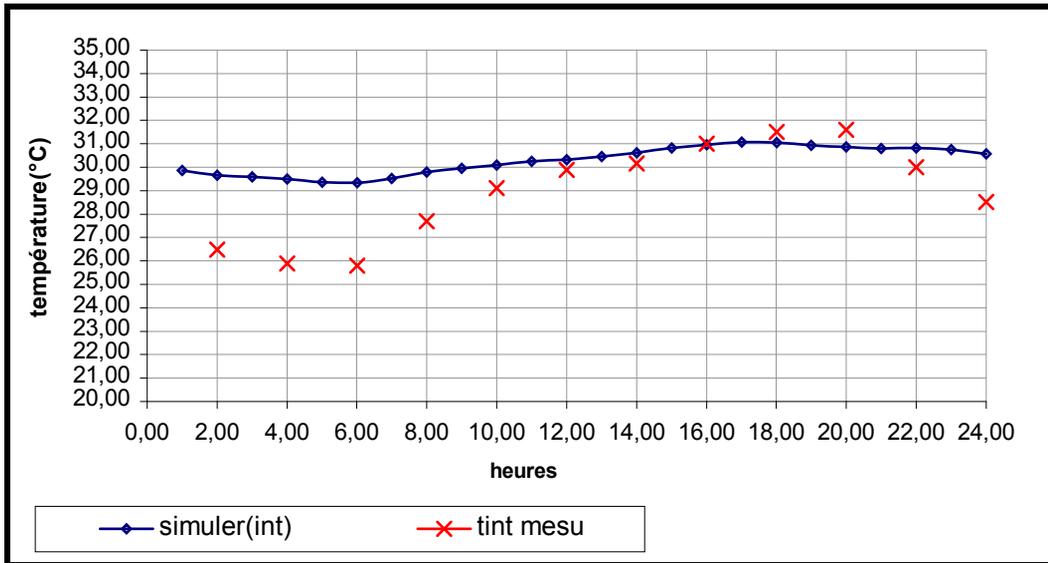


Figure 7-7: Comparaison des températures intérieures mesurée et simulée pour l'orientation Sud-ouest. [Période d'été] journée du 20-07-2004.

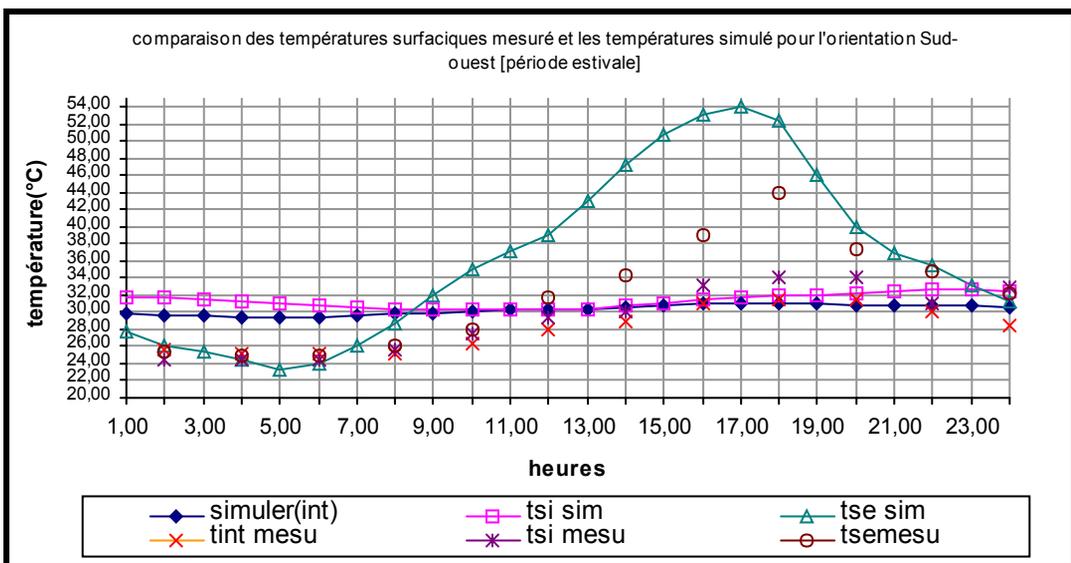


Figure 7-8 : Comparaison des températures surfaciques mesurée et simulée pour l'orientation Sud-ouest. [Période d'été] journée du 20-07-2004.

7.2.2- Période hivernale :

La comparaison des courbes de température simulée et mesurée n'indique pas une grande différence entre les valeurs, comme c'est indiqué dans les figures (7-8), (7-9), (7-10), (7-11), (7-12) et (7-13) l'écart est inférieur à 2°C pour toutes les orientations sauf pour l'orientation Nord-est qui présente un écart de 2.33°C à 10h00 qui peut être expliqué par l'intervention de l'utilisateur dans l'ouverture de la fenêtre pour la ventilation matinale qui a subi des déperditions plus importantes. Ce qui permet de valider l'interprétation des mesures sur site.

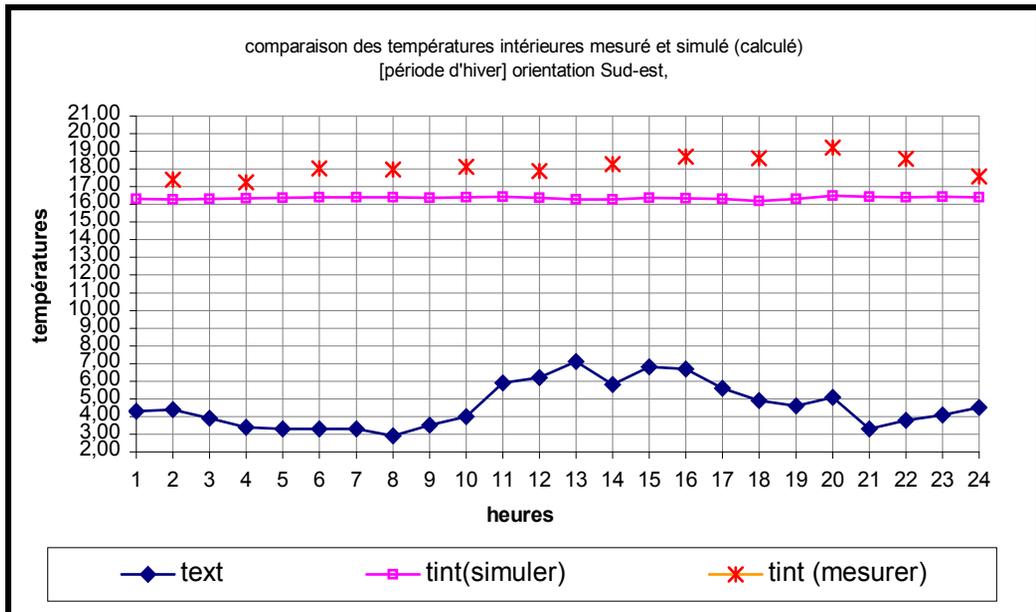


Figure 7-9 : Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-est. [Période d'hiver] journée du 07-01-2005.

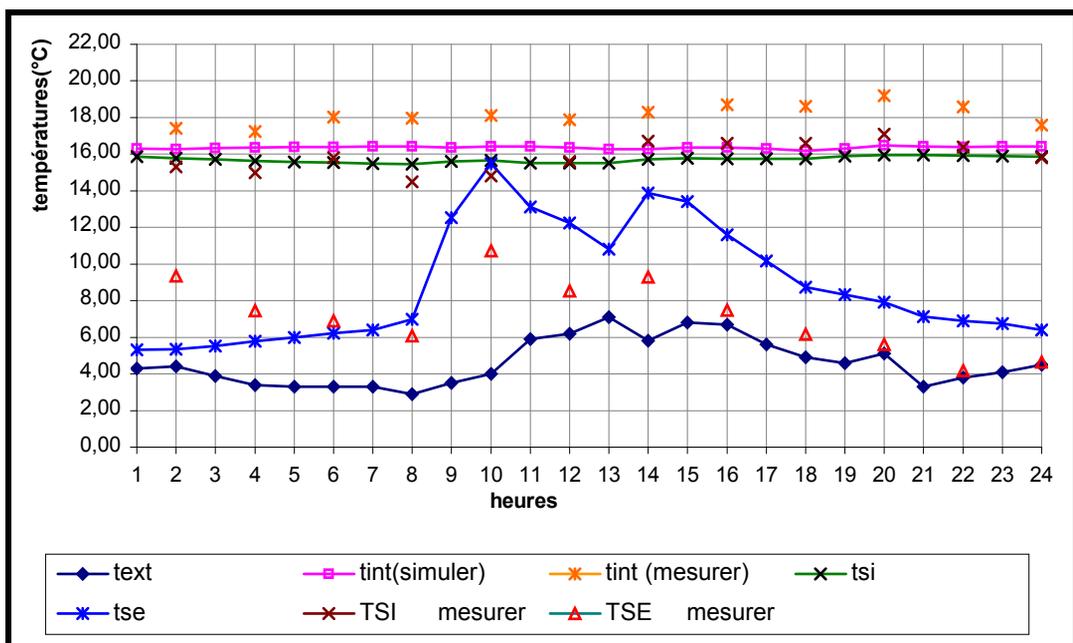


Figure 7-10 : Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-est. [Période d'hiver] journée du 07-01-2005.

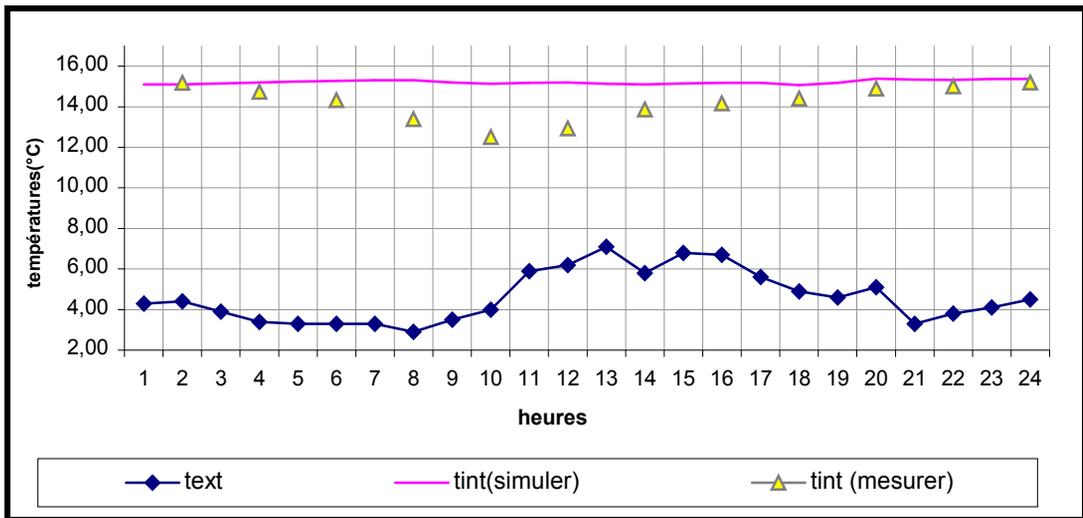


Figure 7-11 : Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Nord-est. [Période d'hiver] journée du 07-01-2005.

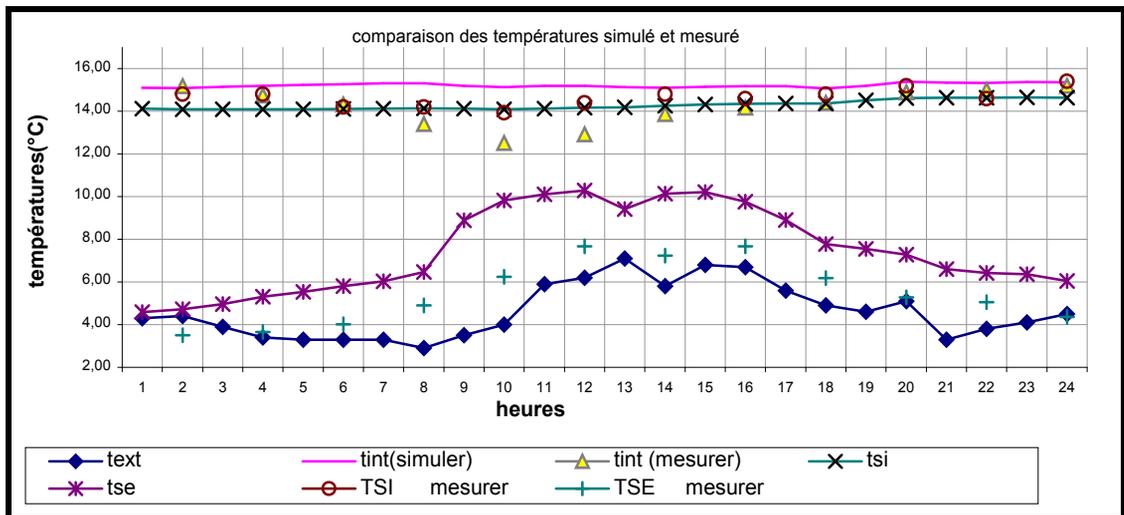


Figure 7-12 : Comparaison des températures surfaciques mesurées et simulées pour l'orientation Nord-est. [Période d'hiver] journée du 07-01-2005.

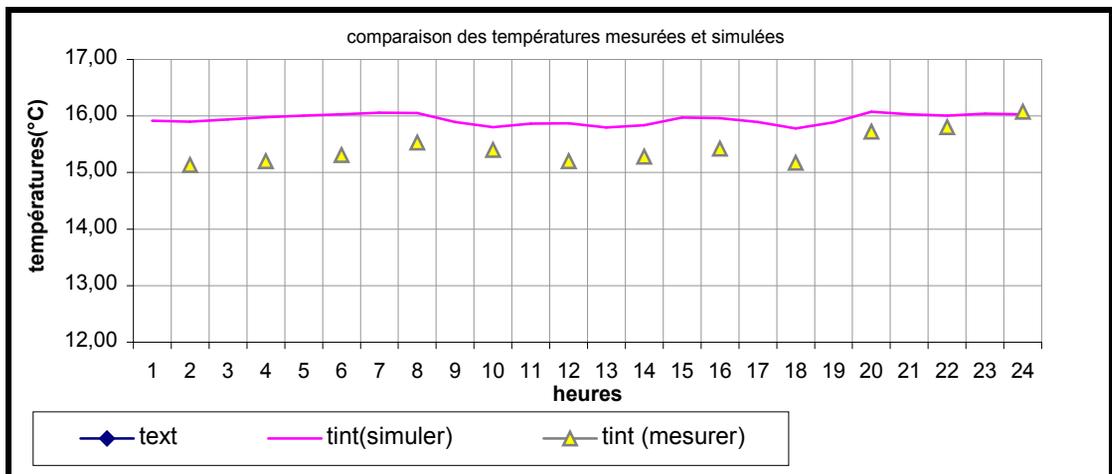


Figure 7-13 : Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-ouest. [Période d'hiver] journée du 07-01-2005.

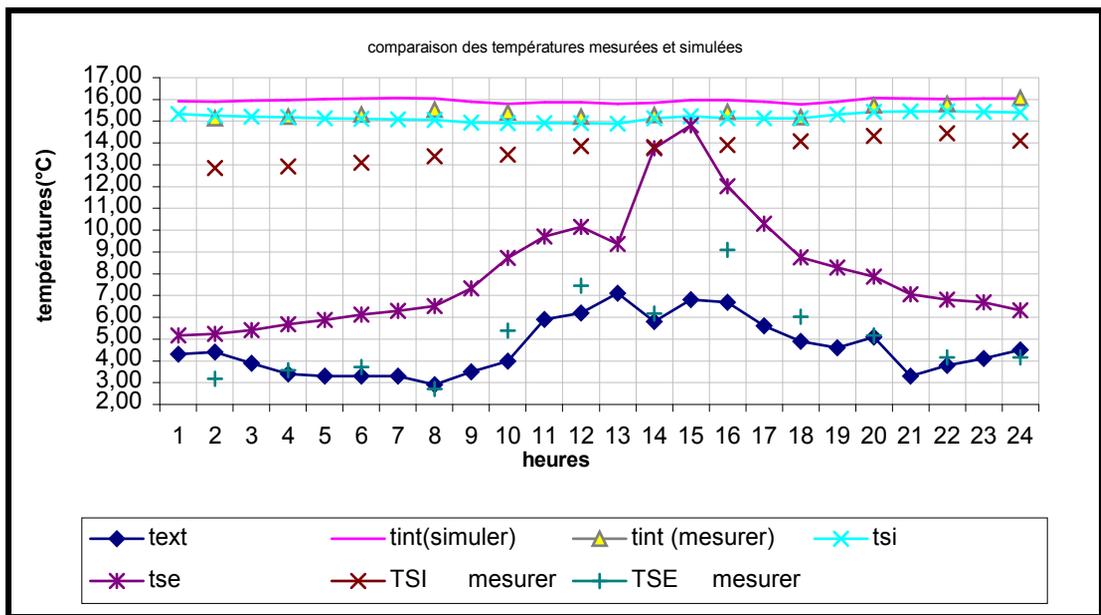


Figure 7-14 : Comparaison des températures surfaciques mesurées et simulées pour l'orientation Sud-ouest. [Période d'hiver] journée du 07-01-2005.

Vu les rapprochements des courbes des températures simulées et mesurées, on pourra conclure que les résultats des prédictions du programme de calculs par TRNSYS sont fiables et validés par les mesures.

Plusieurs tentatives de variation de la paroi extérieure concernant l'orientation (angle d'azimut), ont été effectuées. Ainsi que le besoin en chauffage et climatisation suivant les angles d'orientations, dans le but de chercher et d'améliorer le confort thermique du séjour suivant l'orientation.

Par conséquent le dispositif expérimental subit une série de variations telles que l'orientation, la dimension de l'ouverture, la couleur extérieure (coefficient d'absorption), système de protection.. etc.

En utilisant cette méthode on peut assez facilement définir quelles sont les interventions qui s'avèrent les plus performantes et plus intéressantes pour améliorer les conditions de confort thermique, aussi que celle qu'il faut éviter.

7.2.3- Comparaison Des Trois Orientations :

La densité du flux du rayonnement solaire direct au niveau d'une enveloppe est fonction de l'orientation des différentes surfaces de l'enveloppe. (Alain Liébard et Andre De Herde, 2003) les résultats de la simulation (figure 7-14)et (figure 7-15) montrent la relation qui relie la quantité d'énergie absorbée ou reçue par la paroi et l'augmentation où la diminution de la température intérieure suivant l'orientation.

Dont on remarque que les plus grandes températures enregistrées en été surtout pour l'orientation Sud-ouest et qui absorbe des quantités de chaleur l'après midi et qui participe à cette augmentation après restitution vers l'intérieure. Par contre la paroi Sud-est absorbe une quantité de chaleur moins importante qui s'explique par le fait que le soleil a ce moment est haut dans le ciel de 35° à 76°.

En hiver, la paroi Sud-est qui reçoit les quantités d'énergie les plus importantes que les deux autres orientations.

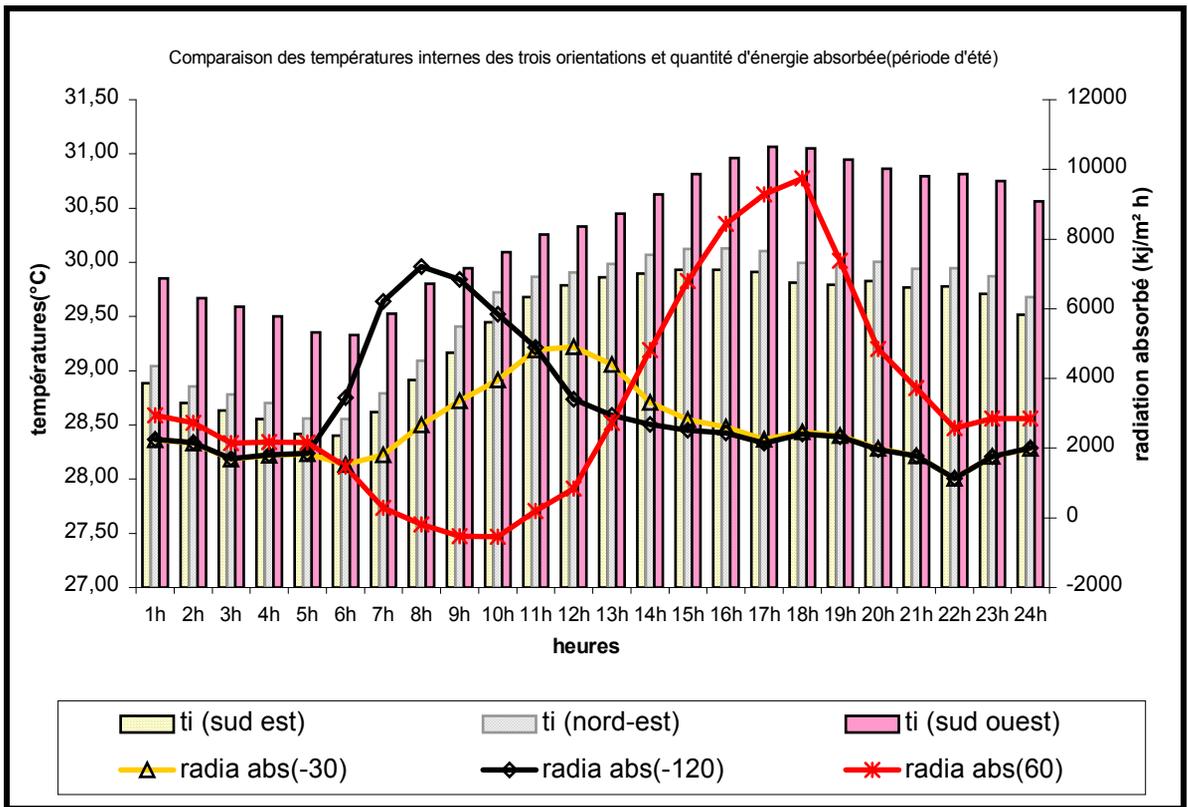


Figure 7-15 : Comparaisons des températures intérieures des trois orientations et quantité d'énergie absorbée par la paroi externe [période d'été].

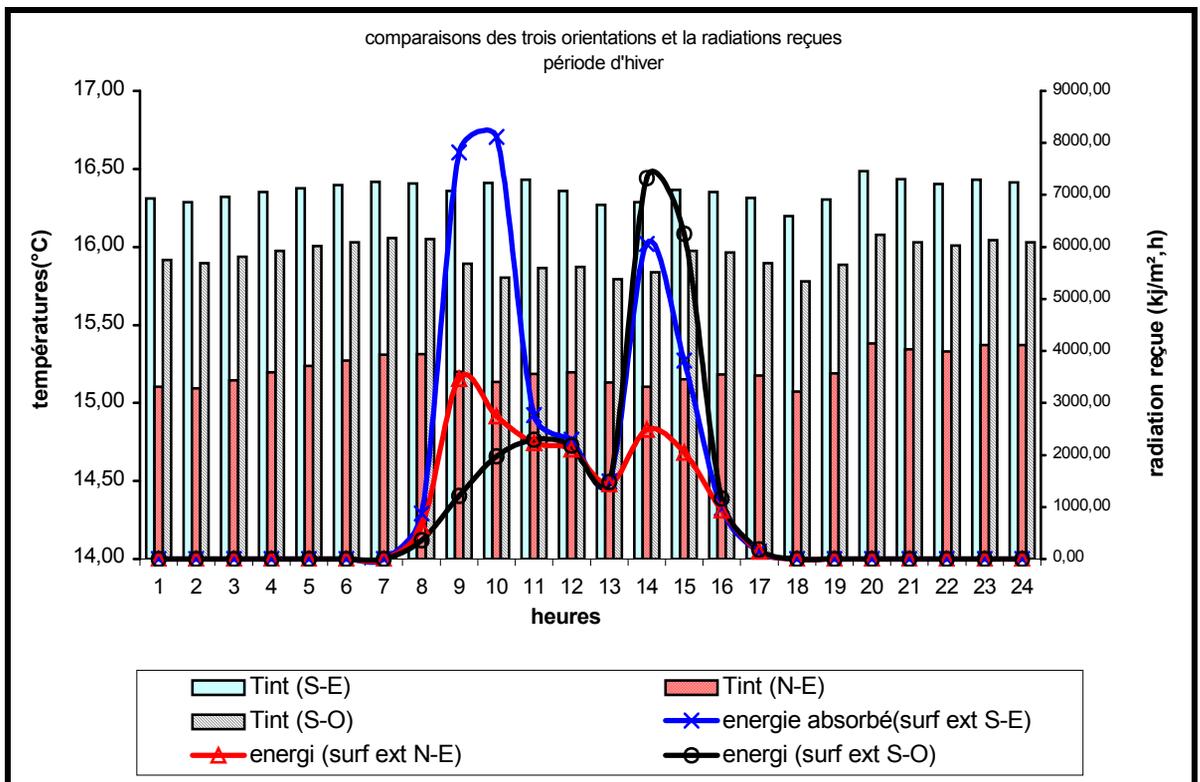


Figure 7-16 : Comparaisons des températures intérieures des trois orientations et la radiation reçue par la face externe ce la paroi (période d'hiver)

7.2.4- Effet de l'orientation :

Le but de cette série de calcul, est d'évaluer l'impact de l'orientation sur la performance thermique de l'habitat contemporain, Et d'optimiser la performance thermique.

Les résultats de la simulation présentés dans la figure (7-17) montrent l'effet de l'orientation de la paroi extérieure sur les ambiances intérieures durant la période estivale. Plusieurs possibilités ont été testées. Les résultats obtenus à cet égard montrent l'impact du changement d'orientation qui est surtout perceptible dans le cas des orientations semi-cardinal Sud-est Nord-est et Sud-ouest.

D'autre part, les orientations Nord et Sud pour la période d'été sont considérées a priori les plus favorables, mais n'a pas les mêmes effets, or l'orientation Nord a permis un abaissement de la température de 0.5°C par rapport a l'orientation Sud. Et l'écart entre la mauvaise orientation et la meilleure est de 2.20°C ce qui rejoint les conclusion d'OLGYAY, 1967, de GIVONI,1978 et de MARTIN EVANS ,1980.

Cependant l'orientation Ouest et Est sont à éviter vue les hausses des températures enregistrées durant 24 heures.

Pour la période d'hiver, l'impacte de l'orientation reste perceptible surtout pour les orientations semi-cardinales.

D'après la figure (7-18), l'orientation sud est considérée à priori la plus favorable, et qui enregistre les températures les plus élevées. Tout cela est dû aux fortes quantités d'énergie les plus importantes qui sont absorbées par la paroi et la fenêtre(figure 7-19).

Les orientations sud-est et sud-ouest sont moins que l'orientation sud

Cependant les orientations Nord, Nord-est et Nord-ouest sont à éviter durant cette période vue les basses températures et qui influe sur le degré de confort intérieur.

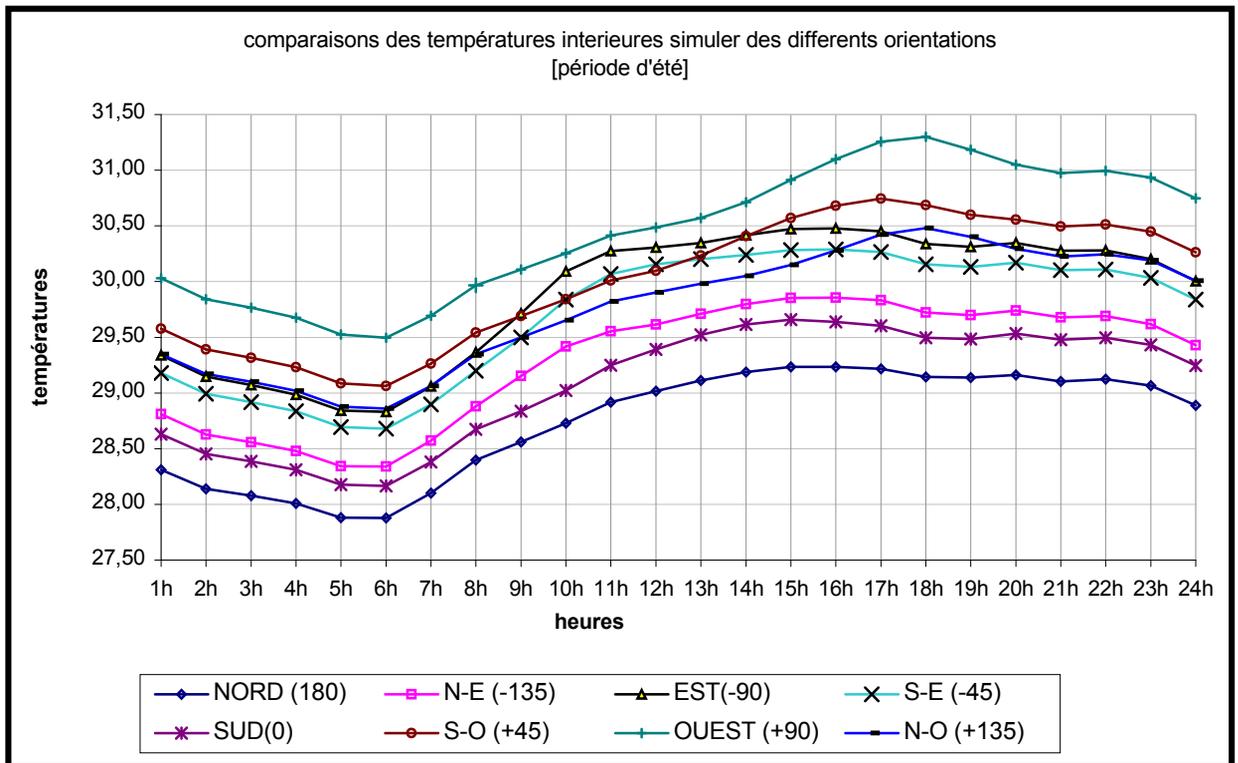


Figure 7-17 : Effet de l'orientation sur la température intérieure [période d'été]

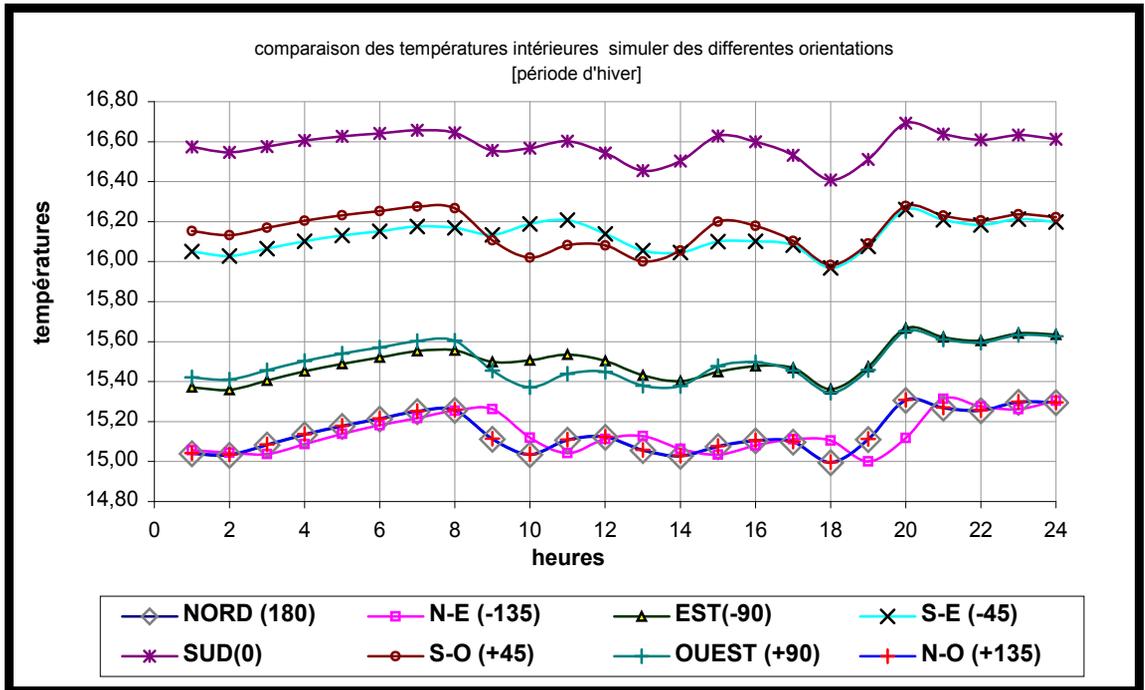


Figure 7-18 : Effet de l'orientation sur la température intérieure [période d'hiver]

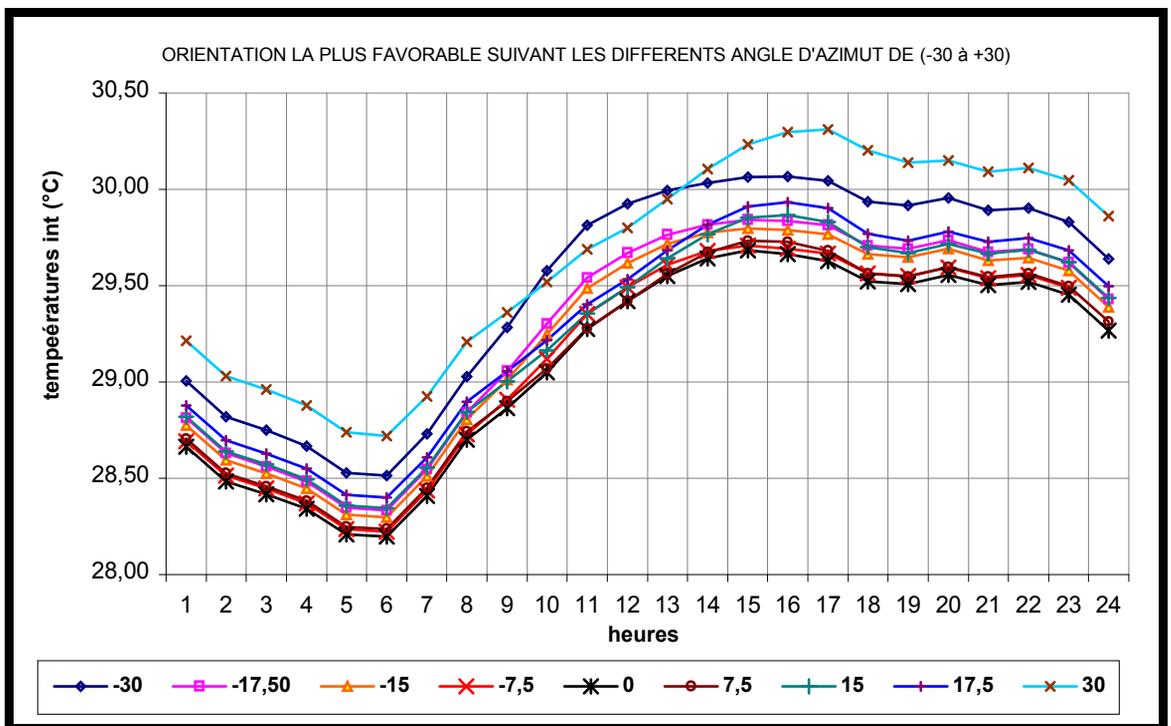


Figure 7-19 : Effet du changement de l'angle d'azimut (pour les orientations proche au Sud) sur la température intérieure

Les résultats de la simulation, représentés graphiquement, traduisent l'amélioration sensible des conditions de confort obtenu. L'effet recherché à travers les modifications, à savoir la diminution de la température aux heures chaudes apparaît nettement sur les courbes du graphe(7-19) où sont représentées les valeurs des températures intérieures.

La figure (7-20) montre l'effet de l'orientation sur les températures surfaciques extérieures, on constate un rapprochement des courbes durant la période 00h00 jusqu'à 6h00 (du matin) dont l'écart entre la mauvaise et la meilleure orientation n'excède pas 0.5°C, alors qu'à partir de 6h00 on constate une différence suivant le degré d'azimut de la façade.

Les façades Est, Sud-est et Nord-est auront une augmentation de la température surfacique rapide durant la matinée (de 6h00 à 10h00) avec des degrés différents qui dépendent de la durée d'ensoleillement et de la quantité d'énergie reçue (voir figure 6-57 ; Mais la façade Est aura la température la plus élevée durant cette période.

les façades Sud-ouest, Ouest et Nord-ouest auront une température surfacique plus élevée l'après midi de (12h00 à 18h00), reste la façade Ouest qui aura une température la plus élevée (de 57°C) D'après [GIVONI,1976- YAKUBU.G.S et SHARPLES.S, 1992] la température de la surface externe est en relation directe avec les radiations reçus par la surface, et qui dépend de l'orientation et la direction des vents sur la surface ce qui confirme les résultats obtenus.

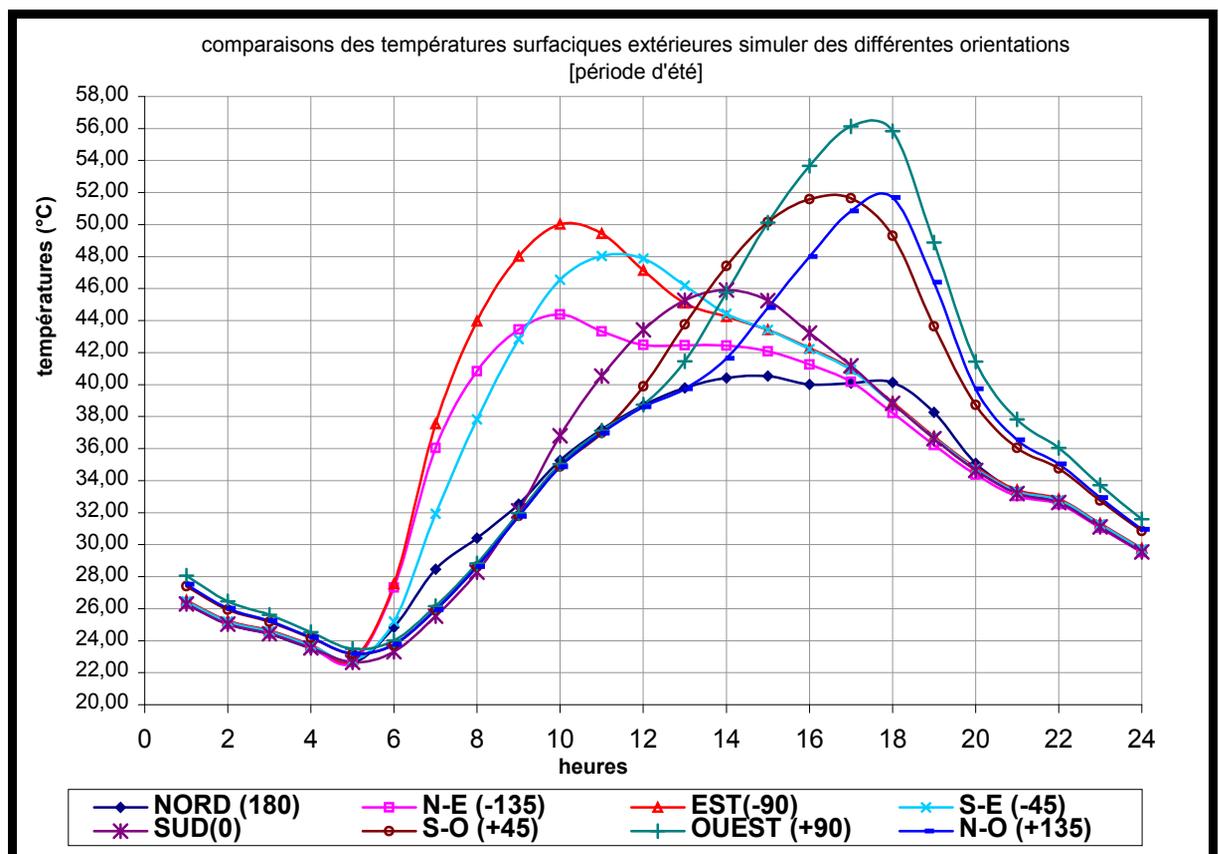


Figure 7-20 : Comparaison des températures surfaciques extérieures simulées pour les différentes orientations (Période d'été).

7.2.5- L'orientation optimale :

D'après l'étude théorique de l'analyse climatique et thermique, l'orientation la plus favorable pour la ville de Constantine est celle où les bâtiments seraient exposés suivant l'axe Nord- Sud (recommandation architecturales, 1986). Cependant à l'aide du logiciel on a pu faire pivoter le cas d'étude sur un angle de 15° (voir figure 7-1) à partir du nord pour arriver enfin à chercher l'orientation optimale, tout en tenant compte : Apport solaire important pour l'hiver, minimiser les gains énergétiques en été.

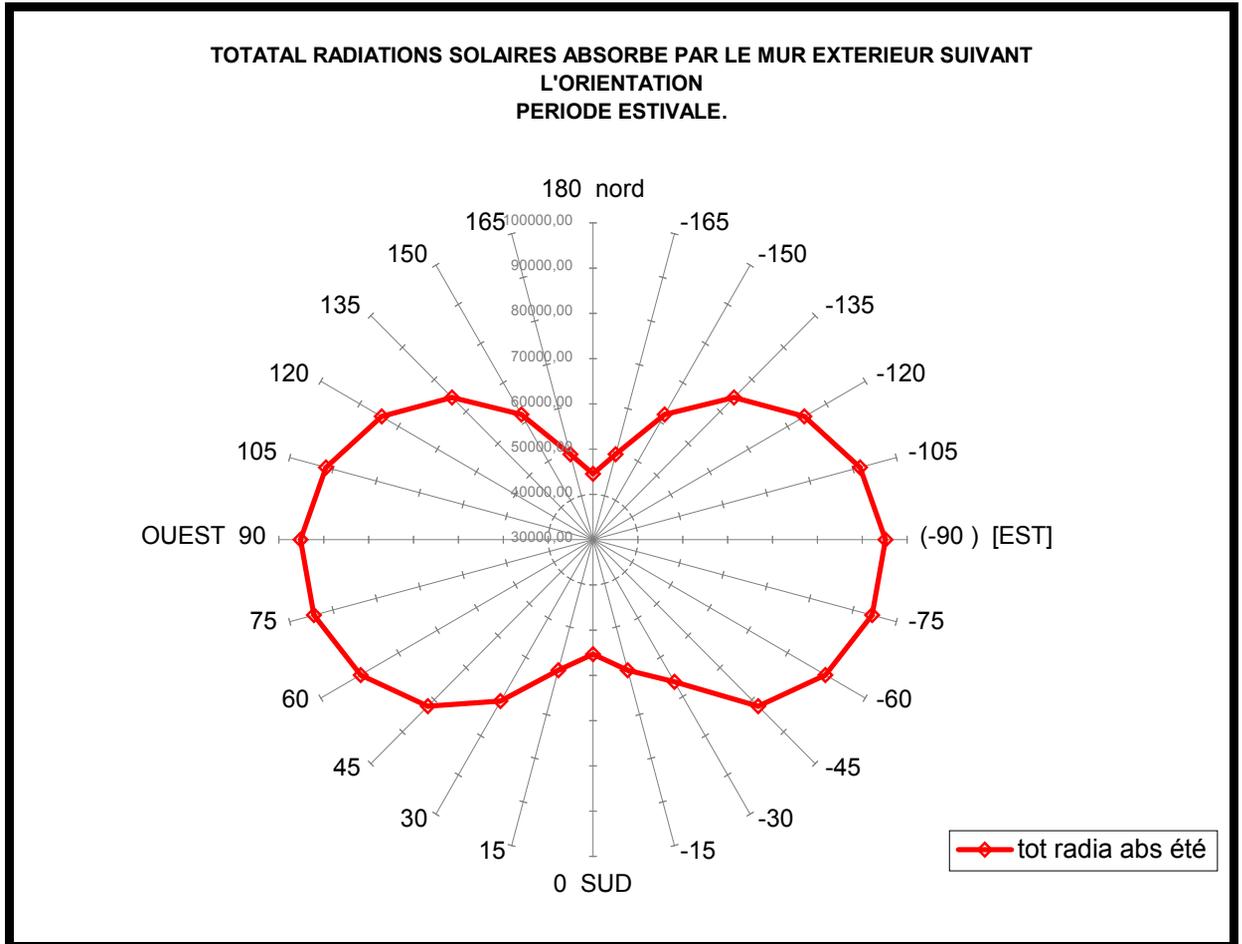


Figure 7-21 : Totale de radiation solaire absorbée par la paroi extérieure en (kJ/m². h) suivant l'orientation. Période estivale.

La figure (7-21) montre les radiations solaires absorbées par la paroi pour différentes orientations, où l'orientation Sud, l'orientation à 15° d'azimut Ouest et l'orientation à 15° d'azimut Est bénéficient des apports énergétiques les moins importantes.

Nous rejoignons l'avis de IZARD. J.L, 2003 ; Qui dit que l'orientation Sud offre les apports solaires les plus faibles en été, après le plein Nord.

Les orientations Est et Ouest présente les apports solaires les plus importants, qu'il faut éviter.

La figure (7-22) montre les radiations solaires pour des journées moyennement éclairées (ciel à dégagement moyen) absorbé par la paroi pour différentes orientations, l'orientation Sud,

l'orientation à 15° d'azimut Ouest et l'orientation à 30° d'azimut Est bénéficient des apports énergétiques les plus importants.

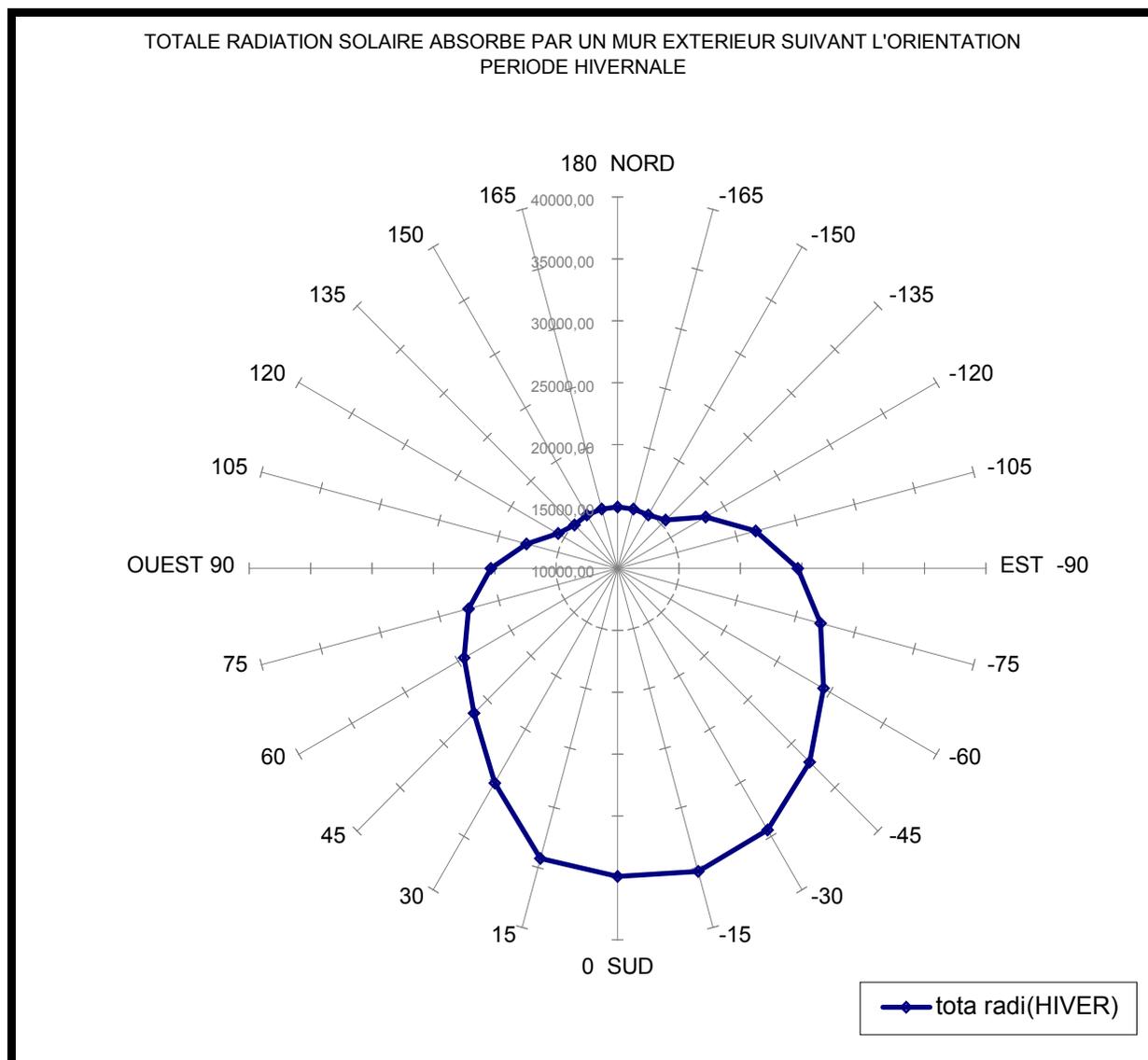


Figure 7-22 : Totale de radiation solaires absorbé par la paroi extérieure en (kJ/m².h) suivant l'orientation. Période hivernale.

Un habitat adapté au climat local permet de profiter des apports solaires au mieux, de réduire les besoins en chauffage et climatisation. (Oliver Sidler, 2000)³ C'est faire le compromis entre les deux situations.

Pour cela, on a essayé de démarrer notre simulation sur une période d'hiver tout en tenant compte des apports du chauffage c'est-à-dire estimer le besoin sensible de l'énergie demandé pour la zone d'étude. Et une période d'été tout en tenant compte des apports de la climatisation, c'est-à-dire les besoins sensibles de la demande de l'énergie suivant l'orientation.

³ - OLIVER SIDLER – Logement A Faible Besoin En Energie- guide de recommandations et d'aide à la conception. Mars, 2000 Internet [En Ligne]Sidler@club-internet.fr. PDF (page consulter le 15 avril 2005.)

7.3- Besoins en énergie pour le chauffage suivant l'orientation:

Les simulations sont effectuées avec chauffage afin de tester le besoin du séjour en énergie.

D'après le graphe (7-23) on constate que la consommation énergétique est fonction de l'orientation et que durant la période hivernale la consommation du gaz (demande en énergie sensible) est plus élevée surtout pour les orientations Nord qui sont à éviter. Reste l'orientation sud et l'orientation à 30° d'azimut est et à 15° d'azimut Ouest qui présentent une consommation très réduite par rapport à d'autres orientations. Pour cela on peut déduire que durant la période hivernale la meilleure orientation est celle qui ne consomme pas assez d'énergie et se concrétise par l'orientation Sud.

Cette orientation (Sud) présente le 1/10 de la consommation par rapport à l'orientation nord et 1/8 de la consommation par rapport à l'orientation Est et Ouest.

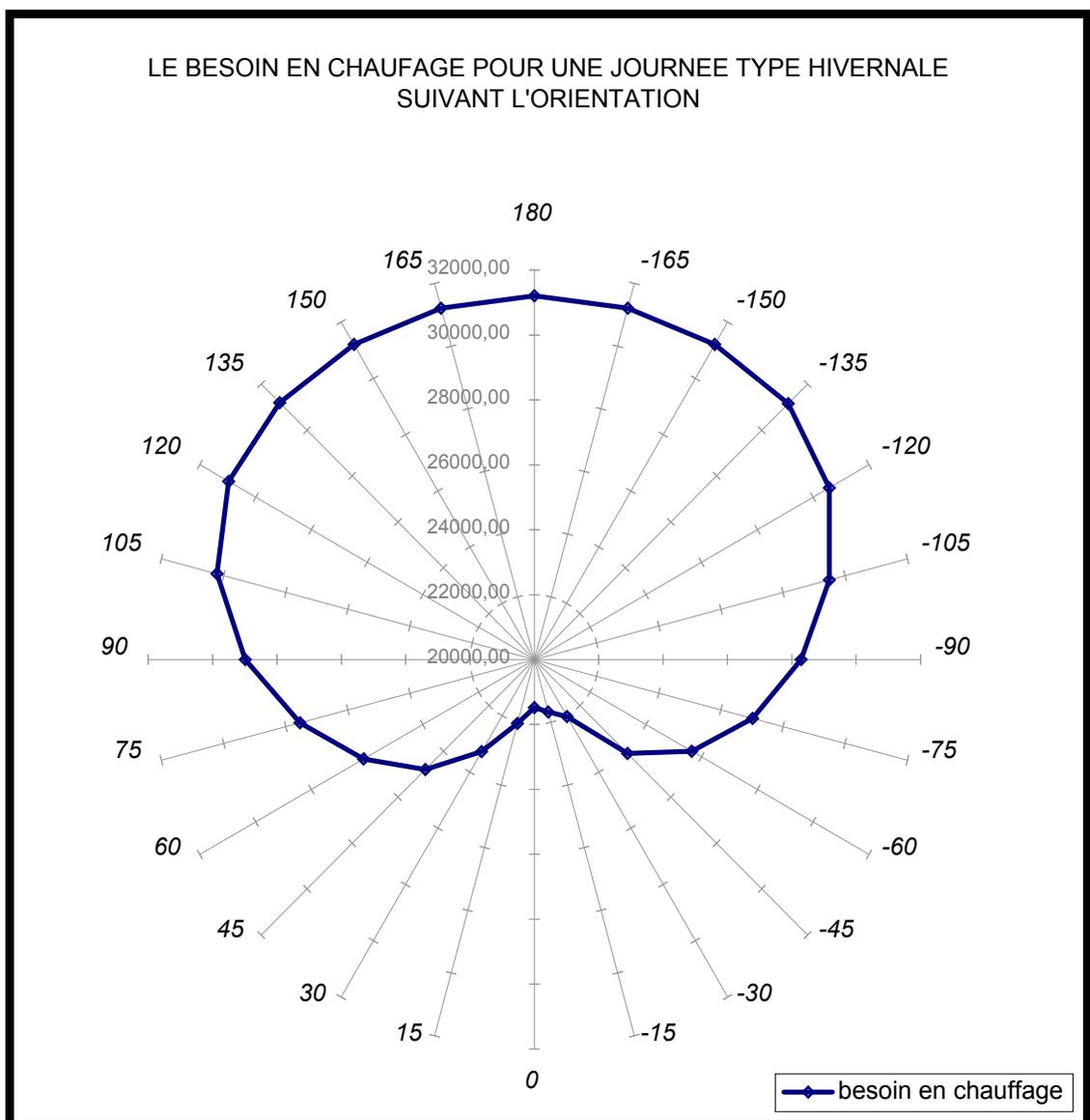


Figure 7-23 : Le besoin en chauffage suivant l'orientation(en kJ).

7.4- Besoin en énergie pour la climatisation suivant l'orientation :

Les simulations sont effectuées avec climatisation afin de tester le besoin du séjour en énergie pour le refroidissement.

D'après le graphe (7-24) on constate que la consommation énergétique est fonction de l'orientation et que durant la période estivale la consommation d'électricité (demande en énergie sensible) est plus élevée surtout pour les orientations Est et Ouest qui sont à éviter. Il reste l'orientation Sud, Nord, l'orientation à 30° d'azimut Est et l'orientation à 15° d'azimut Ouest présentent une consommation très réduite par rapport à d'autres orientations. La consommation de la climatisation est appréciable surtout pour les orientations ouest qui sont plus élevées que celle de l'est ce qui explique la coïncidence de la radiation solaire avec les hautes températures qui fait que les orientations Ouest sont à éviter durant la période d'été.

Pour cela on peut déduire que durant la période estivale la meilleure orientation est celle qui ne consomme pas assez d'énergie et se concrétise par l'orientation Sud.

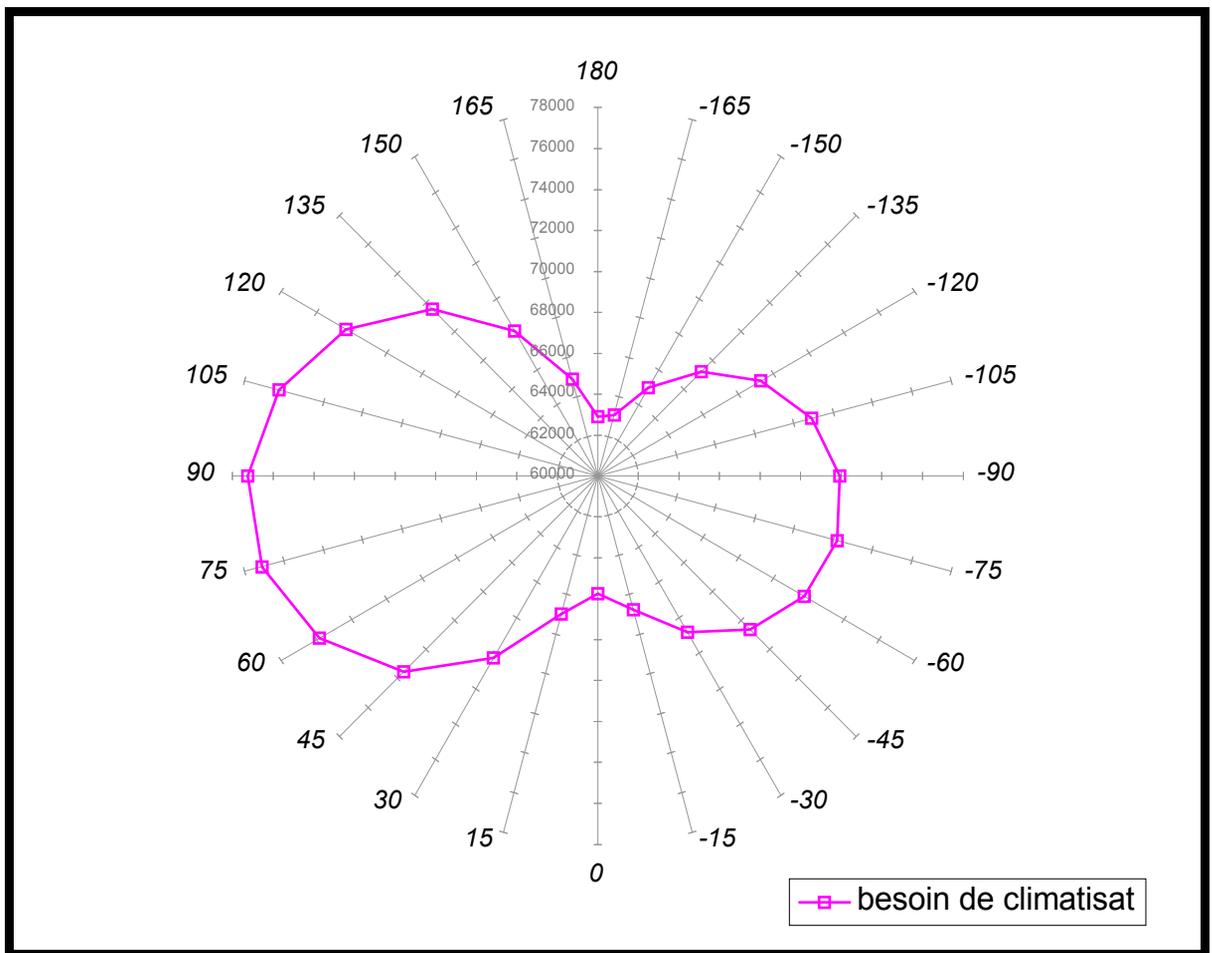


Figure 7-24 : Le besoin de climatisation suivant l'orientation (en kJ).

7.5- L'effet de la couleur :

7.5.1- Effet de la couleur sur la température surfacique :

Les graphes (figure7-25),(figure7-26) et (figure7-27) montrent l'effet de la couleur externe sur la réduction des températures surfaciques à l'aide de la simulation on a pu changer la couleur(coefficient d'absorption) :

- 1^{er} cas : $a(\alpha) = 0.9$Pour une couleur sombre.
- 2^{eme} cas : $a(\alpha) = 0.6$ Pour une couleur moyenne.
- 3^{eme} cas : $a(\alpha) = 0.3$ Pour une couleur claire.

On constate pour la période d'été que la couleur extérieure a une influence sur la partie du rayonnement solaire incident absorbé par la paroi. Ou les couleurs sombre ont des températures plus hautes que les couleurs moyennes et les couleurs claires. La paroi Ouest peut atteindre une température de 67°C dans le cas d'une couleur sombre par contre avec une couleur moyenne elle atteint 56.5°C, soit un écart de 10.5°C. Pour une couleur claire la température surfacique n'atteint que 47.67°C.

Par conséquent les couleurs claires réduisent la température de la paroi externe, comparativement à la couleur sombre. Cependant la combinaison de l'effet de l'orientation de la surface et de la couleur peuvent être exprimé en terme de sol-air température, dont IHVE la définit comme la température de l'air ambiant extérieure.⁴

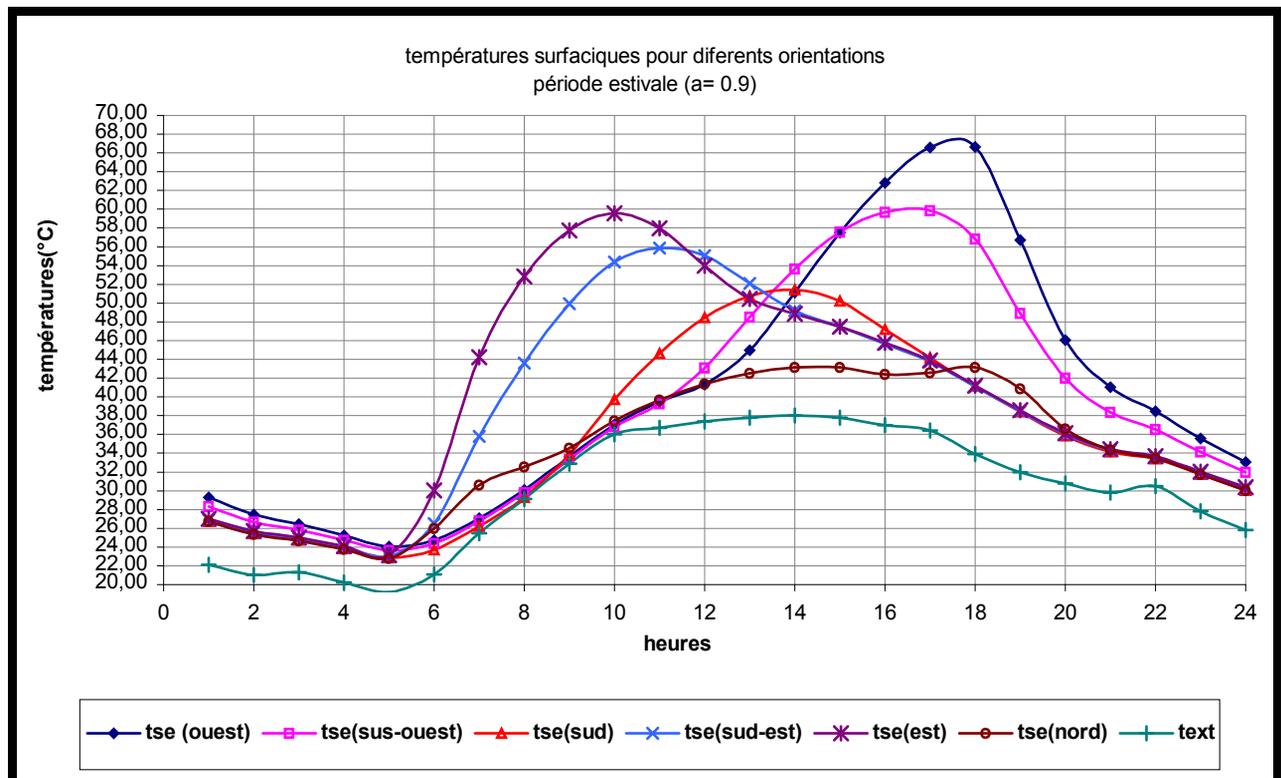


Figure 7-25: Températures surfaciques des différentes orientations pour une couleur sombre (période d'été)

⁴ - IHVE- guide book a 1970, London, 1971.

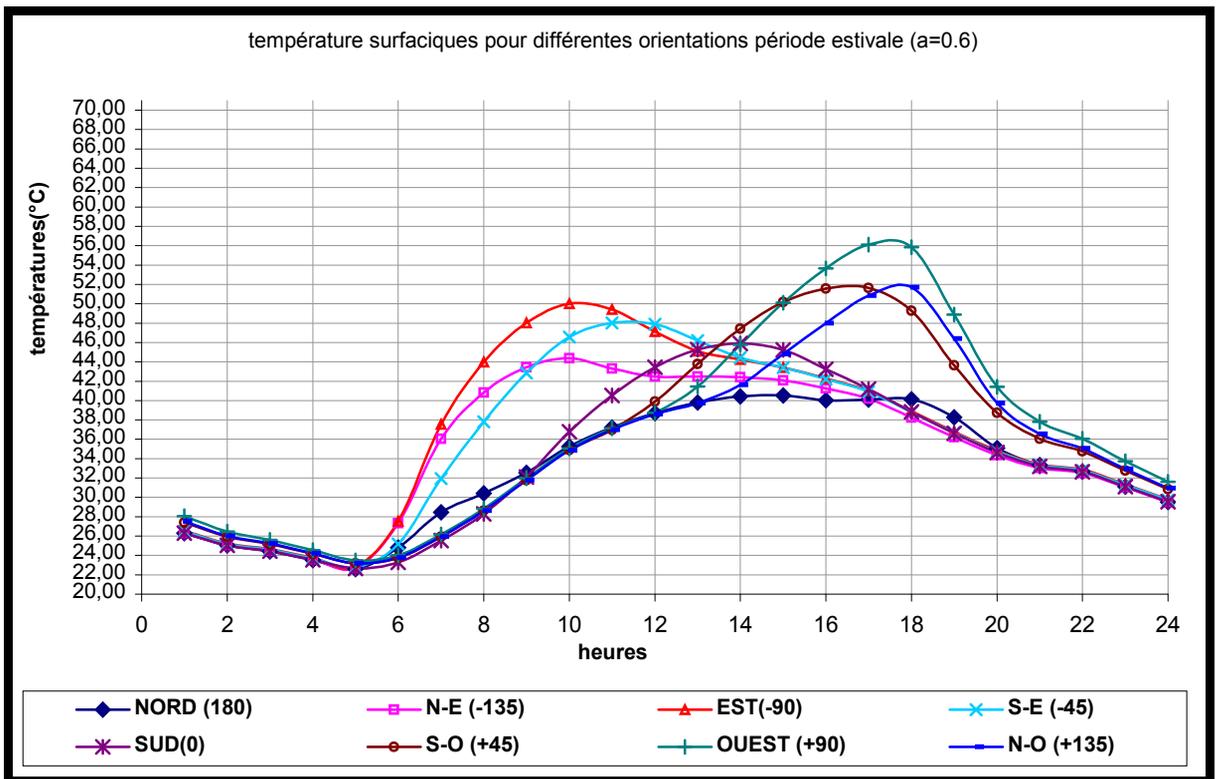


Figure 7-26 : Températures surfaciques des différentes orientations pour une couleur moyenne. (période d'été)

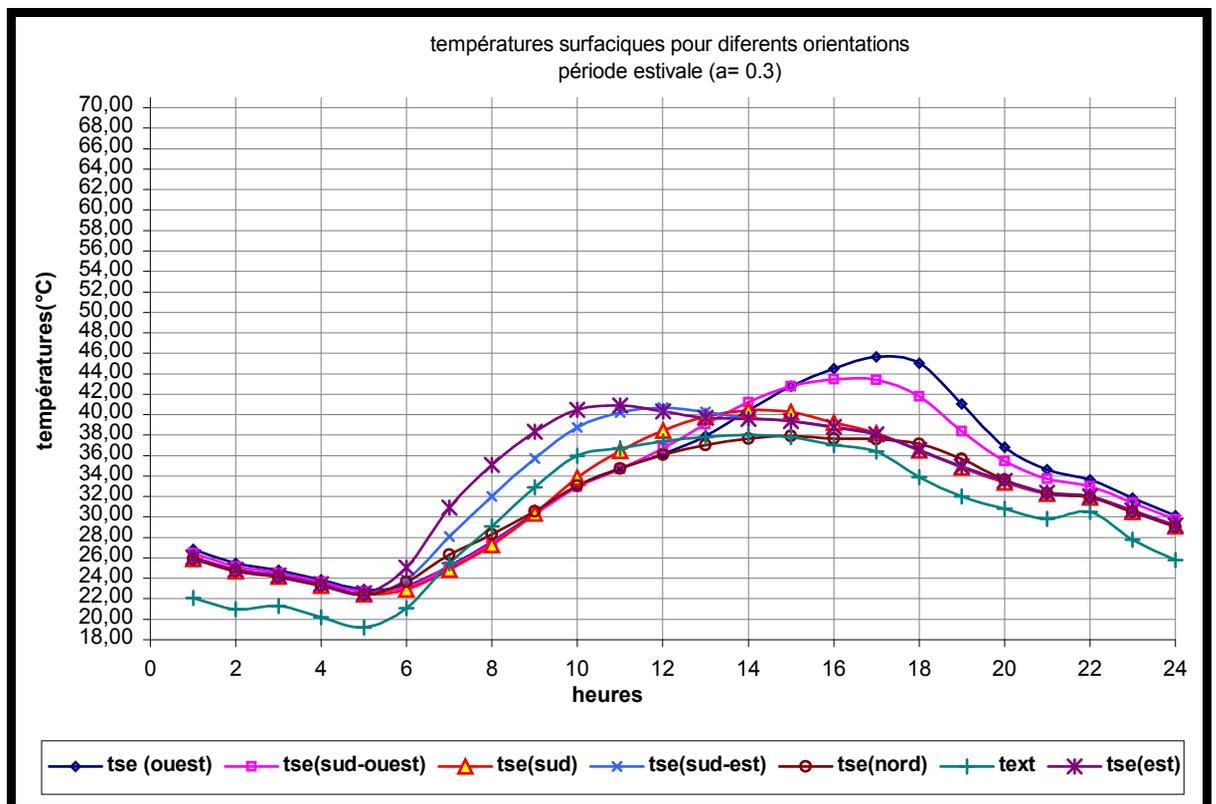


Figure 7-27 : Températures surfaciques des différentes orientations pour une couleur claires(période d'été)

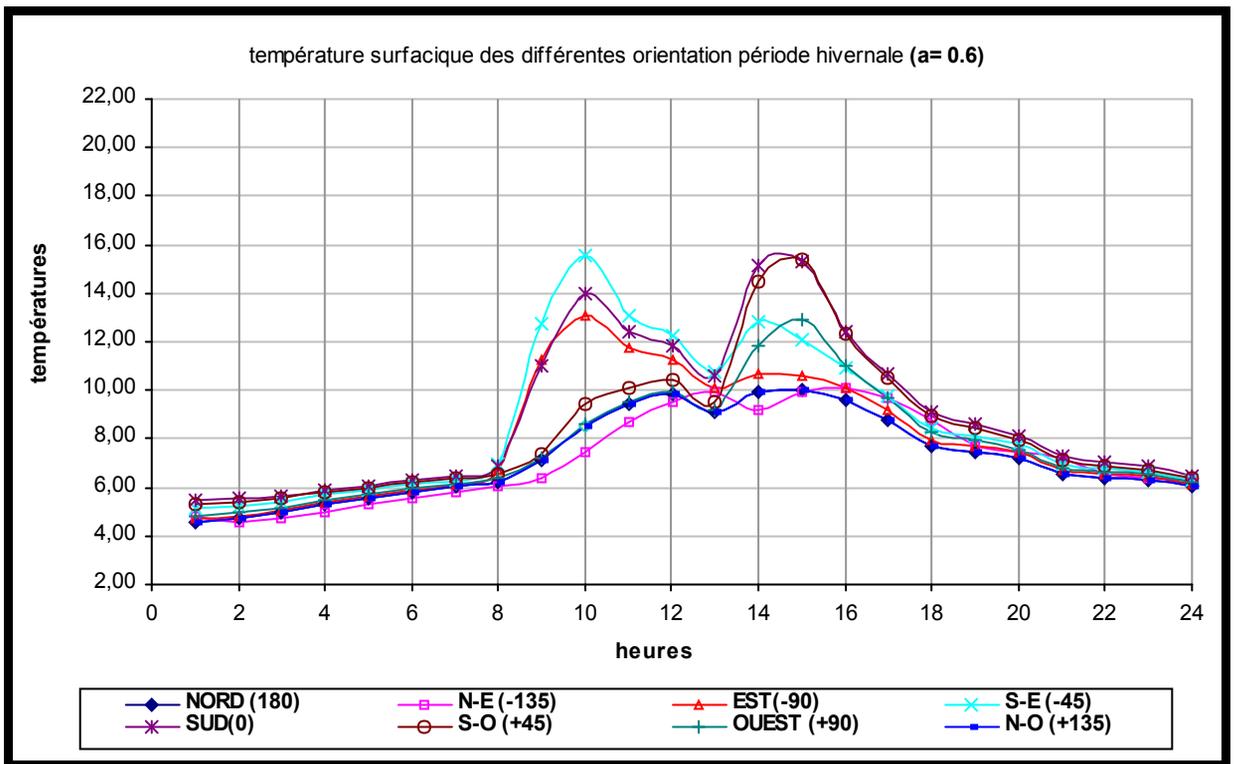


Figure 7-28 : Températures surfaciques des différentes orientations pour une couleur moyenne (période d’hiver)

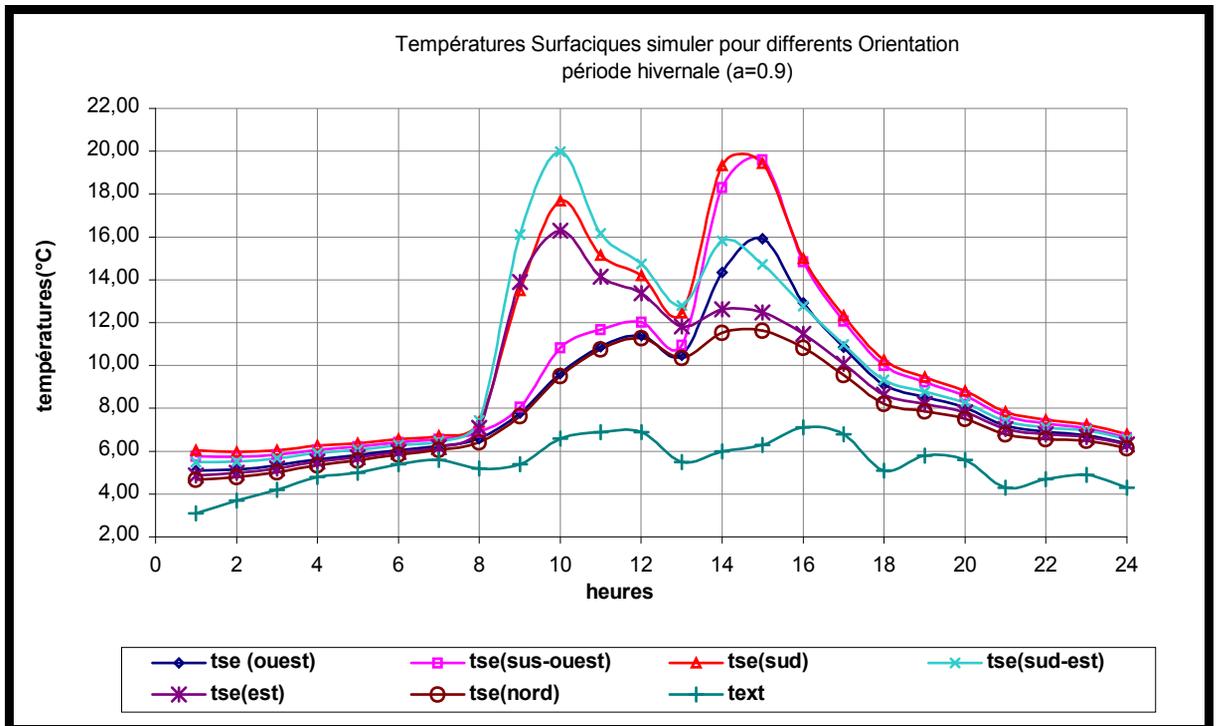


Figure 7-29 : Températures surfaciques des différentes orientations pour une couleur sombre (période d’hiver)

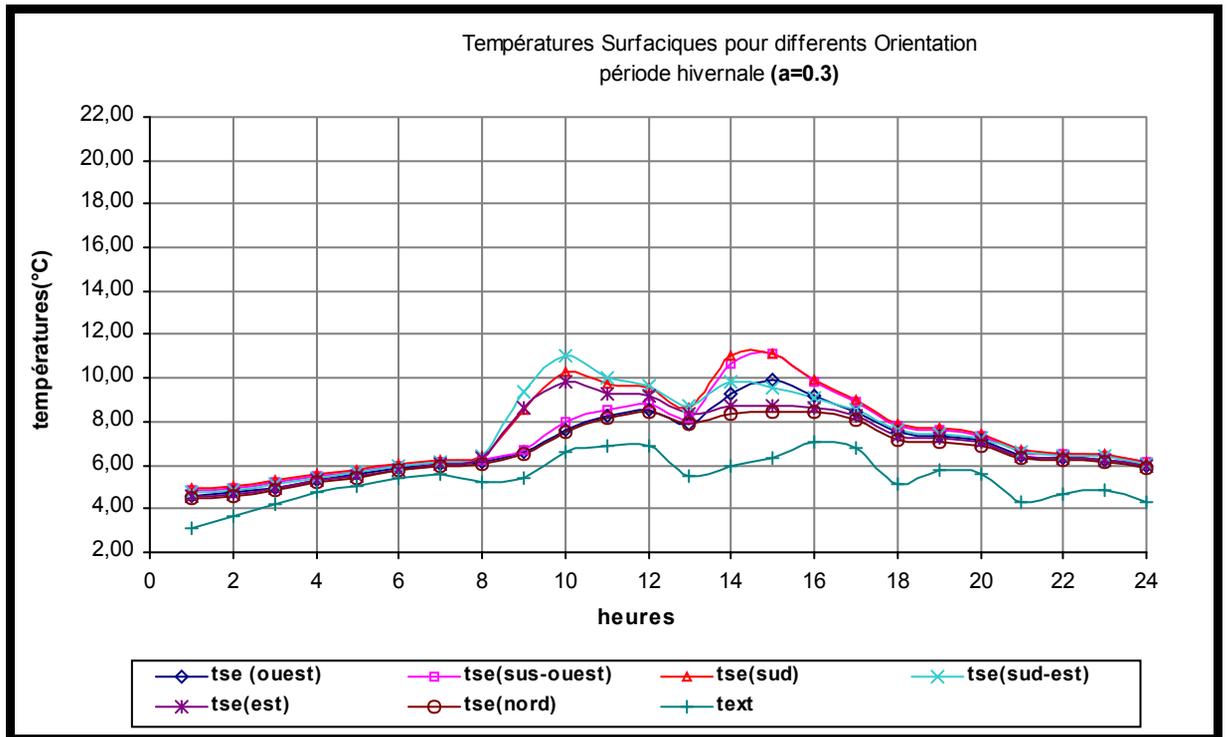


Figure 7-30 : Températures superficielles des différentes orientations pour une couleur claires (période d'hiver)

7.5.2- Effet de la couleur sur la température intérieure :

L'effet de la couleur sur la température intérieure a été testé sur trois orientations (Est, Ouest et Sud) par rapport aux trois couleurs (coefficient d'abs option « couleurs claires, moyennes et sombre »).

Le graphe (figure 7-30) montre l'effet de la couleur sur la température intérieure, et qui est surtout perceptible pour les orientations Est et Ouest.

La température intérieure pour l'orientation Est, peut atteindre une valeur maximale de 30.73°C pour une couleur sombre ($a = 0.9$) à 18h00 alors que pour une couleur moyenne la température intérieure atteint la valeur de 30.29°C soit un écart de 0.5°C, et pour une couleur clair elle atteint que 29.87°C soit un écart de 0.90°C.

Alors que pour l'orientation Ouest l'écart entre la couleur sombre et la couleur clair est de l'ordre de 2°C qui est un peu appréciable.

Pour l'orientation Sud l'écart n'est pas assez grand entre une couleur sombre, moyen et clair qui n'excède pas 0.24°C entre la couleur sombre et clair, et de 0.04 entre les deux couleurs moyennes et clair.

Pour cela on peut dire que l'effet de la couleur sur la température intérieur est plus perceptible surtout pour les orientations qui bénéficie d'un apport solaire le plus important.

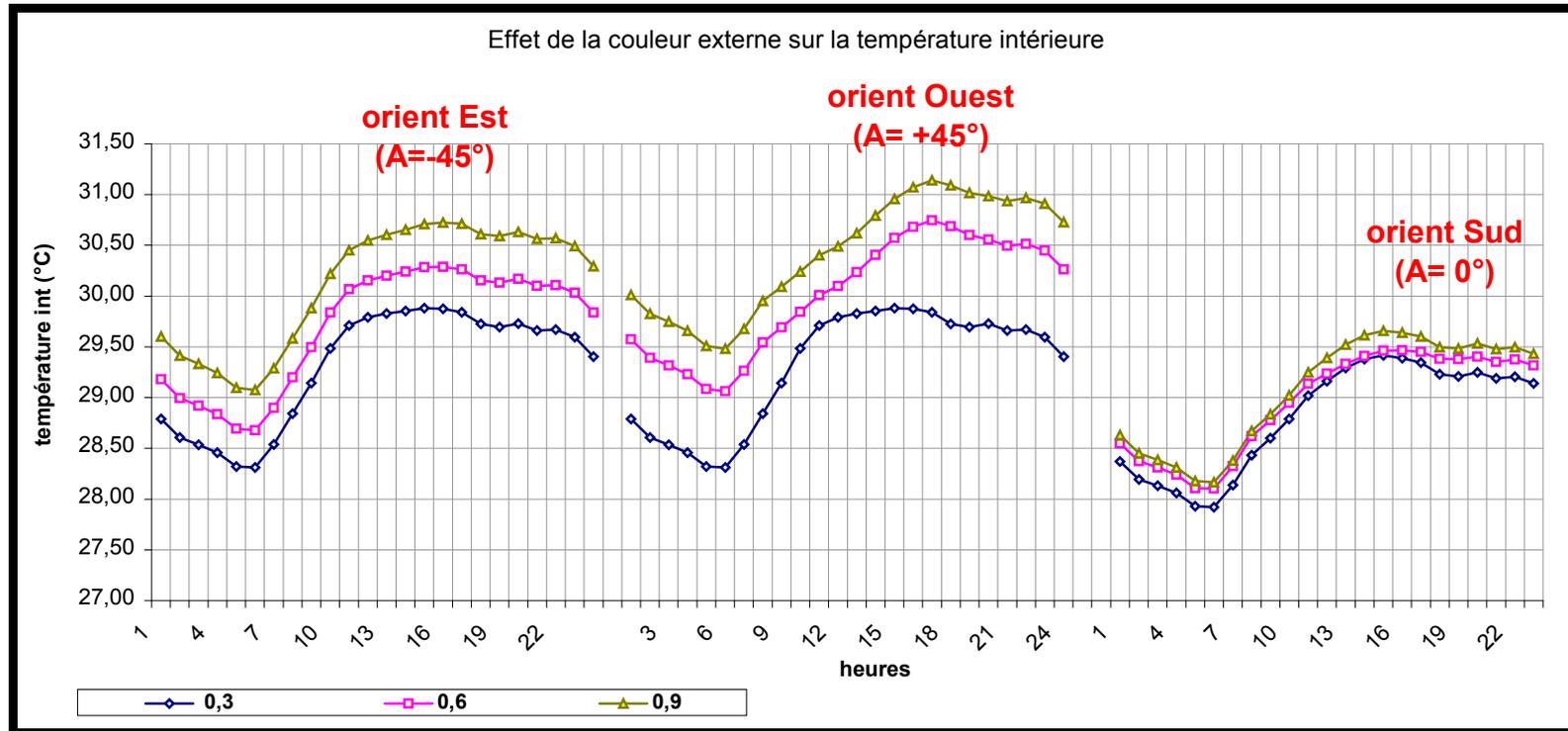


Figure 7-31 : Effet de la couleur sur la température intérieure (pour les orientations Est, Ouest et Sud).

7.6- Effet de la dimension de la fenêtre:

Pendant la saison chaude, la fenêtre préserve de surchauffe, donc un intérêt particulier doit être porté à ses dimensions et à son système de protection. Pour cela et dans le but de voir l'impact de la taille de la fenêtre sur la température intérieure et son occultation on a procédé au changement de la taille et de la protection par le biais du logiciel.

7.6.1- Effet de la taille de la fenêtre :

Dans ce fait trois cas sont testé pour voir l'effet de l'orientation et la taille de la fenêtre durant la saison chaude :

- */ 1^{er} cas..... une fenêtre de petite dimension égale à 1.00m x 0.5m._soit 9.6% de la surface du mur.
- */ 2^{eme} cas..... une fenêtre du cas d'étude dimension égale à 1.20m x 1.40m. soit 32%
- */ 3^{eme} cas..... une fenêtre de grande dimension égale à 1.40m x 3.50m. soit 96% de la surface du mur

Les résultats de la simulation sont présentés dans la (figure 7-32) où on constate que : La fenêtre de petite dimension connaît un abaissement de température 1°C par rapport à la dimension moyenne et de 2°C par rapport à une grande ouverture. A cet effet on peut déduire que l'effet de la dimension de la fenêtre est important dans l'abaissement de la température durant la période de surchauffe.

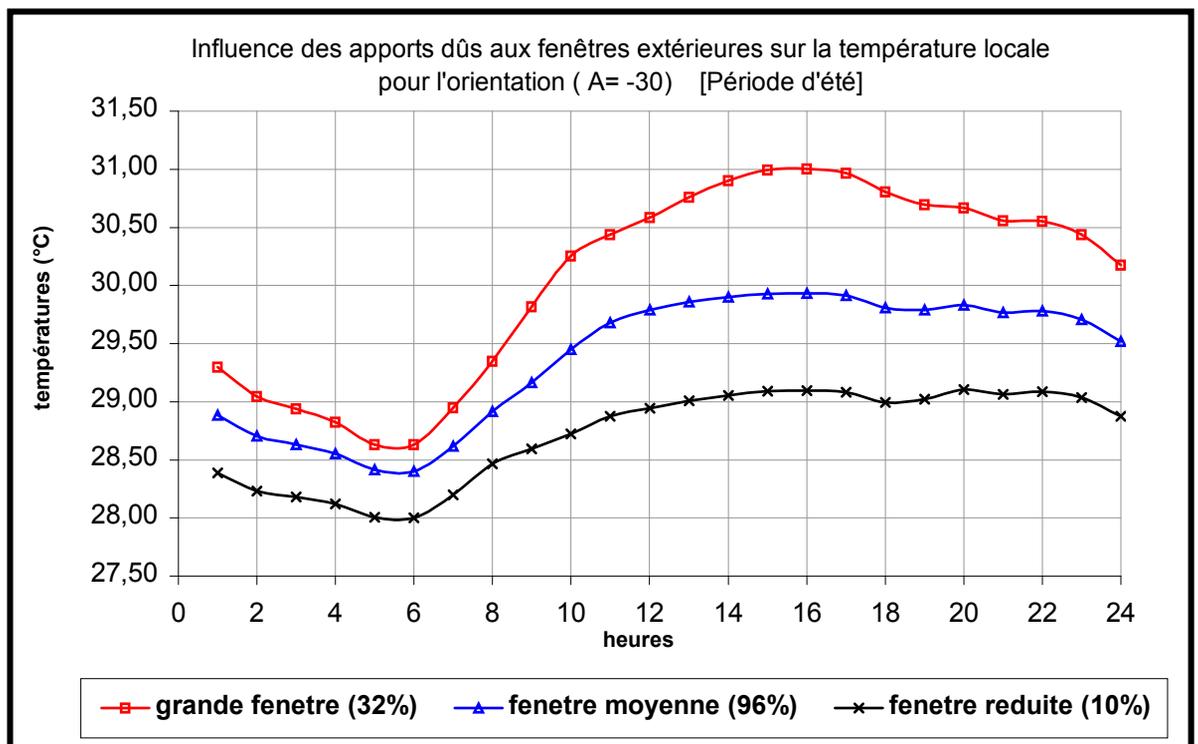


Figure 7-32 : Influence de la taille de la fenêtre sur la température intérieure.

7.6.2- Effet de l'occultation :

L'ouverture a une influence sur l'énergie solaire incidente. La vérification de l'effet de la protection solaire sur la diminution des températures internes, Ainsi la figure(7-33) montre pour une fenêtre fermée protégée que par un simple rideau et pour une fenêtre orientée sud, la température maximale du séjour peut arriver à 31°C entre 14h00 et 16h00 sous l'effet du rayonnement solaire qui frappe fortement le vitrage à ce moment de la journée produisant, ainsi l'effet de serre, avec une occultation par des persiennes et une protection fixe en dur l'abaissement de la température est très net ou elle atteint 29.80°C. Cet effet est perceptible surtout entre 9h00 et 18h00 et l'écart et de l'ordre de 1.21°C ce qui explique l'importance de l'occultation de la fenêtre pour l'abaissement de la température intérieure qui joue un rôle prépondérant pour minimiser les gains directs des rayons solaires. Au-delà de 18h00 jusqu'à 24h00 l'écart est de 0.90°C .

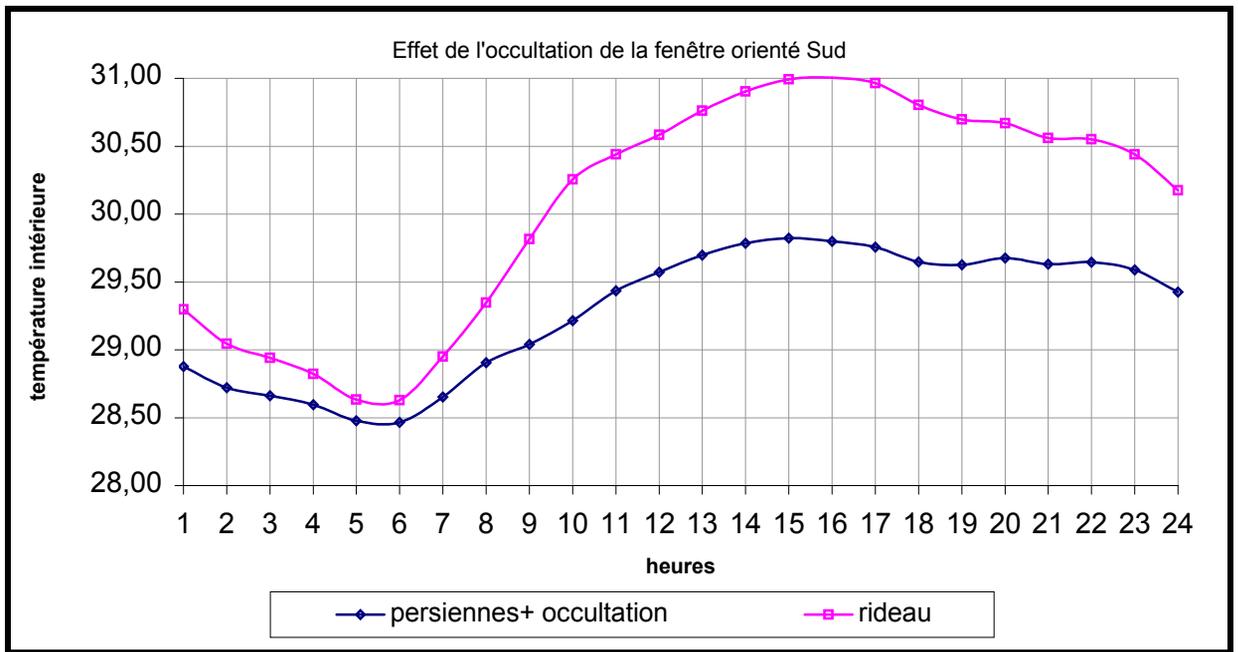


Figure 7-33 : Effet de la protection de l'ouverture.

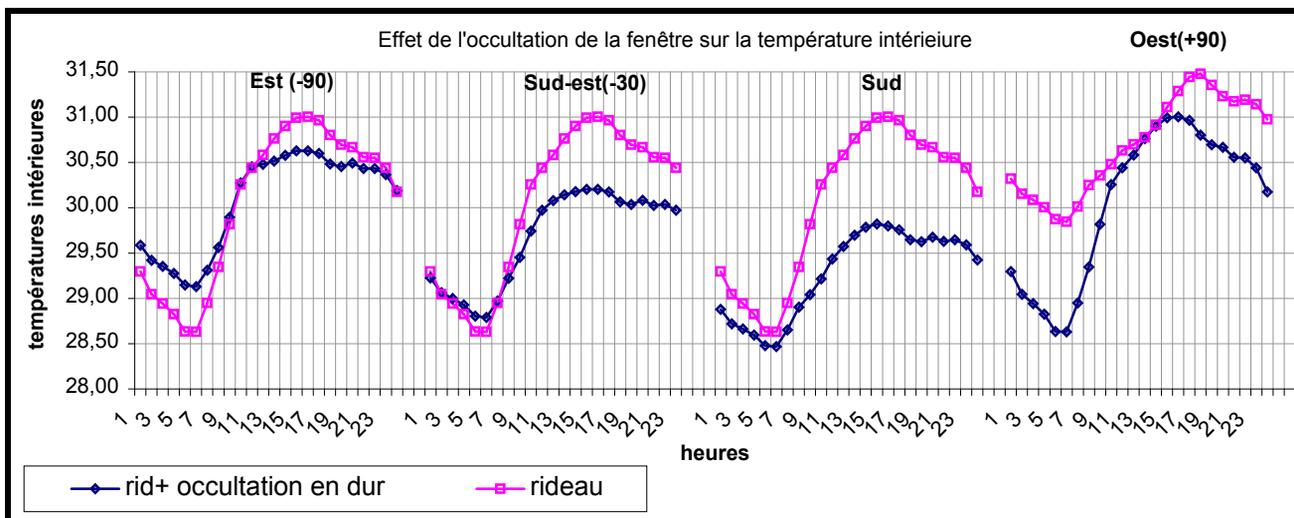


Figure 7-34 : Effet de l'occultation de la fenêtre sur l'abaissement de la température intérieure pour les différentes orientations (période d'été)

Cette diminution est surtout plus appréciable pour l'orientation sud de 1.20°C et à 30°d'azimut est de 0.85°C, mais elle sera moins perceptible pour les orientations Est et Ouest où l'abaissement est de l'ordre de 0.5°C (figure 7-34)

En ce qui concerne l'effet de l'ombre, on a pu calculer le cas d'une façade totalement ombrée. (absence du rayonnement direct, mais en présence des rayonnements diffus)

La figure (7-34) explique l'effet de l'ombre, où son importance est visible surtout entre 10h00 et 18h00, l'écart est de l'ordre de 2.5°C. au delà de 18h00 jusqu'à 00h l'écart est de 1.75°C. Par contre de 00h00 jusqu'à 10h00 les courbes se rapprochent au maximum, l'écart est de 0.7°C.

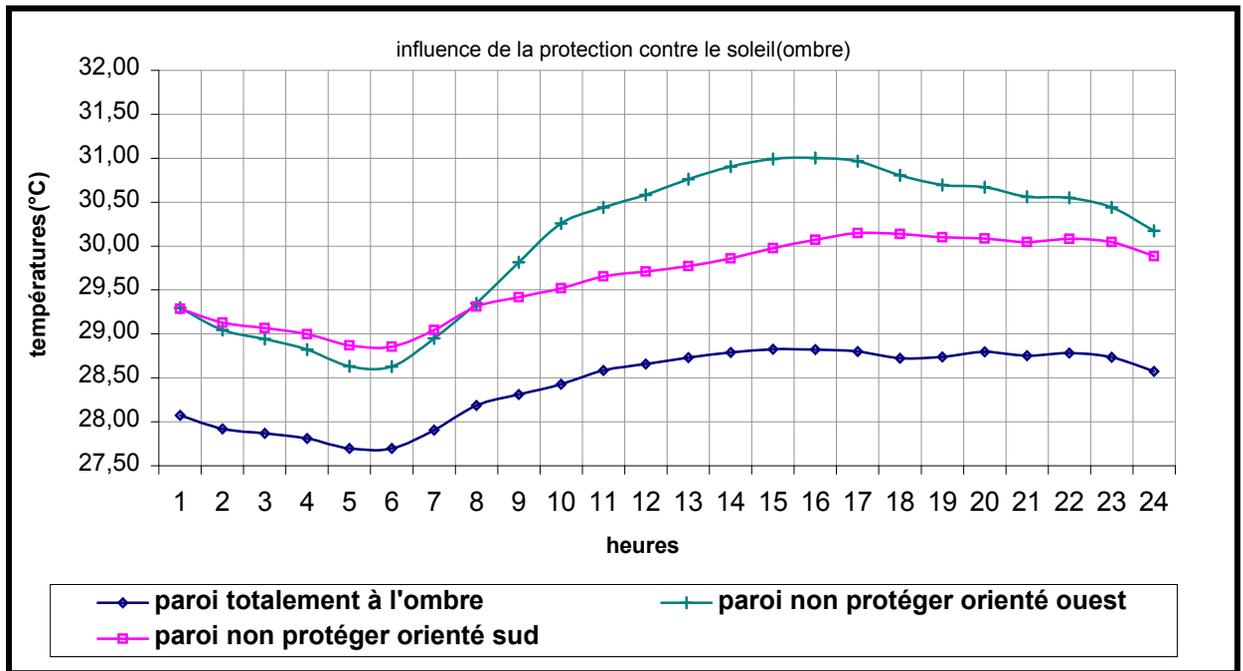


Figure 7-35 : Effet de la protection de la façade des rayons solaires.

7.7- Effet de la ventilation :

On a procédé au changement du taux de la ventilation. Suivant le graphe de la (figure 7-36) on constate l'influence de la ventilation sur l'abaissement des températures intérieures, elle a été appréciée en appliquant de différents taux de ventilation, et les résultats obtenus montrent un abaissement de la température maximale intérieure de l'ordre de 1.86°C dans le cas d'un taux de ventilation fixe égale à (3VAC⁵), l'autre possibilité simulée a permis un abaissement de 2.59°C pour le cas de (4VAC) et qui se rapproche des résultats de mesures.

Donc, sous l'effet de la ventilation, les ambiances intérieures profitent du rafraîchissement en été, et chaque fois que le taux augmente, la température baisse surtout le soir sous l'effet conjugué de la ventilation (les fenêtres sont ouvertes) et le rayonnement nocturne (rafraîchissement des structures.)

En fournissant une ventilation efficace des espaces internes, celle-ci est capable de réduire les températures, cet effet se fait remarquer surtout pendant la nuit.

⁵ - VAC – volume air change

La figure 7-37 montre l'importance de la création de la ventilation nocturne et que l'abaissement de la température est plus appréciable surtout en orientation sud où l'abaissement est de l'ordre de 2°C

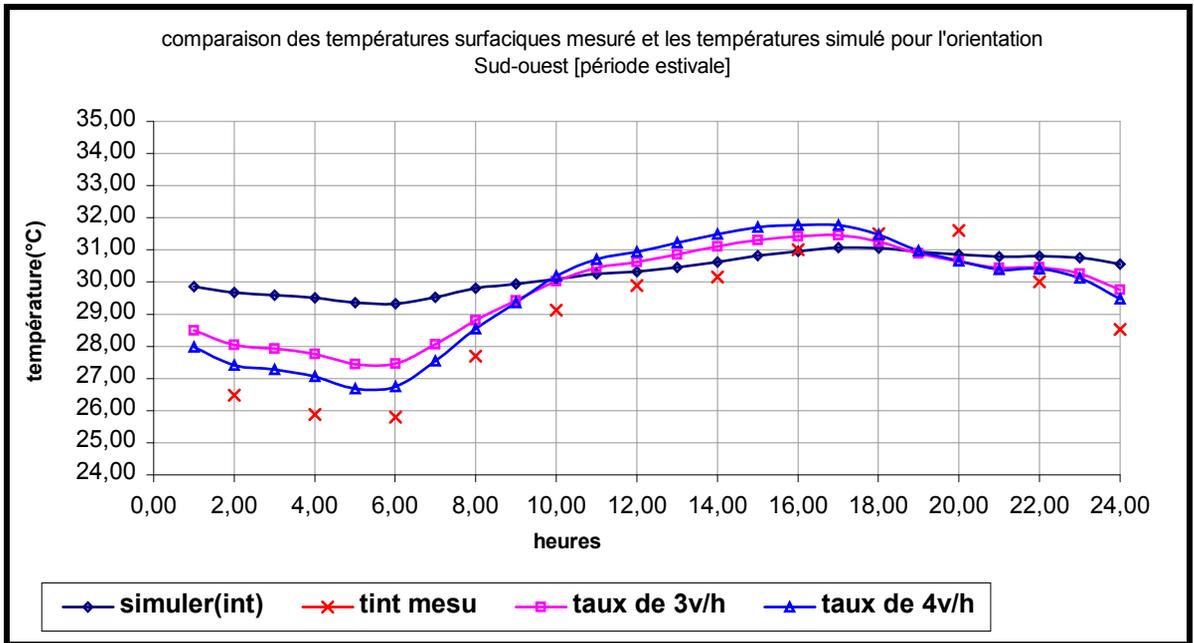


Figure 7-36: Effet de la ventilation sur la température intérieure (orientation sud ouest)

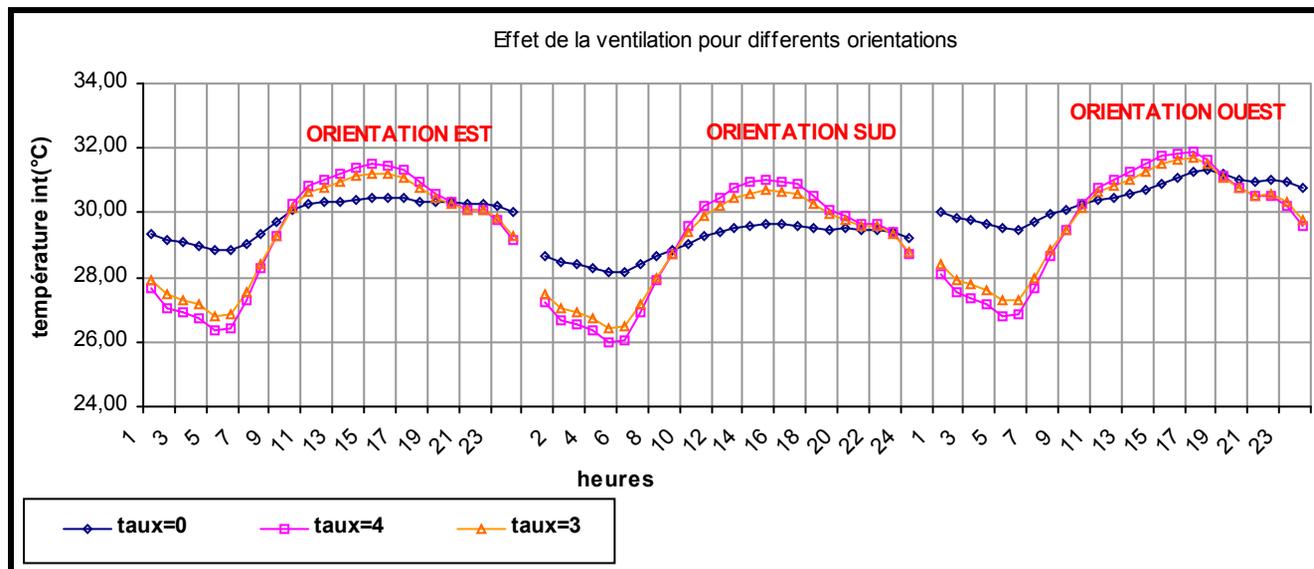


Figure 7-37 : Effet de la ventilation sur l'abaissement de la température intérieure pour les trois orientations cardinales (période d'été)

7-8- Conclusion :

Les résultats de la simulation montrent l'effet de l'orientation de la paroi verticale extérieure sur l'ambiance intérieure.

La température intérieure du local reste gouvernée par l'interaction de plusieurs facteurs à savoir l'orientation, la taille de l'ouverture, la couleur extérieure, l'occultation de la façade et de la fenêtre, la ventilation, et la gestion de l'occupant (S. Outtas, 1987 – Al douri, 1985)

Les causes de la variation de la température intérieure d'après les résultats de la simulation sont confirmés par P. LAVIGNE, 1994- J. L. IZARD, 1993 et qui dépendent de la puissance incidente solaire sur l'enveloppe (opaque ou transparente) ;

Pour cela les résultats de la simulation ont démontré l'effet de l'orientation sur l'ambiance intérieure, dont la température intérieure du local reste influencée par le contrôle des facteurs d'orientation par rapport ; aux rayonnements solaires, au vent et à l'ombrage.

L'orientation optimale d'après les résultats de la simulation pour ce type de climat est l'orientation SUD, en déviant l'axe d'orientation à 30° d'azimut EST et de 15° jusqu'à 17.5° d'azimuts OUEST.

Les orientations pleines Est et pleines Ouest sont à éviter ; Parce que l'orientation Est ne présente pas un grand intérêt en hiver (déficit de 45%), tandis que l'orientation Ouest génère d'importantes surchauffes en été.

Cependant, au niveau de la consommation énergétique (demande en énergie sensible) l'orientation Sud reste la plus favorable en hiver comme en été, dont elle présente le 1/10 de la consommation énergétique pour le chauffage par rapport à l'orientation nord et le 1/8 par rapport aux orientations Est et Ouest. Et que le besoin de climatisation reste très demandé pour les orientations Ouest de trois fois plus que l'orientation Sud.

Le rôle prépondérant de la taille et l'occultation de la fenêtre durant la période chaude, présentent un important abaissement des températures intérieures, tout cela dépend de l'orientation. Par conséquent, la performance thermique d'un bâtiment peut être améliorée :

- En diminuant les surfaces recevant le rayonnement solaire par la création de l'ombre, tout en évitant les expositions des façades EST et OUEST aux rayonnements solaires.
- En protégeant les fenêtres du rayonnement solaire direct par des brises soleil.
- En fournissant une ventilation efficace surtout pendant la nuit, celle-ci est capable de réduire les températures intérieures.
- En utilisant des couleurs claires pour minimiser les absorptions solaires.

L'adaptation au climat, doit être conçue pour fonctionner avec le climat toute l'année et non pas seulement durant l'hiver ou l'été (Bennadji, A, 1999.) L'intervention de l'utilisateur peut être limitée à la manipulation et le réglage d'éléments mobiles tels que les volets et les stores pour pouvoir contrôler les apports solaires surtout en été.

Conclusion Générale & Recommandations

8.1- Introductions :

La conception architecturale bioclimatique s'inscrit dans la problématique contemporaine, liée à l'aménagement harmonieux du territoire et à la préservation du milieu naturel. Cette démarche, partie prenante du développement durable, optimise le confort des habitants tout en minimisant l'impact du bâti sur l'environnement.¹

L'art de bâtir en prenant en compte l'influence des facteurs climatique n'est pas une invention du 20^{ème} siècle. L'architecture bioclimatique se distingue de l'architecture conventionnelle par le fait que l'exploitation de l'énergie solaire est intégrée dans la conception du bâtiment, cette conception permet de diminuer considérablement les besoins de chauffage et de climatisation..

L'idée principale constituant la base de cette recherche vise la qualité thermique dans l'habitation.

L'objectif à poursuivre revient à chercher une adéquation entre la conception et l'habitat, le climat et l'environnement dans lequel il s'implante ; vérifier l'impacte réel du climat sur le bâtiment suivant les différents angles d'orientations.

L'habitat collectif contemporain a non seulement échoué dans la réalisation des performances quantitatives, mais il a également montré des insuffisances sur le plan qualitatif, ce qui provoque le problème d'intégration climatique et implique une consommation considérable d'énergie.

A cet effet, une analyse thermique a été engagée, autour de laquelle la performance thermique de l'architecture contemporaine a été testée au contact climatique de Constantine, caractérisé par un climat semi-aride, et une comparaison a été effectuée entre les différentes orientations, en faisant prévaloir les conditions de la saison chaude et la saison froide.

La vérification de l'impact de l'orientation de la construction a nécessité une investigation sur site, où des séries de mesures d'éléments physiques d'analyse tel que la température et l'humidité relative sont effectuées pendant des durées selon les saisons recommandées par l'analyse bioclimatique et suivant plusieurs orientations possibles sur site.

Le confort intérieur est lié à l'environnement thermique qui s'établie entre le corps humain et l'environnement proche et qui dépend de nombreux critères : température de la paroi, température de l'air, déplacement de l'air, l'humidité²

Les résultats de l'investigation montrent que la température intérieure est gouvernée par la puissance incidente solaire sur les éléments opaques et transparents de l'enveloppe et au degré d'exposition des éléments de l'enveloppe aux rayons solaires et au vent. Ces résultats sont prouver par les conclusions de (S. Abdou, 2003) où la variation de la température extérieure, la

¹ - ALAIN LIEBARD et ANDRE DE HERDE –Guide de l'architecture bioclimatique- page1

² -C.R.Croccker –[en ligne] <http://www.cbd-126F-Influence de l'orientation sur les parements exterieur.htm>
(consulter le 25 mai 2004)

puissance incidente solaire sur l'enveloppe et le comportement humain ont une influence sur la température intérieure.

Le recours à l'outil informatique par le biais d'un logiciel TRNSYS (version 14.1) à permis de valider les résultats in situ, et de proposer des solutions pour une amélioration des conditions de température intérieure suivant l'orientation.

Le problème majeur qui se pose dans l'habitat contemporain c'est l'éclatement du tissu urbain, qui d'une part influe sur le microclimat, par l'importante surface goudronnée, ainsi que les espaces nus qui existe entre les bâtiments.

D'autre part les surfaces et volumes qui sont exposés aux contraintes climatiques extrême (vent, rayonnement solaire..), Avec l'orientation arbitraire des bâtiments. Tout cela influe sur la température intérieure en hiver comme en été.

En tenant compte des limites des températures de confort de Constantine d'après Humphrey, les différentes orientations sont loin d'atteindre les températures de confort.

Les paramètres qui peuvent influencer les températures intérieures sont dans ce cas :

- L'orientation de la paroi ;
- Le contrôle de l'ensoleillement ;
- La couleur externe de la paroi ;
- La dimension et la protection des fenêtres ;
- La ventilation.

La démarche climatique cherche donc à composer avec le climat. L'enveloppe bâtie n'est plus simplement considérée comme la frontière du domaine habitable. Elle devient un élément souple chargé de transformer un climat extérieur fluctuant et inconfortable en un climat intérieur agréable (Oliver Sidler, 2000). De cette enveloppe on attend tout à la fois :

- qu'elle réduise les besoins énergétiques aussi bien ceux liés à la construction du bâtiment que ceux liés à son exploitation (chauffage, climatisation...),
- qu'elle offre un confort naturel en toute saison, c'est-à-dire qu'elle assure tout à la fois :
 - ~ Un niveau de température interne acceptable,
 - ~ De faibles variations quotidiennes de température (contrôle des surchauffes),
 - ~ Une bonne distribution de la chaleur dans les pièces habitées,

L'enveloppe doit pouvoir créer une température interne supérieure à la température extérieure pendant l'hiver et une température intérieure inférieure à la température extérieure pendant l'été. Elle doit pour cela disposer de structures capables d'opérer une sélectivité thermique, permettant de rechercher certaines influences favorables et d'en écarter d'autres qui le sont moins.

On joue pour cela sur tous les moyens dont on dispose : l'implantation et l'orientation du bâtiment, son architecture, la distribution intérieure, le choix des matériaux, leur disposition respective, leur couleur, etc. Par sa conception le bâtiment doit être capable de satisfaire quatre fonctions principales : capter le rayonnement solaire, stocker l'énergie captée, distribuer de l'énergie solaire et de la réguler.

Où de refroidir le bâtiment qui fait appel aux concepts de protection contre la radiation solaire, de minimisation des sources d'augmentation de température et de dissipation de la chaleur excessive.

Des conditions acceptables ont été obtenues par la simulation, leur application a donné un abaissement considérable de la température intérieure en été et une augmentation considérable de température intérieure en hiver. Les résultats seront satisfaisants en introduisant certains dispositifs architecturaux et techniques de refroidissement.

Les résultats de la simulation (TRNSYS) ont démontré l'influence de l'orientation sur le degré de besoin énergétique pour satisfaire le confort minimal intérieur que ce soit en hiver où en été.

8.2- Conclusions et recommandations:

Les résultats montrent que le climat peut être un élément déterminant dans l'architecture. Le contrôle des facteurs orientation par rapport aux rayonnements solaires, le vent et l'ombrage participent au comportement thermique des espaces intérieurs, et à la création d'ambiance confortable.

Les résultats de l'investigation montrent l'importance du degré d'exposition de la paroi vertical sur l'augmentation ou la diminution de la température intérieure. Et que l'ombre joue un rôle prépondérant dans la création du confort à l'intérieure pendant la période d'été. Donc l'ambiance intérieure de chaque séjour dépend étroitement de l'effet de l'orientation. Le séjour orienté nord est plus appréciable que les autres orientations surtout en été, à cause de l'effet de l'ombre porté sur cette façade et la direction de la brise d'été. Le séjour orienté sud-ouest présente des températures plus élevées par son orientation qui bénéficie des apports solaires directs les plus importantes surtout l'après midi et qui coïncide avec les hautes températures de l'air extérieur, ainsi que l'effet du vent chaud qui fait augmenter la pénétration de l'air chaud par infiltration.

Cependant en hiver la température de l'air intérieure dépend surtout de l'effet de refroidissement et de déperditions dues à l'exposition au vent dominant. Pour cela le facteur vent reste indésirable durant les périodes froides. Et que la température intérieure reste gouverné par l'interaction de plusieurs facteurs tel que l'orientation, la taille de l'ouverture et sa protection, la couleur externe et la ventilation.

La simulation a démontré la relation qui lie la quantité d'énergie absorbée par la paroi avec la température intérieure, qui dépend étroitement de l'orientation. Cependant l'orientation idéale est évidemment le sud, qui a fourni les meilleurs résultats. Par contre les orientations Nord, Est et Ouest sont à éviter.

La couleur et la texture de la façade ont un effet sur le degré d'échauffement de la façade, le régime de la température varie en fonction de l'irradiation solaire directe et réfléchi sur la surface, qui est déterminé par son orientation. Les résultats de la simulation montrent que l'effet de la couleur est plus perceptible pour les orientations qui bénéficie des apports solaires les plus importantes. Les couleurs foncé sont donc à éviter pour les orientations Est et Ouest.

La faible résistance thermique des fenêtres fait qu'elles constituent les principales voies d'accès du flux thermique vers l'intérieur. La fenêtre préserve du surchauffe, l'hiver comme l'été donc un intérêt particulier doit être porter à ses dimensions et sa protection. Les résultats montrent que la taille moyenne pour une ouverture est rechercher. La protection et la mise à l'ombre des parois

participent à la création du confort à l'intérieure du local et qui dépend de l'orientation de la paroi ainsi que de la position des ouvertures. Cependant, quelques orientations sont faciles à protéger comme le Sud et les orientations proche au sud, d'autre sont beaucoup plus difficiles comme l'Est et l'Ouest. Pour l'orientation Sud un simple auvent de 57 cm suffit pour occulter la fenêtre.

D'un autre côté, la ventilation nocturne a prouvé son efficacité dans le rafraîchissement des structures internes des espaces.

Pour améliorer l'état actuel du modèle d'étude, il faut créer un microclimat agréable en multipliant les espaces plantés qui sont en mesure de protéger le bâtiment du rayonnement direct, d'humidifier l'air et de le protéger des vents dominant.

Les recommandations à respecter pour une ambiance plus confortable, s'adressent à tous ceux qui participent à l'acte de bâtir, architectes qui pourront assurer à des occupants un meilleur confort thermique, sans avoir recours à la consommation énergétique (la climatisation et le chauffage) :

8.2.1 - Choix de l'orientation

Selon les résultats obtenus l'orientation idéale est évidemment le Sud pour un climat de Constantine. C'est lui qui fournira les meilleurs résultats, mais toutes les orientations du Sud Sud-est au Sud Sud-ouest sont acceptables. S'écarter du Sud peut se justifier si les masques constitués par l'environnement occultent par exemple le soleil en fin de journée. Ce qui rejoint les recommandation architecturale de Givoni, 1979 - Martin Evans, 1980- N. Ould Henia, 1993 - Izard .J.L, 1994.

On aura alors intérêt à accentuer le rôle de l'ensoleillement matinal en adoptant une orientation à 30° d'azimut Est. Par contre des brumes matinales fréquentes en hiver conduiront à adopter une orientation à 15 ou 17,5° d'azimut Ouest.

Mais on déconseillera les expositions pleines Est et surtout pleines Ouest, la première parce qu'elle ne sera pas d'un grand intérêt en hiver (et donc économiquement douteuse), la seconde parce qu'elle générera d'importantes surchauffes en été et qui rejoint les conclusions (Oliver Sidler, 2000) . Quant à l'exposition Nord, on ne peut guère l'encourager, même si elle fait bénéficier le logement d'un effet tampon certain. Son coût ne trouverait pas de justification économique.

8.2.2- Impact énergétique du choix :

Par rapport à une orientation Sud, les résultats de la simulation montrent que le choix de l'orientation SSE ou SSO fait perdre moins de 5% des apports solaires. Les orientations SE et SO sont plus pénalisantes : 15 %. Quant à l'Est ou à l'Ouest le déficit se situe à 45 %. (Figure 7-20) et qui rejoint les résultats trouver par Oliver Sidler, 2000 faite pour la région de l'Aude et le Drôme de région de Rhône-Alpes.

8.2.3- Pour réduire la pénétration du rayonnement on doit :

- Éviter le vitrage sur les orientations Sud-est à Sud Sud-ouest (à 45° d'azimut ouest) de la façade.
- Ombrager et éviter à la construction tout contacte avec le soleil, le rôle de la paroi protéger des radiations solaires (Al- Mofeez I. A., 1991)

- Utiliser des casquettes de petites dimensions permettant d'écrêter la partie la plus importante du rayonnement en été et n'altérant pas le rayonnement en hiver ou en mi-saison.
- Utiliser le plus possible la protection par végétation à feuilles caduques : l'hiver elle laisse passer le soleil, alors qu'en été, elle l'arrête. Cette solution marche bien pour autant que l'arbre soit assez grand, ou très proche de la façade, ce qui rejoint les recommandations de (E. Gregory McPherson , 1985)
- Concevoir des décrochements vers l'Ouest dans la conception du bâtiment, de manière à ce que le bâtiment lui-même, ou le bâtiment voisin (cas des maisons en bande) puisse créer des ombres portées sur la façade à protéger. Cette solution a l'inconvénient de provoquer une occultation également en hiver.
- La solution de pivotement des ouvertures vers le sud est très intéressantes au niveau des apports solaires et qui rejoint les conclusions de J.P.HERTER ,1984
- Utiliser des couleurs claires pour les façades extérieures, avec une texture pour réfléchir les rayons solaires vers l'extérieures.

8.2.4- pour réduire les gains directs :

les gains solaires absorbés par les éléments de la construction d'après (Miles Danby, 1973) sont fonction de :

- l'orientation de la construction
- la forme
- la surface d'absorption
- et l'extension de l'occultation

8.2.4.1- à travers les ouvertures :

pour réduire les gains à travers les ouvertures :

- Il faut une protection solaire pour ce type de climat (sec et chaud) ou des régions similaires, dont la radiation solaire est forte, elle impose l'utilisation des brises soleil qui reste simple d'utilisation au sud une avancé de toiture où un écran horizontal au-dessus de l'ouverture suffiront à la protection (de 57cm) pour les orientations Sud et proche du Sud. Cette protection devient difficile à réaliser en s'écartant du sud. Surtout les orientations ouest le brise soleil horizontale devient insuffisant vue les rayons solaires bas, associer des brises solaires verticaux pour les orientations est et ouest.
- L'orientation NORD –EST devrait être dominant, une déviation de l'axe Nord-sud de 15° à 17.5°vers l'est et l'ouest est acceptable surtout lorsque les ouvertures sont protégées par des masques proche où lointain.
- Les orientations Est–Ouest sont à éviter car les énergies incidentes orientées dans ces directions sont considérablement supérieures à celle des parties verticales Nord-sud les surfaces des ouvertures doivent être réduites et ne dépassant le nécessaire pour l'éclairage.
- Dimensions des ouvertures en moyenne de 20 à 40% de la surface du mur.
- Des occultations supplémentaires mobiles doivent être aussi prévus pour éviter un maximum de rayonnement diffus et réfléchi des autres surfaces en été.

8.2.4.2- à travers les parois opaques :

Pour la réduction de la température intérieure due à l'ensoleillement sur les parois opaques de l'enveloppe on doit traiter les différentes parties de l'enveloppe très ensoleillée par la réduction de l'absorption du rayonnement solaire et de protéger l'enveloppe par la création de l'ombre.

- Utiliser des surfaces externes qui font réfléchir la radiation (couleurs claires) et qui réduisent donc l'augmentation de la température de la surface externe.
- Utiliser des murs ventilés, pour refroidir la construction et qui excluent le rayonnement sur l'enveloppe surtout pour les murs Est et Ouest (Alain Liebard, 2003- Givoni. B, 1978. – Fernandez. 1994)
- L'usage du corps creux (abdou.2003) et la construction massive qui permet un décalage horaire supérieur à 8 heures, L'addition d'un isolant qui crée une inertie par absorption.
- La compacité et la mitoyenneté réduit les surfaces exposées au soleil.

8.2.5- Pour évacuer la chaleur excédentaire :

Il n'existe que la ventilation. Les ouvertures sur les murs de façade opposées Nord- Sud assurent la ventilation transversale pour le rafraîchissement en été. (recommandation architecturale, 1993)

L'effet de la ventilation naturelle à travers les portes et les fenêtres sur l'ambiance intérieure de la construction est très importante démontré par MILES DANBY, 1973³

L'ouverture vers la brise d'été diminue évacue la chaleur excédentaire.

8.2.6- Pour capter la chaleur à l'intérieure en hiver :

- Il est nécessaire pour piéger la chaleur par le phénomène de l'effet de serre, avoir des fenêtres aux vitrages tournés vers le soleil et une maçonnerie ayant une masse thermique permettant de stocker la chaleur pour obtenir un effet de chauffage déphasé.

- Éviter les expositions au vent dominant froid qui participe au refroidissement de la surface et augmente les déperditions et les infiltrations.

La maison de demain utilise au mieux l'exposition au soleil, l'orientation du vent.⁴
La conception passive semble être la solution la mieux adaptée, car fournissant des résultats meilleurs en terme d'énergie et d'argent économisé relativement au capital investi. Notamment pour créer des conditions de confort, surtout liées à la distribution de la chaleur et aux risques de surchauffes.

Le choix de l'orientation dès les phases primaires de la conception a un impact primordial pour créer des espaces intérieurs plus confortables et plus performants associé à certains dispositifs architecturaux et techniques passifs.

Ces résultats montrent que la prise en compte du critère orientation fait participer le bâtiment à une conception plus performante du point de vue thermique et énergétique.

³ - MILES DANBY the design of building in hot-dry climates and the internal environment. University of Newcastle- upon- Tynre, 1973

⁴ - J.M TOUSSAINT, De l'habitat bioclimatique -in Massif des vogues revue n° 10 ;2004 page.30.

Introduction Générale

« Tout immeuble de logements , ou maison individuelle , sera optimisé par rapport à son environnement climatique si le maître d'œuvre à tenu compte des vents amenant le froid et la pluie , de l'orientation des pièces en fonction de leurs usages pour un meilleur confort thermique et visuel » (Eric Durand, 1986)¹

1- Introduction et problématique :

*« Pour bien disposer une maison ,il faut avoir égard au pays et au climat ou on veut bâtir , car elle doit être autrement construite.. »*²

A travers les différents âges de l'humanité l'homme a toujours essayé de créer des conditions favorables pour son confort et ses activités ,tout en essayant de contrôler son environnement.

De la hutte primitive à la maison d'aujourd'hui , l'habitation reflète à travers son évolution les différentes solutions trouvées par l'homme pour faire face aux aléas climatiques. Il est souvent admis dans les milieux scientifiques que l'architecture vernaculaire a donné des réponses très judicieuses .

La logique du productivisme qui a dominé le 20^{ème} siècle , se retrouve aussi dans les domaines de la construction , de l'urbanisme et de l'architecture. Ou il y a l'apport du progrès des sciences et des techniques dans l'habitat avec toutes ses conséquences. Ces techniques rationalisent la construction mais ne prennent pas en considération la qualité , la durabilité , l'adaptation de l'habitat avec son milieu, et elle considère l'occupant comme un consommateur passif.

L'Algérie connaît une crise aiguë en matière d'habitat dont le confort thermique ne semble pas être le souci majeur des concepteurs. En quatre décennie d'indépendance , le paysage urbain et architecturale des agglomérations Algérienne a connu un changement sans précédent ; aucune ville , aucun village n'a échappé à ce modèle constructif (habitat collectif). ce phénomène est caractérisé par une forte demande ou la quantité a pris le dessus sur la qualité.

Ce type d'habitat collectif provoque le problème d'intégration climatique qui implique une consommation considérable d'énergie .

La crise de l'énergie a brutalement mis l'accent sur l'importance du volume de combustible utilisé pour le chauffage et la climatisation , en raison de cette consommation qui influe sur la charge d'exploitation des immeubles et également sur l'ensemble de l'économie du pays.³ Pour cela , la prise en considération de l'aspect climatique , tient compte du respect des facteurs du site qui peuvent être utile : orientation ,pente du terrain, ensoleillement , protection contre les intempéries , vents dominants⁴ .

¹ -Eric Durand - Habitat Solaire et Maîtrise de l' Energie- Revue Système Solaire N° 17/18 – oct.- nov. 1986_ p.10

² -IZARD .Jean .Louis. Archi Bio éditions : parenthèses Paris. 1979 p.8

³ -Bernard Château & Bruno Lapillone - la prévision à long terme de la demande d' énergie- : énergie et société . centre national de la recherche scientifique –CNRS- Paris 1977

⁴ - la maison bioclimatique :[enligne] [http://www.lesdossiersdebiorespect.com/sur/l' énergie, l' environnement.htm](http://www.lesdossiersdebiorespect.com/sur/l%27energie/l%27environnement.htm) (page consulter le 20 mars2004)

A cet effet l'architecture BIOCLIMATIQUE insiste sur l'optimisation de la relation de l'habitation avec le climat en vue de créer des ambiances « confortable » par des moyens spécifiquement architecturaux ; Le but de l'architecture bioclimatique est d'exploiter les effets bénéfiques du climat (captage du soleil en hiver , ventilation en été) tout en offrant une protection contre les effets négatifs (trop de soleil en été , expositions aux vents dominants en hiver)⁵ , une conception consciente de l'énergie ; qui place l'occupant et son confort au centre de ses préoccupations.

une construction est dite bioclimatique ;quand sa conception architecturale vise à utiliser, les éléments favorables du climat et de l'environnement, en vue de la satisfaction des exigences du confort thermique³

comment construire bio et climatique ? l'idée fondamentale dans la conception d'un habitat bioclimatique est la relation retrouvée entre l'homme habitant et le climat .elle permet de réduire les besoins énergétiques et de créer un climat de bien être à l'intérieur des logements avec des températures agréables et une humidité contrôlée... les énergies renouvelables et en particulier l'énergie solaire sont à prendre en considération, l'influence du rayonnement solaire c'est-à-dire l'effet radiatif « *sol air température* » sur la température de l'air au voisinage de la paroi, et sur la température de la face exposée au soleil tient compte de plusieurs facteurs :

- Rayonnement solaire sur toute l'enveloppe du bâtiment
- Température de l'air suivant l'heure du jour et la position du soleil
- Orientation du bâtiment (par rapport au soleil et au vent)
- Caractéristiques des parois extérieures (masse thermique , couleur , état de surface des matériaux, isolation...)
- Protection solaire de toutes ces parois
- Emplacement et taille des fenêtres.

L'effet radiatif permet donc d'après une meilleure connaissance du comportement thermique d'un bâtiment donné , et qui facilite aussi l'étude de son orientation , de l'emplacement des fenêtres susceptibles de produire le meilleur confort thermique au cours des quatre saisons.⁶

L'orientation [*est la direction vers laquelle sont tournées les façades*]⁷ joue un rôle important dès les phases primaires de la conception architecturale, construire en harmonie avec les heures de la journée et des saisons donne une architecture plus confortable et plus conviviale pour l'habitant.

L'orientation d'une façade est le paramètre clé des interactions visuelles , thermique et acoustique ; cependant au niveau thermique cela se traduit par l'ensoleillement disponible , la pression du vent et l'humidité de l'air ; tout cela gèrent simultanément le rôle que joue la façade⁸

Le niveau du rayonnement sur un mur est sensiblement plus élevé dans une direction et moindre dans l'autre, ce qui signifie que les conditions de protection sont importantes , et en particulier la

⁵ - Bioclimatisme : [enligne]. <http://www.greanspace.b/bioclimatime.html> (page consulter le 3 mars 2004)

⁶ - D. Wright– Soleil , Nature, Architecture- Edition : Parenthèses Paris 1979 p.83-116-117

⁷ - B. GIVONI l'homme, l'architecture et le climat Edition : Le Moniteur Paris 1978 p.229.

⁸ - A. CHATELET —P. FERNANDEZ – P. LAVIGNE l'architecture climatique : une contribution au développement durable EDISUD tome 2 :concepts et dispositifs ; Aix en Provence France, 1998 p.15

ou il y a des fenêtres « il n' en reste pas moins qu' une bonne orientation des baies vitrées est un choix essentiel pour faire des économies d' énergie »⁹ ..

Le souci de construire rapidement et en grande quantité a favorisé ce type d' habitat collectif. En plus très peu de tentative réfléchi pour adapter ce genre de construction aux conditions climatique de la région ,où la même organisation et le même plan de masse se trouve répété à travers les cités Algérienne. Ce type d' habitat collectif est caractérisé par :

- La forme dispersée ,exposant ses baies aux conditions climatiques alors que ces conditions peuvent être modérées par la création des microclimats agréable qui est malheureusement négligé au profit des voies larges et asphaltées .
- Une orientation arbitraire des bâtiments ou le même prototype peut être soumis à divers orientations avec des façades percées de large bais vitrées. Sans prendre en considération les quantités d' énergies à consommer. Le confort thermique à l'intérieur de l'habitat collectif (réchauffement excessif en été , bourdonnement de vents froids qui soufflent sur la paroi en hiver) et cela augmente ses déperditions dont le besoin en chauffage sera plus important. Cette façade peut être modérée par le choix d' une bonne orientation et le bon emplacement.
- Le type de construction extraverti permet à l' espace de s'ouvrir sur l'extérieur par de larges fenêtres qui seront protégées uniquement par des persiennes en bois ou des stores , cette protection sera plus efficace si elle est doté d'éléments d'ombrage.
- L' éclatement des tissus urbains, augmente aussi les surfaces de contacts avec l' extérieur
- L' usage des matériaux non adaptés aux exigences climatiques , tel que les parois minces en béton et la paroi en bloc de ciment...
- Les transformations réalisées par les propriétaires accentue le problème(effet de serre).

Et pour assurer le bien être , l' usager aura recours aux appareils mécaniques de chauffage et de climatisation et qui aboutissent des consommations énergétiques exagérées (constaté dans les factures d' électricité et de gaz des citoyens de l' habitat collectif)¹⁰ .

« Une construction intelligente doit tenir compte de l'environnement climatique : soleil ,vent , pluie , orientation des pièces en fonction de leurs usage »¹¹ Pour cela ; ajuster la conception d' un bâtiment , c'est modifier les effets de l' orientation à la fois sur les conditions d' ensoleillement, de ventilation et donc de température.

- La problématique du sujet concerne l'inadaptation climatique du bâtiment contemporain .
- L'orientation arbitraire de ces façades et qui soulève la question sur la quantité d'énergie reçue sur chaque paroi du bâtiment collectif et son impact sur le confort intérieur. Ainsi que le besoin d'énergie à consommer pour la régulation thermique et son coût.

⁹ - **J. M. BLOCH -LAINE** Construire avec le Climat « ministère de l'environnement et du cadre de vie » Paris 1979 p.23

¹⁰ - **Bernard Château & Bruno Lapillone** la prévision à long terme de la demande d' énergie : énergie et société . centre national de la recherche scientifique –CNRS- Paris 1977

¹¹ - **Eric Durand** Habitat Solaire et Maîtrise de l' Energie . Revue Systèmes Solaire N°17/18 - oct./nov. 1986 p.10

Objectifs de la recherche :

Afin de répondre à l'objectif du confort, le concepteur doit tenir compte de :

1. La bonne implantation des bâtiments qui prend en compte les apports énergétiques, (rayonnement solaire et ses effets d' échauffement sur les murs et suivant l'orientation.)
2. La meilleure position par rapport au vent (problème de la ventilation en rapport avec la direction du vent et l' orientation de la façade.)

La prise en compte de ces deux facteurs peuvent aboutir à des exigences d' orientation¹² , qui peuvent minimiser les dépenses d'énergie.

En exploitant les paramètres du bâtiment ,on peut réduire les consommations énergétiques et on peut assurer des ambiances intérieures confortables a savoir :

- L' orientation par rapport au soleil et au vent.
- La couleur et la nature des surfaces exposées de la paroi.
- la taille et la protection des fenêtres.

L'objectif consiste à tester le comportement thermique d'un bâtiment collectif contemporain situé à la nouvelle ville Ali Mendjli de Constantine vis-à-vis les conditions climatiques extérieures . cela concerne l'étude de l' impact de l'orientation sur la température intérieure de l' habitat collectif . Dont le confort intérieur reste lié à l' environnement thermique qui s'établit entre le corps humain et l' environnement proche, qui dépend de nombreux critères : température de la paroi, température de l'air ,déplacement de l'air , l' humidité¹³ .

Approche méthodologique de la recherche :

Afin de répondre aux objectifs assignés au préalable, l'étude a concerné deux parties distinctes :

- Une première partie théorique consiste en une observation de la problématique énergétique, où dans un premier temps le développement du facteur énergie, son importance dans l'économie ainsi que les causes de l'augmentation de la consommation énergétique. Par la suite on ciblera les différents concepts d'architecture qui prennent en considération l'énergie solaire comme composante de conception qui vise la relation de l'architecture avec le climat, tout cela fera l'objet du premier chapitre.

Par la suite , le deuxième chapitre présente une étude climatique et bioclimatique de Constantine ; qui débutera par le facteur climat et son impact sur le confort de l'être humain. Ce qui permet de développer des diagrammes de confort pour la ville de Constantine ; et qui servira de base pour les interprétations du cas d' étude .

Le troisième chapitre développe l'aspect géométrique et l'aspect énergétique du soleil . et pour pouvoir étudier le contrôle solaire dans le bâtiment, une analyse des radiations solaires dans les différentes orientations s'impose.

¹² - B. GIVONI *L'homme, L'architecture et le climat* Edition : Le Moniteur Paris 1978 p.229-230

¹³ -C. R. Croccker –[en ligne].<http://www.cbd-126F-Influence de l'orientation sur les parements exterieur.htm> (consulter le 25 mai 2004)

Les données de base pour une conception bioclimatique nous permet d' assimiler tous les mécanismes de transfert de chaleur . Cependant le contrôle climatique consiste à modulé ces types de transferts. Maîtrisé le rôle de l'ensoleillement sur le bâtiment, la protection des ouvrants ainsi que le rôle de la ventilation nous facilitent la réalisation d'une conception bioclimatique. une étude détaillée des éléments combinées du climat sur la construction et qui influe sur le confort intérieur , fait l'objet du chapitre quatre.

D'autre part , une revue générale à été établie , concernant l'orientation et ses effets sur la température intérieure , ainsi que les techniques passives de contrôle de l'ensoleillement, déjà employées dans l'architecture traditionnelle et contemporaine. Ceci fera l'objet du cinquième chapitre.

- Une deuxième partie expérimentale concerne en premier temps une investigation in situ qui permis une lecture de trois échantillons d'habitations situées dans la nouvelle ville Ali Mendjeli à Constantine. Une série de mesures de températures, d'humidités relatives et des températures de surfaces est réalisé à l'intérieur du locale choisi et à l'extérieur. Dans le but d'évaluer l'effet des radiations solaires, du vent suivant l'orientation sur la façade (paroi verticale percée de baie) et son impact réel sur le confort intérieur de la construction. pour vérifier l'effet de l'orientation et qui fait l'objet du chapitre six.

Puis une modélisation à l'aide d'un logiciel informatique TRNSYS (version 14.1) , permettra de valider les résultats de l'investigation et de faire ressortir les paramètres influent sur l'orientation et son impact sur le confort intérieure. La variation de ces paramètres à permis la recherche de l'orientation optimale ainsi que la couleur et la taille des ouvertures appropriées. Selon l'objectif de la recherche la simulation, s'est limitée à l'évaluation de la température intérieure de la zone d'étude, les températures surfacique intérieure et extérieure du mur extérieur et les quantités de radiations solaires absorbés par le mur extérieur.

Cependant dans le but de chercher l'orientation optimale, une évaluation des différentes orientations a été faite en pivotant l'axe de l'orientation de la face externe suivant plusieurs angles.

Une série de variations telles que l'orientation, la dimension de l'ouverture, la couleur extérieure, système de protection, peuvent facilement déterminer les éléments qui s'avère plus performants et plus intéressants pour améliorer les conditions de confort thermique. ceci a fait l'objet du chapitre sept.

- Enfin une synthèse des résultats des différentes parties avec des recommandations pour les futures recherches . Et pour arriver à concevoir des bâtiments plus performant du point de vue thermique et énergétique, font l'objet du dernier chapitre.

LISTES DES FIGURES :

Figure 1-1 : Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique.	7
Figure 1-2 : Organisation des contenus sur le thème de l'énergie	8
Figure 1-3 : Consommation d'énergie par secteur (période 1980-2000)	11
Figure 1-4 : Consommation de gaz et électricité (en milliers de tonne) en Algérie	13
Figure 1-5 : Consommation électrique de la ville de Constantine en (GWh)	15
Figure 1-6 : Consommation gazière de la ville de Constantine (en Mth).	15
Figure 1-7 : Consommation de gaz à la nouvelle ville Ali Mendjli (UV7) .	16
Figure 1-8 : Consommation d'électricité pour la nouvelle ville Ali Mendjli.	16
Figure 2-1 : Carte du Nord de l' ALGERIE(situation de la ville de Constantine)	21
Figure 2-2 : Les zones climatiques d'été.	22
Figure 2-3: Les zones climatiques d'hiver.	22
Figure 2-4 : Moyenne mensuelle de la durée d'insolation (en heure). Période de 1994-2003	23
Figure 2-5 : Température de l'air extérieur. période « 1990-2000 »	24
Figure 2-6: Humidité relative (%) période « 1990-2000 »	25
Figure 2-7 : Vitesses moyenne du vent (en m/s).	26
Figure 2-8 : Rose des vents pour la ville de Constantine. période 1995-2004	26
Figure 2-9 : Précipitation en(mm) période (1990-2000)	27
Figure 2-10: Carte des pentes de la nouvelle ville –ALI MENDJELI-	30
Figure 2-11 : Fluence du relief du terrain	31
Figure 2-12 : Echanges thermiques entre l'homme et son environnement	34
Figure 2-13 : Abaque pour la détermination de la température résultante	38
Figure 2-14 : Diagramme psychométrique pour la ville de Constantine d'après GIVONI	41
Figure 2-15 : Diagramme psychométrique pour la ville de Constantine d'après S.SZOCOLAY	42
Figure 3-1 : La fusion de quatre noyaux d'hydrogène en des noyaux d'hélium & radiation.	45
Figure 3-2: Le spectre visible du rayonnement solaire	45
Figure 3-3: Orientation des contenus de l'analyse climatique « dans le cas de la composante soleil »	46
Figure 3-4 : Le mouvement annuel de la terre autour du soleil.	47
Figure 3-5: Trajectoires apparentes du soleil au cours de l'année.	48
Figure 3-6 : La latitude d'un lieu	49
Figure 3-7 : La déclinaison du soleil	50
Figure 3-8 : Hauteur et Azimut solaire	51
Figure 3-9 : Diagramme solaire en projection stéréographique pour la latitude 36°(Constantine)	53
Figure 3-10: Diagramme solaire en projection Frontale pour la latitude 36°N.	53
Figure 3-11 : Composants du spectre électromagnétique du soleil.	55
Figure 3-12 : Effets de l'atmosphère sur l'irradiation solaire	55
Figure 3-13 : Rayonnement solaire direct sur une surface.	56
Figure 3-14 : Rayonnement solaire diffus, sur une surface au sol.	57
Figure 3-15 : Rayonnement solaire global sur une surface au sol.	58
Figure 3-16: Variation du rayonnement direct normal avec la hauteur du soleil.	58
Figure 3-17 : Courbes d'ensevelissement de base selon C.S.T.B.	59
Figure 3-18 : Isotherme De Constantine.	62
Figure 3-19 : Diagramme énergétique solaire du plan vertical (courbes iso puissance en W/m ²).	65
Figure 3-20 : Angle d'incidence	66
Figure 3-21 : Angle d'incidence pour une orientation et inclinaison quelconque.	66
Figure 3-22 : Angle d'incidence pour une surface verticale.	67
Figure 3-23 : Angle d'incidence sur une surface horizontale.	67
Figure 3-24 : Irradiation globale mensuelle d'une paroi pour différentes orientations à Constantine	68
Figure 3-25 : Irradiation solaire sur une paroi verticale orientée Sud (azimut mur=0)	69
Figure 3-26 : Irradiation solaire sur une paroi verticale orientée Est (azimut mur= -90)	70
Figure 3-27 : Irradiation solaire sur une paroi verticale orientée Ouest (azimut mur= +90)	70
Figure 3-28 : Irradiation solaire sur une paroi verticale orientée Sud-Est (azimut mur=-45)	71
Figure 3-29 : Irradiation solaire sur une paroi verticale orientée Sud -ouest (azimut mur= +30)	71
Figure 3-30 : Irradiation solaire sur une paroi verticale orientée Nord-Est (azimut mur=-150)	72

Figure 3-31 : Irradiations solaires sur une paroi orienter Nord-est (azimut mur = +150°)	72
Figure 3-32 : Radiations directes pour une surface verticale pour différentes orientations durant un mois chaud de l'année – Juillet- pour la ville de constantine.	73
Figure 3-33 : Radiations directes pour une surface verticale pour différentes orientations durant un mois froid de l'année – Janvier- pour la ville de constantine.	73
Figure 4-1 : Mode de transfert de chaleur à travers une paroi.	77
Figure 4-2 : Définition du déphasage et de l'amplitude de l'onde incidente par une paroi	81
Figure 4-3 : Apport solaire suivant la nature du vitrage et stockage dans l'inertie des murs intérieurs	82
Figure 4-4 : Flux énergétique incident sur une paroi opaque.	84
Figure 4-5 : Effet de l'angle d'incidence sur la densité du flux incident.	85
Figure 4-6 : Radiations solaires globales	86
Figure 4-7: Types de réflexion selon texture	86
Figure 4-8 : Les trois composantes majeures de la lumière solaire	88
Figure 4-9: Gain solaire à travers un simple vitrage.	88
Figure 4-10 :Exposition optimale pour le captage de soleil.	90
Figure 4-11: Le taux de transmission décline rapidement lorsque la valeur de l'angle d'incidence dépasse 50°.	90
Figure 4-12: Angle d'incidence du rayonnement solaire selon l'orientation	91
Figure 4-13: L'absorption, la réflexion et la transmission de la radiation solaire par une simple paroi de verre ordinaire.	91
Figure 4-14 : Comparaison entre fenêtres diversement orientées	92
Figure 4-15: Effet de la dimension du vitrage sur les températures interne	93
Figure 4-16: Stratégies d'ombre.	94
Figure 4-17: Horizontal shadow angle (HSA).	95
Figure 4-18: Vertical shadow angle (VSA).	95
Figure 4-19 : Profondeur et largeur d'une occultation.	95
Figure 4-20 : Occultation naturelle par la végétation.	96
Figure 4-21 : Traitement de la façade OUEST.	96
Figure 4-22 : Régimes de températures intérieures pour différents systèmes d'occultation.	97
Figure 4-23: L'impact de la position d'une brise- soleil Par rapport au vitrage	98
Figure 4-24 : Facteurs solaires de différentes protections solaires pour un vitrage simple.	98
Figure 4-25 : Protection horizontale pour une orientation sud	99
Figure 5-26 : Type d'occultation horizontale.	99
Figure 4-27 : Effet de l'auvent.	100
Figure 4-28 : Variation de facteur de transmission avec l'orientation pour un auvent.	100
Figure 5-29 : Protection verticale pour une orientation est	101
Figure 4-30 : Type de protection verticale.	101
Figure 4-31 : Effet d'un flanc.	102
Figure 4-32 : Variation de Ft avec l'orientation pour un flanc.	102
Figure 4-33: Type de protection combinée	102
Figure 4-34: Définition de la "Hauteur d'occultation" pour le complexe Paroi/Auvent	103
Figure 4-35 : Une paroi verticale SUD est facile à protéger:	103
Figure 4-36 : Protection de la façade SUD entière	104
Figure 4-37 : Angle d'occultation dans le cas d'un écran vertical en position frontale	104
Figure 4-38 : Différentes solutions pour la protection solaire d'une paroi Ouest	105
Figure 4-39 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre Sud	106
Figure 4-40 : Profondeur requise de l'auvent pour l'orientation sud	106
Figure 4-41 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre Sud-est	107
Figure 4-42 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre Sud-ouest	108
Figure 4-43 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre Est	109

Figure 4-44 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre Ouest	109
Figure 4-45 : Protections solaires fixes ou mobiles	110
Figure 4-46 : Effet du vent sur les éléments du bâtiment	112
Figure 4-48 : Effet de l'orientation, direction du vent perpendiculaire à 90°	112
Figure 4-49 : Effet de l'orientation, direction du vent oblique à 45°	112
Figure 4-50 : Régime des flux d'air dans le modèle subdivisés intérieurement d'une manière différente	118
Figure 4-51 : Effet de la ventilation nocturne sur la température d'air intérieure.	118
Figure 5-1 : Exemple de surfaces pour différentes orientations à partir du nord	119
Figure 5-2 : Classe d'orientations pour le climat méditerranéen en été	119
Figure 5-3 : Convention générale d'orientation	119
Figure 5-4 : Repérage des angles par rapport à la normale au plan horizontal	120
Figure 5-5 : Plan vertical orienté vers le sud	121
Figure 5-6 : Plan vertical d'orientation quelconque	122
Figure 5-7 : Intensité du rayonnement solaire sous différentes latitudes	124
Figure 5-8 : Variation de l'intensité solaire reçus des surfaces de différente orientation	125
Figure 5-9 : Influence de l'orientation sur les besoins du logement	125
Figure 5-10 : Détermination de l'orientation optimale	125
Figure 5-11 : Radiations solaires à la latitude 36°17(période de surchauffe et de sous chauffe)	127
Figure 5-12 : Orientation de la façade principale d'un logement PACA	127
Figure 5-13 : Température de surfaces externes d'un mur gris de différentes orientations	
Figure 5-14 : Températures de surfaces externes de mur blanc de différentes orientations	127
Figure 5-15 : Températures de surfaces externes calculées pour janvier sur des murs de différentes orientations et couleurs externes	128
Figure 5-16 : Températures de surfaces externes calculées pour juillet sur des murs de différentes orientations et couleurs externes	128 129
Figure 5-17 : L'orientation et la couleur	130
Figure 5-18 : Effet de la direction du vent sur la distribution de l'air à l'intérieur des chambres	131
Figure 5-19 : Zoning Climatique	132
Figure 5-20 : Les températures autour d'un bâtiment et la nature des surfaces environnantes	133
Figure 5-21 : Angles du soleil & masque d'ombre du modèle d'étude à 9h00,13h00 et 16h00	133
Figure 5-22 : Effet du vent par les différentes dispositions de la construction	136
Figure 5-23 : Effet des éléments du climat sur le site d'étude de la nouvelle ville Ali Mendjeli	136
Figure 5-24 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre du séjour Nord-est	137
Figure 5-25 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre du séjour Sud-est	138
Figure 5-26 : Masque d'ombre de la protection solaire de la fenêtre du séjour Sud-ouest	139
Figure 5-27 : Organisation et orientation des rues pour canaliser l'air frais	139
Figure 5-28 : Masque de type de vis-à-vis	140
Figure 5-29 : Exemple dans l'architecture traditionnelle du Yémen	140
Figure 5-30 : Réponse vernaculaire à la protection solaire avec un effet d'auvent « la treille »	140
Figure 5-31 : Exemple de Kairouan (Tunisie)(utilisation de la chaud en enduit extérieure)	141
Figure 5-32 : Les façades blanches pour les climats chauds l'été(la fondation de MIRO a Barcelone)	141
Figure 5-33 : Occultation fixe par auvent « exemple de la Tunisie »	142
Figure 5-34 : Appareillage de briques sur façades, Yémen	
Figure 5-35 : Crépissage en terre « le relief assure une ombre assez importante »	142
Figure 5-36 : Protection solaire(auvent bien dimensionné au sud)et appareillage de pierre, et la ventilation « éléments passifs pour le contrôle solaire » réalisation de JOSE-LUIS	143
Figure 5-37 : Le traitement de la façade SUD et la façade EST , Exemple de l'immeuble de la société mutuelle d'assurance incendie du Nord-ouest de los Angeles par RICHARD NEUTRA	143 144
Figure 5-38 : Le vocabulaire de l'architecture high-tech (exemple de la façade Ouest entièrement doublée en métal perforé	144
Figure 5-39 : Le contrôle solaire par des brises solaires en façade Est et Ouest	
Figure 5-40 : La façade Ouest protéger par des éléments verticaux formant un angle de 45°avec le plan de la façade « palais de l'association des filateurs à Ahmadabad, par le CORBUSIER »	145

Figure 5-41 : Exemple d'effet d'auvent ; les étages en encorbellement de la cité des étudiants de l'université de Constantine, par KENZO TANGE	145
Figure 5-42 : Des persiennes utilisées dans les régions méditerranéennes pour le contrôle solaire et la ventilation.	146
Figure 5-43 : Exemple de Moucharabiehs à Carthage en Tunisie	146
Figure 5-44 : Type de moucharabiehs d'une maison du Caire(Egypte)	147
Figure 5-45 : Principe d'aération d'une fenêtre composée, principe de la jarre d'eau.	148
Figure 6-1: Plan d'urbanisme de la nouvelle ville ALI-MENJELI -Constantine	
Figure 6-2 : Orientations des trois parois extérieures des séjours dans lesquelles se déroulent les mesures.	149 150
Figure 6-3 : Plan de masse du site d'étude (UV7). Ville nouvelle ALI MENJELI Constantine.	151
Figure 6-4 : Distribution spatiale du logement étudié.	151
Figure 6-5 : Façade principale du bâtiment collectif.	154
Figure 6-6 : Position des appareils de mesures au niveau du séjour	155
Figure 6-7 : Schéma de prise de mesures surfaciques (façade du mur extérieur)	157
Figure 6-8 : Dimensions du séjour	157
Figure 6-9 : Emplacement du chauffage	
Figure 6-10: Variation de la température intérieure et extérieure, orientation Nord-est Constantine période d'été.	159
Figure 6-11 : Variation de l'humidité relative dans le séjour orienté Nord-est. Constantine période d'été.	159 160
Figure 6-12 : Gradient thermique de la paroi extérieur.	
Figure 6-13 :Variation des températures surfacique interne et externe, pour l'orientation Sud-est. Constantine, période d'été.	161
Figure 6-14 : Variation de la température intérieure et extérieure, orientation Sud-est. Constantine période d'été.	162
Figure 6-15 : Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure du séjour orienté Sud-est. Constantine période d'été.	162
Figure 6-16 : Variation de la température intérieure et des températures surfaciques interne et externe pour le séjour orienté Sud-est. Constantine, 2004 [période estivale]	163
Figure 6-17 : Variation de la température intérieure et extérieure pour le séjour orienté Sud-ouest. Constantine,2004 [période d'été].	165
Figure 6-18 : Variation de la température surfacique interne et externe pou l'orientation Sud-ouest. Constantine,2004 [période d'été].	166
Figure 6-19 : Comparaison de la variation de la température intérieur pour les trois orientation [période estivale]. Constantine,2004 .	167
Figure 6-20 : Comparaison des températures surfaciques extérieures des trois orientations [période estivale].	168
Figure 6-21 : Comparaison des températures surfaciques intérieures des différentes orientations. Constantine, 2004 [période d'été]	169
Figure 6-22 : Variation de l'écart de la température pour les différentes orientations [période d'été]	170
Figure 6-23 : Variation de la température intérieure et extérieure pour le séjour orienté Nord-est. [Période d'hiver] Constantine, 2004.	171
Figure 6-24 : Variation de l'humidité relative dans le séjour Nord-est .[Période d'hiver] Constantine, 2004.	171

Figure 6-25 : Variation de la température intérieure et surfacique intérieure et extérieure pour le séjour orienté Nord-est. [période d'hiver] Constantine,2004.	172
Figure 6-26 : Variation de la température intérieure et extérieure pour le séjour orienté Sud-est [période d'hiver] Constantine, 2004.	173
Figure 6-27 : Variation de l'humidité relative dans le séjour orienté Sud-est. [Période d'hiver] Constantine, 2004.	173
Figure 6-28 : Variation de la température intérieure et surfacique intérieure et extérieure, pour le séjour orienté Sud-est. [Période d'hiver] Constantine, 2004.	174
Figure 6-29 : Variation de la température intérieure et surfacique intérieure et extérieure pour le séjour orienté Sud-ouest.[période d'hiver] Constantine, 2004.	174
Figure 6-30 : Variation de l'humidité relative dans le séjour orienté sud-ouest.[Période d'hiver] Constantine, 2004.	175
Figure 6-31 : Variation de la température intérieure et de surfaces int. et ext. pour le séjour orienté Sud-ouest. [période d'hiver] Constantine, 2004.	175
Figure 6-32 : Comparaison des températures intérieures des trois séjours [période d'hiver] Constantine, 2004.	176
Figure 6-33 : Comparaison des températures surfaciques int. et ext.[période d'hiver] Constantine, 2004.	177
Figure 6-34 : Comparaison Des Ecarts Entre Température Intérieure Et Extérieure [période d'hiver] Constantine, 2004.	177
Figure 6-35 : Comparaison des températures Int. et Ext. avec les limites de confort.[période d'été]	178
Figure 6-36 : Comparaison des températures intérieures des trois séjours et les limites sup. et inf de confort. [Période d'hiver] Constantine 2004.	179
Figure 7-1: Azimut des différentes orientations simulées.	182
Figure 7-2 : Schéma de déroulement de la simulation	183
Figure 7-3 : Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-est [période d'été] journée du 20-07-2004.	184
Figure 7-4 : Comparaison des températures surfaciques mesurées et simulées pour l'orientation Sud-est. [période d'été] journée du 20-07-2004	184
Figure 7-5 : Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Nord-est. [période d'été] journée du 20-07-2004	185
Figure 7-6: Comparaison des températures surfaciques mesurées et simulées pour l'orientation Nord-est. [Période d'été] journée du 20-07-2004.	185
Figure 7-7: Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-ouest. [période d'été] journée du 20-07-2004	186
Figure 7-8 : Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-ouest. [période d'été] journée du 20-07-2004	186
Figure 7-9 : Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-est [période d'hiver] journée du 07-01-2005	187
Figure 7-10 : Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-est. [période d'hiver] journée du 07-01-2005	187
Figure 7-11 : Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Nord-est. [Période d'hiver] journée du 07-01-2005.	188

Figure 7-12 : Comparaison des températures surfaciques mesurées et simulées pour l'orientation Nord-est. [période d'hiver] journée du 07-01-2005	188
Figure 7-13 : Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-ouest. [période d'hiver] journée du 07-01-2005	188
Figure 7-14 : Comparaison des températures surfaciques mesurées et simulées pour l'orientation Sud-ouest. [Période d'hiver] journée du 07-01-2005.	189
Figure 7-15 : Comparaisons des températures intérieures des trois orientations et quantité d'énergie absorbée par la paroi externe [période d'été]	190
Figure 7-16 : Comparaisons des températures intérieures des trois orientations et la radiation reçue par la face externe ce la paroi (période d'hiver)	190
Figure 7-17 : Effet de l'orientation sur la température intérieure [période d'été]	191
Figure 7-18 : Effet de l'orientation sur la température intérieure [période d'hiver]	192
Figure 7-19 : Effet du changement de l'angle d'azimut sur la température intérieure	192
Figure 7-20 : Comparaison des températures surfaciques extérieures simulées pour les différentes orientations Période d'été.	193
Figure 7-21 : Totale de radiation solaires absorbé par la paroi extérieure en (kJ/m ² .h) suivant l'orientation. Période estivale	194
Figure 7-22 : Totale de radiation solaires absorbé par la paroi extérieure en (kJ/m ² .h) suivant l'orientation. Période hivernale.	195
Figure 7-23 : Le besoin en chauffage suivant l'orientation(en kJ).	196
Figure 7-24 : Le besoin de climatisation suivant l'orientation (en kJ).	197
Figure 7-25: Températures surfaciques des différentes orientations pour une couleur sombre (période d'été)	198
Figure 7-26 : Températures surfaciques des différentes orientations pour une couleur moyenne(période d'été)	199
Figure 7-27 : Températures surfaciques des différentes orientations pour une couleur claires (période d'été)	199
Figure 7-28 : Températures surfaciques des différentes orientations pour une couleur sombre (période d'hiver)	200
Figure 7-29 : Températures surfaciques des différentes orientations pour une couleur moyenne(période d'hiver)	200
Figure 7-30 : Températures surfaciques des différentes orientations pour une couleur claires (période d'hiver)	201
Figure 7-31 : Effet de la couleur sur la température intérieure (pour les orientations Est,Ouest et Sud	202
Figure 7-32 : Influence de la taille de la fenêtre sur la température intérieure.	203
Figure 7-33 : Effet de la protection de l'ouverture	204
Figure 7-34 : Effet de l'occultation de la fenêtre sur l'abaissement de la température intérieure pour différentes orientations (période d'été)	204
Figure 7-35 : Effet de la protection de la façade du rayonnement solaire.	205
Figure 7-36: Effet de la ventilation sur la température intérieure(orientation sud ouest).	206
Figure 7-37 : Effet de la ventilation sur l'abaissement de la température intérieure pour les trois orientations cardinales (période d'été)	206

LISTES DES TABLEAUX :

Tableau 1-1 : Evolution de la consommation énergétique de l'homme de la préhistoire à nos jours.	9
Tableau 1-2 : Etat de la consommation de 1925 à nos jours par grandes régions en million de tonnes	10
Tableau 1-3 : Consommation d'énergie en million de tonnes équivalentes pétrole par secteur(tep)	10
Tableau 1-4 : Consommation dans le secteur ménager en Algérie (en milliers de tonne) .	12
Tableau 1-5 : Evolution de l'activité gazière en Algérie d'après BOUTARFA	12
Tableau 1-6 : Evolution de la consommation électrique en algérie.	12
Tableau 1-7 : Consommation d'électricité par habitant (en kWh)	13
Tableau 2-1 : Echelle de Beaufort.	25
Tableau 2-2 : Vent : vitesse (m/s) et direction (période 1990-2000)	26
Tableau 2-3 : Données météorologiques de la ville de Constantine (période de1990 – 2000)	28
Tableau 2-4 : Effets des changements de température dans le corps humain	34
Tableau 3-1 : Calcul mathématique de la position solaire à Ouargla le 21 juin à 10h	51
Tableau 3-2 : Valeur du rayonnement solaire en fonction de la hauteur solaire	58
Tableau 3-3 : Hauteur et Azimut du soleil à la latitude de Constantine(36°17)	63
Tableau 3-4 : Pourcentage de rayonnement intercepté en fonction de l'angle d'incidence	66
Tableau 4-1 : Coefficient d'absorption pour différents matériaux et différentes couleurs	79
Tableau 4-2 : Coefficient de réflexion suivant le plan récepteur	85
Tableau 4-3 : Le coefficient d'absorption suivant la couleur	87
Tableau 4-4 : Gain de chaleur par divers type de verre en pourcentage de rayonnement	89
Tableau 4-5 : Facteurs solaires des différents types de protections mobiles	97
Tableau 4-6 : Le facteur de F d'après Mazria	99
Tableau 4-7 : Hauteur d'occultation d'une paroi par auvent	103
Tableau 4-8 : Hauteur d'occultation d'une paroi dans le cas d'un écran vertical	104
Tableau 4-9 : Forme de la protection solaire selon l'orientation	105
Tableau 4-10 : Valeur du coefficient de convection thermique par des surfaces verticales	112
Tableau 4-11 : Effet de la ventilation transversale sur la vitesse d'air moyen intérieur	114
Tableau 5-1 : Azimut de la paroi verticale suivant l'orientation	120
Tableau 5-2 : Rapport calorifique des apports de rayonnement et de la température externe sur une paroi verticale selon l'orientation	123

LISTES DES PLANCHES :

Planche 5-1 : Espacement entre bâtiments au niveau du site d'étude de l'UV7	131
Planche 5-2 : Largeurs des voies de circulation au niveau de l'UV7	134
Planche 5-3 : Disposition des bâtiments suivant différentes orientations	134
Planche 5-4 : Disposition des mêmes espaces dans différentes orientations	134
Planche 5-5 : Disposition des mêmes espaces différentes orientations (deuxième parcelle de l'UV7)	135
Planche 5-6 : Elément architectural utilisé pour la façade du site d'étude de la nouvelle ville et type de protection utilisé pour se protéger des rayons solaires intenses.	135
Planche 5-7 : Type d'occultation utilisée pour les séjours du cas d'étude	136
Planche 6-1 : Thermographes.	152
Planche 6-2: Hygrographes.	152
Planche 6-3 : Thermocouple pour mesure de température surfacique interne et externe.	153
Planche 6-4: Mise en place de l'appareille. source : Auteur,2004	153
Planche 6-5: Thermocouple utilisé pour mesure de températures surfaciques (intérieure et extérieure) et de la température de l'air.	153
Planche 6-6 : Thermomètre ordinaire	154
Planche 6-7 : Thermo hydrographe	154

ANNEXE 1

Différentes Unités :

1- les différentes unités d'énergies : D'après les tableau de conversion de (B. GIVONI ,1979 et CHITOUR , 1984, CNERIB , 1998)

- **calorie**= la calorie est l'unité de mesure de la chaleur, c'est la quantité de chaleur qui est nécessaire de fournir, pour élever la température d'un gramme d'eau d'un degré entre 15° et 16°

$$1 \text{ kilocalorie} = 1000 \text{ calorie} = 4185 \text{ joules}$$

- **watt (w)** = le watt est une unité de mesure de la puissance, c'est l'énergie d'un joule en une seconde. Un kilowatt est égale à 1000 watt
- kilowatt heure= (kWh) cette unité mesure l'énergie mise en jeu en une heure par une puissance de 1000 watt

- **joule (j)** = le joule est l'unité légale de mesure du travail, d'énergie et de quantité de chaleur, il est équivalent au travail produit par une force de un Newton (N)

$$1 \text{ kJ} = 0.239 \text{ kcal} = 0.948 \text{ Btu} = 0.000278 \text{ kWh}$$

Btu = British thermal unit

- **T.E.P** = désigne «tonne équivalent pétrole», elle représente la quantité d'énergie contenue dans une tonne de pétrole standard, c'est l'unité la plus fréquemment utilisée pour mesurer la production et la consommation d'énergie.

$$1 \text{ T.E.P} = 10000 \text{ thermies} = 4 \text{ millions de kilocalories.}$$

- **Thermie** = unité d'énergie qui représente 1000 Kcal et 1.16 kWh

2- les prix des énergies domestiques en Algérie :

D'après les données de SONELGAZ, 2004.

- Pour l'électricité ; dépend de la quantité d'électricité consommée si elle est inférieure à **125kwh** le prix d'un kWh vaut **17.30DA** , si elle est supérieure alors le kWh de plus vaut **40.65DA**
- Pour le gaz : si la quantité du gaz consommé est inférieures à **1125 thermies**, le prix d'une thermie vaut **1.64DA** . si elle est supérieure à cette valeur alors le kWh de plus vaut **3.16DA**.

3- Unités de températures : D'après les tableau de conversion de (CNERIB , 1998)

Degré celcius (°C) : anciennement centigrade. Les points de références sont :

- 0°C température de la glace fondante,
- 100°C température de l'eau bouillante à la pression atmosphérique normale.

Kelvin(°K) : unité du système international SI .

$$1^\circ\text{K} = 273.15^\circ\text{C}$$

Degré Fahrenheit (°F) unité utilisée dans les pays de langue anglaise.

$$1^\circ\text{F} = 0.55^\circ\text{C}$$

$$\theta^\circ\text{F} = (\theta^\circ\text{C} / 0.55) + 32$$

ANNEXE 2

A/ METHODE DE MAHONEY



LOCALISATION DE LA VILLE DE CONSTANTINE:

LOCALISATION	NORD- EST
LONGITUDE	7° EST
LATITUDE	36° 17' NORD
ALTITUDE	675 m



TEMPERATURE DE L'AIR EN °C

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Température mensuelle max.	11.6	13.3	15.9	18.4	25.0	30.1	33.6	34.1	29.3	23.2	17.1	12.9
Température mensuelle min	2.8	2.8	4.6	6.3	11.1	15.5	17.8	18.9	16.1	12.1	7.3	4.0
portée	8.8	10.5	11.3	12.1	13.9	14.6	15.8	15.2	13.2	11.1	9.8	8.9

$$AMT = (H + L) / 2$$

$$AMR = H - L$$

T max. = 34.1	AMT = 18.45
T min = 2.8	AMR = 31.2

Humidité max.	93.3	94.33	92.5	91.16	87.33	82.5	74.16	75.6	87.66	90.66	91.16	92.6
Humidité min	56.66	53.16	44.66	41	37	30.5	25	25.5	35.66	43	49.16	55
moyenne	74.98	73.74	68.58	66.08	62.16	56.5	49.58	50.55	61.66	66.83	70.16	73.8
Groupe d'humidité	4	4	3	3	3	3	2	2	3	3	4	4



HUMIDITE RELATIVE EN %

Tout va être Ensuite Basé Sur Les Principes Suivants De MAHONEY :

Groupe d'humidité: R moyenne	1	moins de	30%
	2	entre	30 – 50%
	3	entre	50 – 70%
	4	plus de	70



PRECIPITATIONS ET VENTS:

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	total
Précipitations en mm	65	53	48	51	42	29	9	11	35	41	53	81	518



LIMITES DE CONFORT :

Groupe d'humidité	AMT plus de 20°C		AMT 15-20°C		AMT moins de 15°C	
	<i>jour</i>	<i>nuit</i>	<i>jour</i>	<i>nuit</i>	<i>jour</i>	<i>nuit</i>
1	26-34	17.25	23-32	14-23	21-30	12-21
2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
3	23-29	17.23	21-28	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17.21	20-25	14-20	18-24	12-18

a- diagnostique de température :

C / FROID (cold)
O / CONFORT (comfort)
H / CHAUD (hot)

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température mens. max.	11.6	13.3	15.9	18.4	25.0	30.1	33.6	34.1	29.3	23.2	17.1	12.9
Confort jour : sup.	25	25	28	28	28	28	30	30	28	28	25	25
Confort jour : Inf.	20	20	21	21	21	21	22	22	21	21	20	20
Température mens. min	2.8	2.8	4.6	6.3	4.1	15.5	17.8	18.9	16.1	12.1	7.3	4.0
Confort nuit : sup.	20	20	21	21	21	21	22	22	21	21	20	20
Confort nuit : inf.	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Confort thermique: jour	C	C	C	C	O	H	H	H	H	O	C	C
Confort thermique: nuit	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C

b-indicateurs :

Humidité	H1												
	H2												
	H3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Arid	A1					X	X			X	X		
	A2							X	X				
	A3	X	X	X	X							X	X

0
0
12
4
2
6

c- application :

	indicateurs	Confort thermique		pluviométrie	Groupe d'humidité	différence moyenne
		jour	nuit			
Mouvement essentiel de l'air	H1	H			4	
		H			2-3	Moins de 10°
Mouvement indésirable de l'air	H2	O			4	
Quantité de pluie nécessaire	H3			Plus de 200mm		
Capacité thermique nécessaire	A1				1-2-3	Plus de 10°
Température extérieure désirable	A2		H		1-2	
		H	O		1-2	Plus de 10°
Protection contre le froid	A3	C				

**TOTAL DES INDICATEURS :**

H1	H2	H3	A1	A2	A3
0	0	12	4	2	6

**SPECIFICATIONS RECOMMANDEES:****1-Disposition / plan de masse**

H1	H2	H3	A1	A2	A3			
			0-10			√	1	Orientation Nord et sud (axe long est-ouest)
			11,12		5-12		2	Planning compact
					0-4			

2-Espacement :

11,12							3	Ouverture des espaces pour pénétration de brise
2-10							4	Protection contre vent chaud et froid
0,1						√	5	Disposition d'immeuble

3-Mouvement d'air :

3-12							6	Chambres individuelles permettant la circulation d'air
1-2			0-5				7	Chambres doubles permettant une provision temporaire de l'air
			6-12					
0	2-12						8	Pas de mouvement d'air
	0-1					√		

4-Ouvertures :

			0,1		0		9	Large ouvertures 40-80%
			11,12		0,1		10	Petites ouvertures 10-20%
Autres conditions						√	11	Moyennes ouvertures 20-40%

5-Murs :

			0-2				12	Murs légers
			3-12			√	13	Murs intérieurs et extérieurs épais

6-Toit :

			0-5				14	Toiture légère
			6-12			√	15	Toiture épaisse

7- Terrasse :

				2-12		√	16	Espace demandé pour terrasse
--	--	--	--	------	--	---	----	------------------------------

8-Protection contre la pluie :

			3-12				17	Protection nécessaire contre les pluies
--	--	--	------	--	--	--	----	---

TOTAL DES INDICATEURS :

TOTAL DES INDICATEURS					
HI	H2	H3	A1	A2	A3
0	0	12	4	2	6

1- Dimensions des ouvertures :

			0-1		0		1	Large :40-80%
					1-12		2	Moyennes : 25-40%
			2-5					
			6-10			√	3	Petites : 15-25%
			11-12		0-3		4	Très Petites : 10-20%
					4-12		5	moyennes : 25-40%

2- Positions des ouvertures :

3-12							6	Au Nord et au sud, murs s'élevant face au vent
			0-5					
			6-12				7	Hautes ouvertures dans les murs intérieurs
0	2-12							

3- Protection des ouvertures :

					0-2		8	Exclure rayonnement directe
			2-12				9	Protection contre la pluie

4- Murs et planchers :

			0-2				10	Capacité thermique faible
			3-12			√	11	Exposés plus de 8h

5- Toits :

10-12			0-2				12	Surface réfléchive de lumière
			3-12				13	Lumière quand c'est l'ensoleillement
0-9			0-5					
			6-12			√	14	Exposés plus de 8h

6- Trait extérieur :

				1-12		√	15	Espace pour terrasse
		1-12					16	Drainage adéquat des pluies

ANNEXE 3

METHODE DE SZOCOLAY.Steeve**1- Détermination De La Zone De Confort :****a - Température moyenne annuelle :**

$$T_m = \sum tm/12 = \underline{15.99 \text{ °C}}$$

b - Température neutre :

$$T_n = 17,6 + (0.31 \times T_m)$$

$$T_n = \underline{22.55 \text{ °C}}$$

c - Limite de la zone de confort :

$$T1 = T_n + ((A_{hn} - 12) \times 0.025 \times (T_n - 14)) - 2$$

$$T1 = \underline{19.86 \text{ °C}}$$

$$T2 = T1 + 4 = 25.40 + 4$$

$$T2 = \underline{23.86 \text{ °C}}$$

(Le point 1 & 2 correspondant à la ligne d'humidité absolue 12 g/Kg)

$$T3 = T1 + 0.2 (T1 - 14)$$

$$T3 = \underline{21.03 \text{ °C}}$$

$$T4 = T2 + 0.2 (T2 - 14)$$

$$T4 = \underline{25.83 \text{ °C}}$$

(Le point 3 & 4 correspondant à la ligne d'humidité absolue 4 g/Kg)

2 - Détermination de la zone de contrôle potentiel pour les périodes froides :

(Zone de chauffage solaire passif)

$$T5 = T_n + 0.36 - 0.0025 \times H_v$$

$$T5 = \underline{13.58 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$H_v = 3732 \text{ watt. h/m}^2 \text{ }^1$$

(H_v est la moyenne journalière totale d'irradiations solaires d , une surface verticale sud pour le mois le plus froid

(Le point 5 correspond à la ligne de saturation HB = 100%)

3 - Détermination de la zone de contrôle potentiel pour les périodes chaudes :

a - Zone d'effet de masse :

$$d T_m = T_{\text{moy max.}} - T_{\text{moy min.}} \quad (\text{pour le mois le plus chaud})$$

$$d T_m = 34.1 - 18.9$$

$$d T_m = \underline{15.2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$T6 = T_2 + 0.5 \times d T_m = 25.97 + 0.5 \times 12.90$$

$$T6 = \underline{31.76 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

(Le point 6 correspond à la ligne d'humidité absolue 12g / Kg)

$$T7 = T6 - 0.05 (T6 - 14)$$

$$T7 = \underline{30.87 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

(Le point 7 correspond à la ligne d'humidité absolue 14g / Kg)

$$T8 = T6 - 0.2 (T6 - 14)$$

$$T8 = \underline{28.20 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

(Le point 8 correspond à la ligne d'humidité absolue 4g / Kg)

et la limite d humidité la plus élevée correspond à la courbe

d'HR du point 1

b - Zone d'effet de masse avec ventilation nocturne :

$$T9 = T_2 + 0.8 (d T_m) = \underline{36.5 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

(Le point 9 correspond à la ligne d'humidité absolue 12g / Kg)

$$T10 = T9 - 0.05 (T9 - 14) = \underline{35.37 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

(Le point 10 correspond à la ligne d'humidité absolue 14g / Kg)

$$T11 = T9 - 0.05 (T9 - 14) = \underline{35.37 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

(Le point 11 correspond à la ligne d'humidité absolue 4g / Kg)

c- Zone de ventilation naturelle (Mouvement d'air sur la surface de peau)

$$T12 = T_2 + 5 = \underline{28.86 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

(Le point 12 correspond à la ligne d'humidité absolue 12g / Kg)

$$T13 = T12 + 0.1 (T12 - 14) = \underline{30.34 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

(Le point 13 correspond à la ligne d'humidité absolue 4g / Kg)

$$T14 = T1 = \underline{19.86 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$T15 = T12 - 0.18 (T12 - 14) = \underline{26.18 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

(Le point 14 & 15 seront localisés sur la courbe de 90% d'humidité relative)

¹ -M.CAPDROU -ATLAS SOLAIRE DE L'ALGERIE (tome 2) aspect énergétique.....p.102

d- Zone de refroidissement évaporatif direct :

$$T16 = T_n + 12 = \underline{34.55 \text{ °C}}$$

Les limites supérieures et inférieures de cette zone sont tracées à partir des lignes de températures humides des points 1 & 2

E - Zone de refroidissement évaporatif indirect :

$$T17 = T_n + 15 = \underline{37.55 \text{ °C}}$$

La limite supérieure de cette zone correspond à la ligne de 14 g / Kg de (HA)

A partir des données climatiques calculées suivant la méthode de SZOCOLAY on peut présenter les différentes zones; chaque mois est représenté par une ligne entre deux points :

- La température moyenne maximale mensuelle avec l'humidité relative minimum.
- La température moyenne mensuelle avec l'humidité relative maximum.

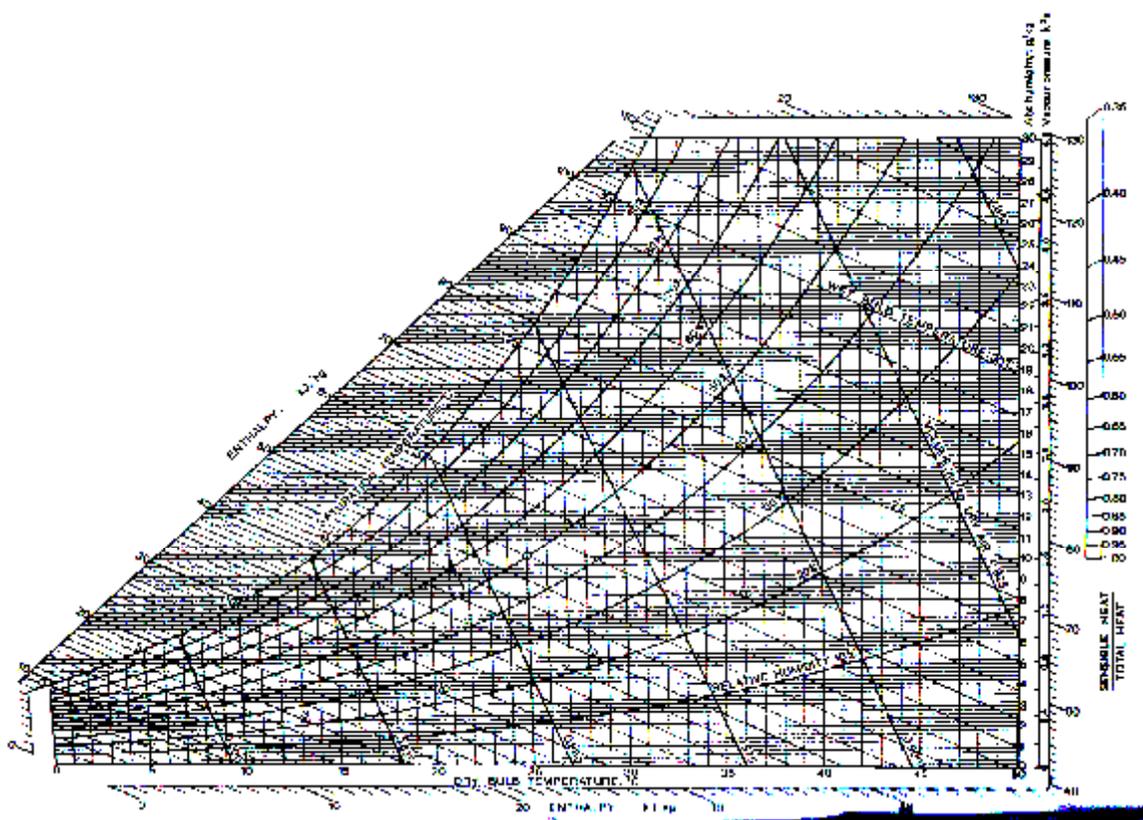


Figure A-1 :le diagramme psychométrique complet (par la permission de l'institutte australienne de refrigairation,air cooling and heating)

ANNEXE 5

Aspect Géométrique Du Soleil**Déclinaison Du Soleil**

C est l'angle qui est formé par la direction du soleil et le plan équatorial

$$\delta = 23.45 (\sin (280.1 + 0.9863 n))$$

ou **n** est le **n**ème jour de l'an

La Position Du Soleil

Cette position est déterminée par :

- ✓ **l'azimut** cet angle est compté de 0° à 360° de gauche vers la droite de l'observateur. l'azimut au coucher ou au lever se calcule par la formule :

$$\cos \text{azimut} = \sin \text{déclinaison} / \cos \text{latitude}$$

on calcule l'azimut en général par la formule :

$$\sin \text{azimut} = \sin \omega \cos \delta / \cos h \quad \text{ou:}$$

ω est l'angle horaire

δ est la déclinaison

h est la hauteur solaire
(altitude solaire)

- ✓ **la hauteur solaire** cette hauteur au cours de la journée peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \omega \cos \delta$$

h est la hauteur du soleil à une heure donnée

φ est la latitude du lieu

ω est l'angle horaire

δ est la déclinaison du soleil

- ✓ **l'angle horaire** est compté dans le sens rétrograde (dans le sens du mouvement apparent du soleil) il est nul au moment du passage du soleil au méridien. Il se calcule au biais de cette formule :

ANNEXE 6

Isotherme de Constantine :**Détermination de la température équivalente :**

Pour cela il faut tirer des tableaux des données climatiques, la température sèche maximale et l'humidité relative minimale.

Détermination des températures équivalentes aux heures synoptiques :

Sur le diagramme (hourly temperature calculator) figure., à l'aide d'une ligne droite, on doit joindre la température équivalente minimale et la température équivalente maximale de chaque mois, celle-ci va coïncider avec les lignes des heures. On fait la lecture pour chaque deux heures, on aura comme résultats le tableau suivant :

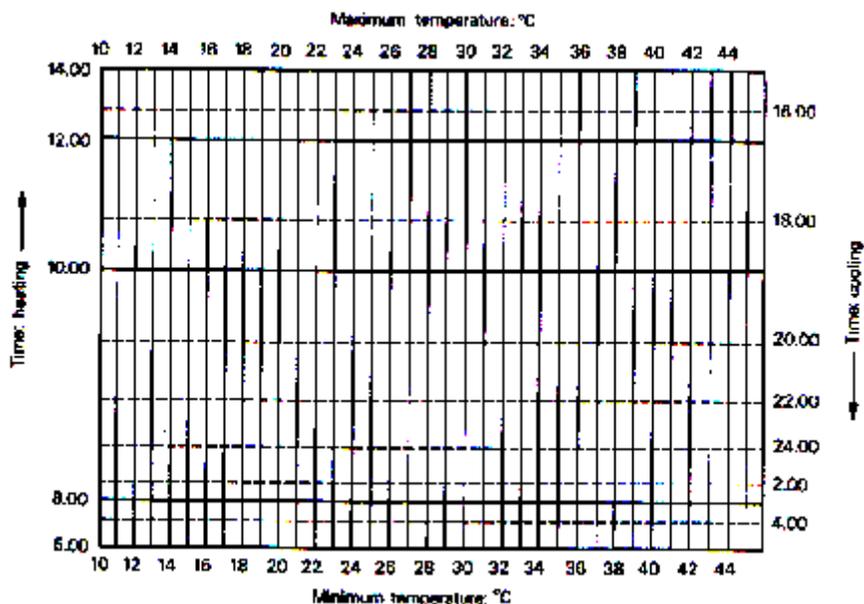


Figure A-2 : hourly temperature calculator

Dessin de l'isotherme :

Sur le graphe qui comporte les mois en abscisse, et les heures en ordonnées, on met les températures équivalente aux heures synoptiques, ensuite à l'aide d'une ligne on relie les points de même température (5°C , 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C..)

On obtient l'isotherme qui nous permis de déterminer les différents zones de surchauffe, de confort, de chauffe , en fonction des tranches horaires et des mois .

	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin	Juil	Aou.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
0.00	4.5	5.1	7.1	9.2	14.2	18.7	21.1	22	19	14.6	9.3	5.9
2.00	4.1	4.5	6.3	8.3	13.3	17.6	20	21.1	18.1	13.9	8.8	5.3
4.00	3.3	3.6	5.4	7.4	12.3	16.5	18.8	19.9	17	13	7.9	4.8
6.00	2.7	2.7	4.6	6.6	11.3	14.4	17.9	18.6	16	12.2	5.1	4
8.00	3.9	4	5.8	7.8	11.9	16.1	19.4	20.4	17.5	13.4	8.3	5
10.00	7.6	8.6	10.7	13	18.8	23.5	26.2	27.1	23.1	18.2	12.6	8.9
12.00	10.2	11.8	14.1	16.6	23	28.1	30.9	31.9	27.2	21.6	15.7	11.2
14.00	11.6	13.3	15.8	18.3	25	30.2	33.4	34.1	29.1	23.1	17	12.6
16.00	10.8	12.5	14.8	17.4	23.9	28.9	31.9	32.8	28.1	22.3	16.2	11.9
18.00	8.6	9.8	12	14.4	20.3	24.2	28	28.8	24.6	19.4	13.8	9.6
20.00	6.3	7	9.1	11.2	16.6	21.2	23.8	24.7	21.2	16.6	11.1	7.5
24.00	5.3	5.8	7.9	10	15.2	19.7	22.2	21.2	19.9	15.5	10.2	6.6

Tableau A-1 : Tableau des valeurs des températures horaire calculer à partir de la calculatrice.

Détermination de la zone de surchauffe :

On doit déterminer la position du soleil pendant cette période de surchauffe, en utilisant les diagrammes de la course solaire et en reportant dessus les limites de cette zone.

A partir de l'isotherme on peut déterminer la zone de surchauffe ou on prend les point critique des mois de décembre à juin (A) puis la deuxième isotherme critique de juin jusqu'à décembre (B)

A partir de ces deux lignes critiques on peut tracer la limite inférieure d'occultation (la où le soleil doit être éviter) pour la ligne supérieure on doit occulter tous les heures du mois de juin.

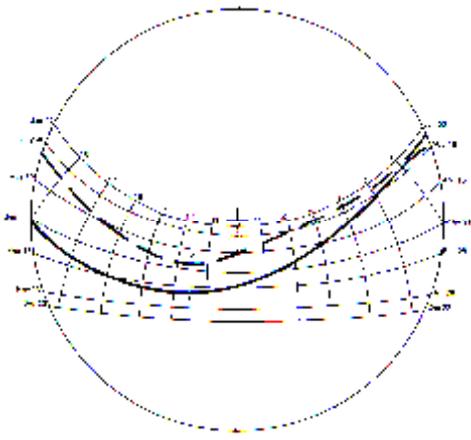


Figure A-4 isotherme critique transférer sur le diagramme solaire

A : de décembre à juin et B : de juin à décembre

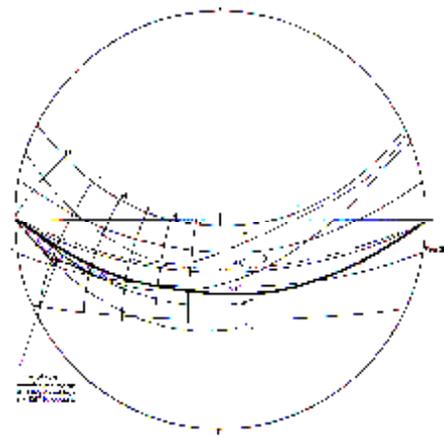


Figure A-3 détermination de la limite d'occultation (zone de surchauffe)

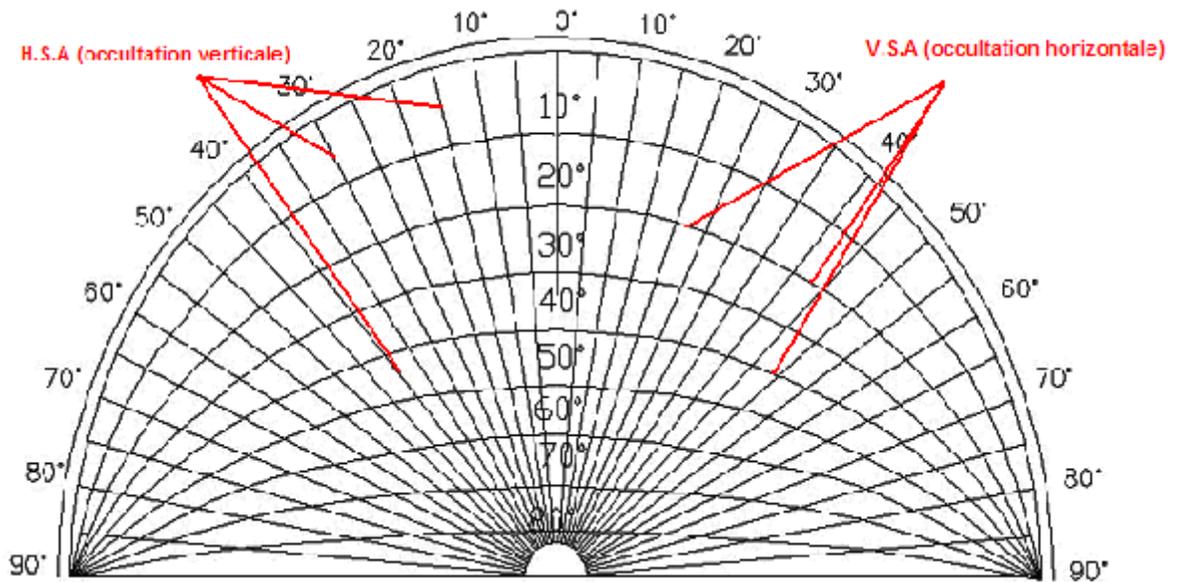


Figure A-5 : indicateur d'occultation
Source : Auteur

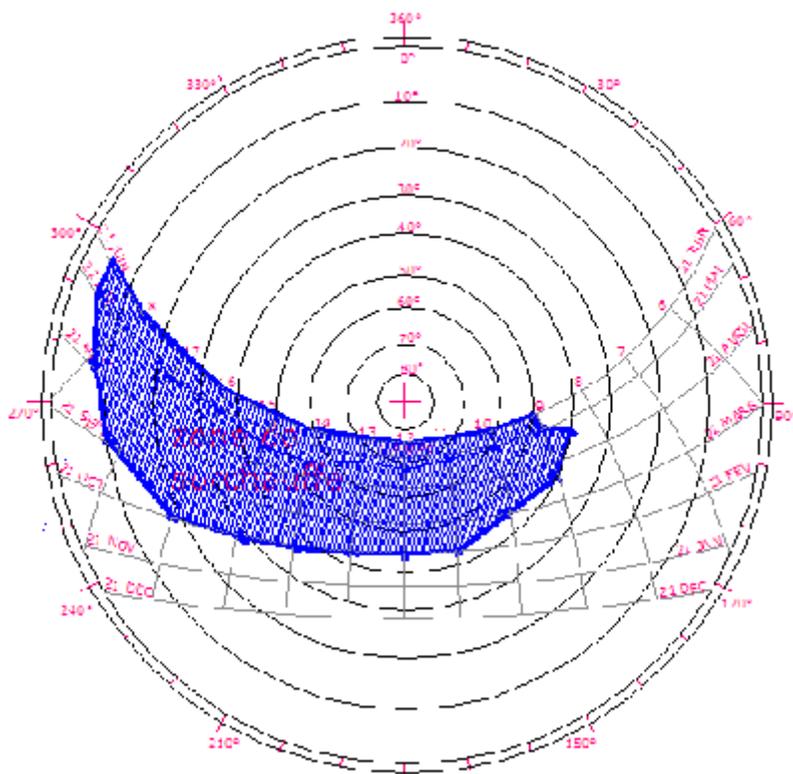
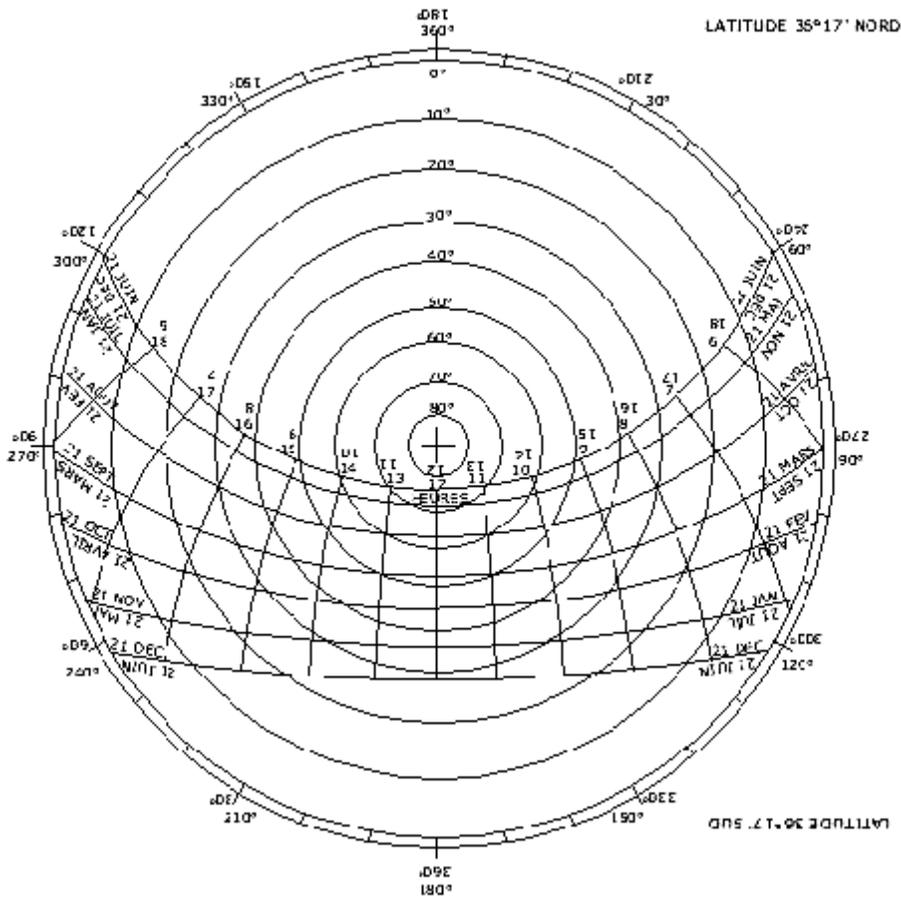


Figure A-6: Zone de surchauffe pour la latitude 36°17'

ANNEXE 7

Relevés des températures(Int, surf_{int.}, surf_{ext.} ext.) et des humidités relatives

1- relevés des températures et humidités relatives horaires recueillies auprès de la station météorologique de Constantine, période estivale :

Tableau 1

H	17Juillet		18Juillet		19Juillet		20Juillet		21Juillet		22 Juillet			
	T°C	Hr%	T°C	Hr%	T°C	Hr%								
00	21.5	65	23.6	54	23.6	51	24.9	52	23.9	72	23.9	50	23.57	57.33
02	20.2	65	23.5	55	23.5	60	21.9	63	22.7	78	21.6	58	22.23	63.17
04	18.4	67	23.7	53	23.7	64	20.1	69	21.5	78	21.2	60	21.43	65.17
06	24.5	46	23.9	56	23.9	59	22.9	62	22.8	75	21.1	65	23.18	60.50
08	30	34	29.2	41	29.2	38	28.5	49	28.8	56	28.2	41	29.00	43.17
10	32.5	34	35.1	26	35.1	26	33	36	34.4	39	34.4	26	34.08	31.17
12	34.5	28	38.1	20	38.1	22	35	28	36.3	26	37.3	21	36.55	24.17
14	34.8	27	30.0	36	30.0	27	36.4	34	37.1	27	38	19	34.38	28.33
16	35	25	34.0	30	34.0	38	35	38	35.6	23	36.2	23	34.97	30.33
18	32.7	31	32.6	35	32.6	31	32.2	44	31	27	33.3	27	32.40	33.83
20	27.7	47	29.0	47	29.0	47	27.6	64	28.2	32	27.8	32	28.22	47.50
22	25.3	52	27.3	42	27.3	42	25.8	68	26.1	47	26.1	42	26.32	48.83
24	23.6	54	25.1	51	25.1	52	23.9	72	23.9	50	23.4	49	24.17	54.67

2- Relevés des températures et humidités relatives horaires du séjour orienté Sud-est, période estivale :

H	17Juillet		18Juillet		19Juillet		20Juillet		21Juillet		22 Juillet			
	T°C	Hr%	T°C	Hr%	T°C	Hr%								
00	29.8	51	30.5	50	29.0	51	30.0	52.5	29.0	55.5	29.8	55	29.68	52.50
02	29.7	54.5	30.5	52	29.2	49	29.8	51	29.2	56.5	29.0	55.2	29.57	53.10
04	29.8	54	30.6	51	29.0	49	29.8	51.4	29.5	56.2	29.5	54	29.70	52.60
06	29.7	52	30.5	52	29.4	52	29.5	52	29.5	56.3	29.8	55	29.73	53.22
08	29.2	51	30.5	49	29.0	51	29.0	52	29.0	56.1	29.0	55.2	29.28	52.38
10	29.2	52	31.5	47	28.0	52	28.8	52.2	29.0	52.5	29.0	57	29.25	52.12
12	29.2	51.8	33.5	42	28.0	52	28.5	55.2	29.0	58.5	29.2	56	29.57	52.63
14	29.5	51	31.2	41	28.5	51.4	29.5	56	29.8	55.5	29.2	59	29.62	52.32
16	30.0	51	31.5	39	29.5	52	30.0	52	29.8	56.5	29.6	56	30.07	51.08
18	31.0	45	32.0	38.2	30.0	53	30.5	52.4	30.2	57	30.0	56	30.62	50.10
20	30.5	40	30.0	54	30.2	52.2	30.2	55	31.0	58	30.6	55	30.42	51.87
22	30.5	41	29.0	53	30.2	52	30.0	55.2	30.5	56	30.5	52.5	30.12	51.62
24	30.5	50	29.0	51	30.0	52.5	29.0	55.5	29.8	55	30.0	51	29.72	52.50

Scénario :

Le vitrage était ouvert , le rideau fermé de 10h à 18h et de 22h à 24h

La fenêtre était complètement ouverte de 6h à 8h30

Ensuite de 8h30 à 10h30h , vitrage ouvert, rideau semi ouvert (sol asperger de l'eau)

De 10h30 à 18h , vitrage ouvert , rideau complètement fermé

De 19h à 21h , la fenêtre est complètement fermé

3- relevés des températures et humidités relatives horaires du séjour orienté Sud-est, période hivernale :

	26 décembre		27 décembre		28 décembre		29 décembre		30 décembre			
H	T°C	Hr%	T°C	Hr%								
00												
02	17.2	53	17.3	44.4	17.4	53.2	17.7	45.7	17.4	54.7	17.4	50.2
04	17.6	52.3	17.5	43	17.3	52	16.0		17.8	50.2	17.2	39.5
06	18.0	50	18.2	40.4	17.2	51.1	18.1	53.3	18.7	49.6	18.04	48.88
08	18.1	48.6	18.1	50.7	18.1	50.7	17.4	50.7	18.2	51.8	17.98	50.5
10	18.2	50	18.3	47.3	18.4	51.7	17.4	46.2	18.3	52.6	18.12	49.6
12	21.0	69.6	18.2	41.4	14.1	40.7	18.2	55.5	/	/	17.88	51.80
14	18.5	58.7	19.8	41	15.0	50.3	19.8	62.2	/	/	18.28	53.05
16	19.5	52.1	19.2	42.2	16.9	50.7	19.2	54.2	/	/	18.70	49.80
18	19.3	53.5	18.8	47.4	17.5	54.4	18.8	53.3	/	/	18.60	52.15
20	19.3	53.9	19.7	50.1	18.1	56.9	19.7	61.4	/	/	19.20	55.58
22	18.9	51.8	18.9	50.6	17.6	54.6	18.9	57.1	/	/	18.58	53.3
24	18.0	52.5	17.7	54.9	16.9	53.8	17.7	60.2	/	/	17.58	55.35

Scénario :

Le vitrage était fermé, le rideau semi fermé à partir de 9h00

La fenêtre était ouverte (vitrage et rideau) de 8h30 à 9h00

Le chauffage était éteint de 7h00 à 14h00

Le chauffage était allumer de 14h à 18h00 sur un thermostat de 1 à 2

Le chauffage était allumer toute la nuit sur un thermostat de 3

4- relevés des températures surfaciques(int., ext.) bi horaires du séjour orienté Nord-est, période estivale :

	17Juillet		18Juillet		19Juillet		20Juillet		21Juillet		22 Juillet		MOYENNE	
H	Tsi°C	Tse	Tsi°C	Tse	Tsi°C	Tse								
00	27.6	29.6	27.6	29.6	26.1	28.3	25.7	29.3	26.2	30.1	26	30.2	29.52	26.53
02	24.2	27	28.4	26.4	24.6	28.5	23.4	28.6	24	28.8	24.3	29.9	28.37	24.82
04	24.4	27.2	27.0	29.0	24.8	28.0	23.0	28.5	24	29.4	24.0	29.5	28.60	24.53
06	24.8	27.4	26.5	28.7	25.1	27.8	22.8	28.4	23.9	29.0	23.7	29.2	28.42	24.47
08	25.2	26.5	31.2	28.7	29.8	27.7	30.2	27.9	37.3	28.7	32.2	28.7	28.03	30.98
10	29.4	27.3	32.0	30.2	36.3	28.6	39.1	28.3	38.0	29.1	42.4	29.4	28.82	36.20
12	37.9	27.3	33.0	29.5	40.3	29.0	41.1	28.5	42.4	29.2	39.2	29.8	28.88	38.98
14	41.4	27.6	26.0	29.7	36.3	29.4	32.5	29.4	40.1	30.1	35.5	30.2	29.40	35.30
16	36.4	28.3	27.4	31.4	33.0	29.8	32.0	30.4	34.9	30.3	34.0	30.8	30.17	32.95
18	31.4	28.3	26.0	29	31.5	30.2	31.2	30.5	33.5	30.9	33.6	31.0	29.98	31.20
20	28.6	28.2	29.1	29.3	28.0	29.8	28.9	30.2	27.5	30.8	29.0	30.5	29.80	28.52
22	26.9	28.1	26.8	29.1	25.2	30.0	26.9	30.1	27.3	30.2	28.0	30.0	29.58	26.85
24	26.5	27.7	26.1	28.3	25.7	29.3	26.2	29.8	26	30.2	28.0	29.0	29.05	26.42

5- relevés des températures surfaciques(int., ext.) bi horaires du séjour orienté Sud-est, période estivale :

	26 décembre		27 décembre		28 décembre		29. decembre		30 décembre			
H	Tsi°C	Tse	Tsi°C	Tse	Tsi°C	Tse	Tsi°C	Tse	Tsi°C	Tse	Tsi°C	Tse
00												
02	12	9.5	14.8	10	15.6	20	15.3	4.3	15.5	3.8	14.64	9.36
04	13	8.8	15	9	15	12	15	4.5	15.8	4.2	14.76	7.46
06	16.9	7.8	16.1	8	14.5	10	15.8	4.6	15.9	5.5	16.12	6.90
08	16.5	5.9	14.9	6.7	14.9	9	14.5	4.7	16.9	3.5	15.34	5.30
10	16.2	4.6	14.1	4.8	15.1	201	14.8	11.7	15.9	3.8	15.22	3.62
12	17.1	4.4	14.3	10.5	11.8	11.8	15.6	21.9	15.9	/	14.70	7.85
14	16.9	8.8	14.9	10	12.6	7.5	16.7	18.1	/	/	15.28	7.70
16	17	4.5	15.8	7.1	14.5	8.7	16.6	12.2	/	/	15.89	5.48
18	16.7	4.5	16.2	4.3	14.8	5.1	16.6	8.81	/	/	16.08	3.58
20	17.6	3.5	16.6	3.6	15.6	4.3	17.1	6.7	/	/	16.73	3.13
22	16.3	2.8	16.9	2.5	15.9	4.0	16.4	5.4	/	/	16.38	2.75
24	15.4	1.9	16.1	2.4	15.1	3.8	15.8	4.75	/	/	15.60	2.78

1- Variation de la température intérieure durant la période des mesures (17/07 au 22/07/2004) période d'été :

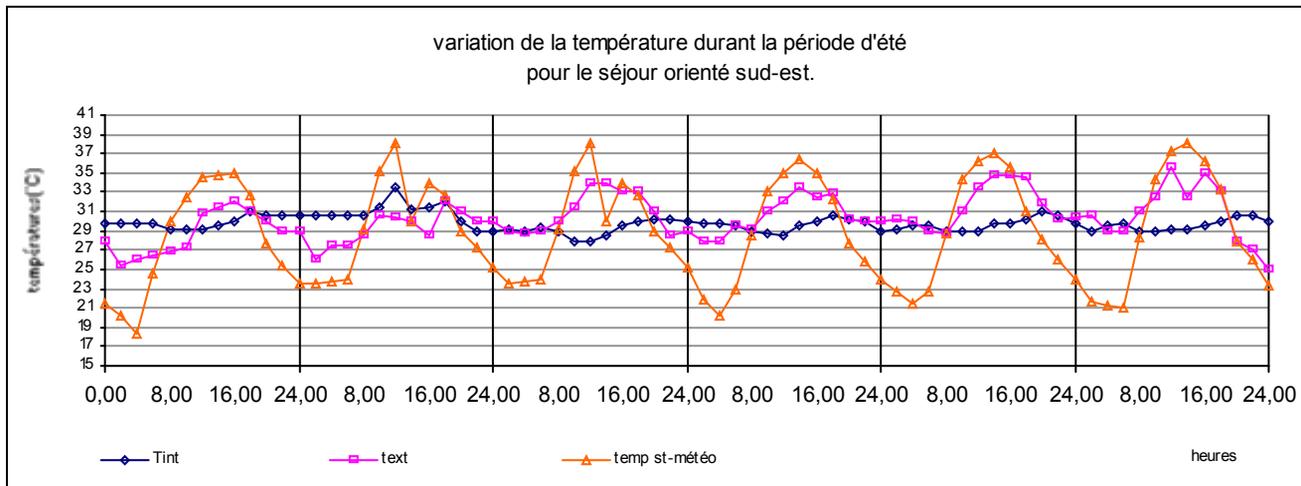


Figure A-7 : variation de la température intérieure durant la période (17/07 à 22/07/2004) séjour orienté à 30 azimuth est.(période d'été)

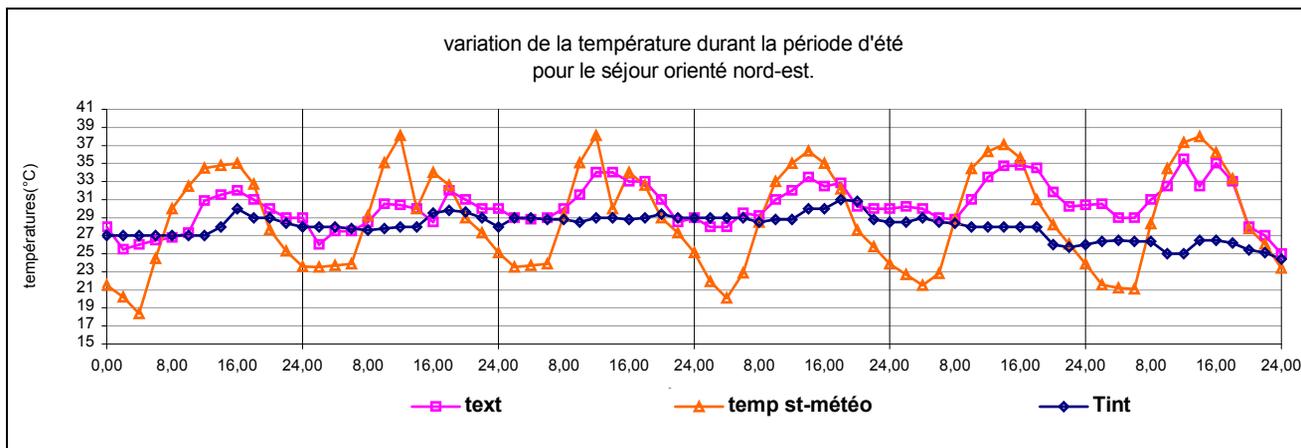


Figure A-8 : : variation de la température intérieure durant la période (17/07 à 22/07/2004) séjour orienté à 120 azimuth est.(période d'été)

2- Variation de la température intérieure durant la période des mesures (17/07 au 22/07/2004) période d'été :

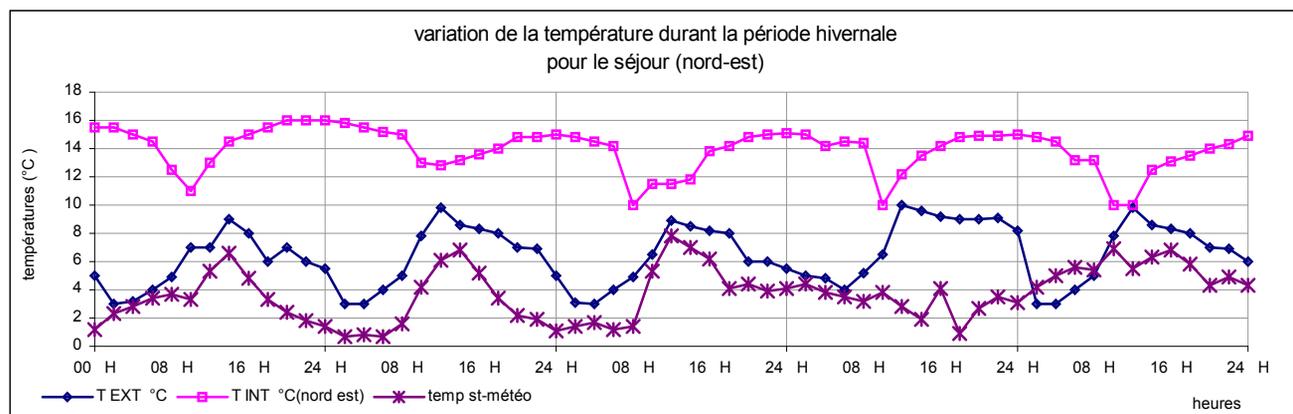


Figure A-9 : variation de la température intérieure durant la période (17/07 à 22/07/2004) séjour orienté à 120 azimuth est.(période d'hiver)

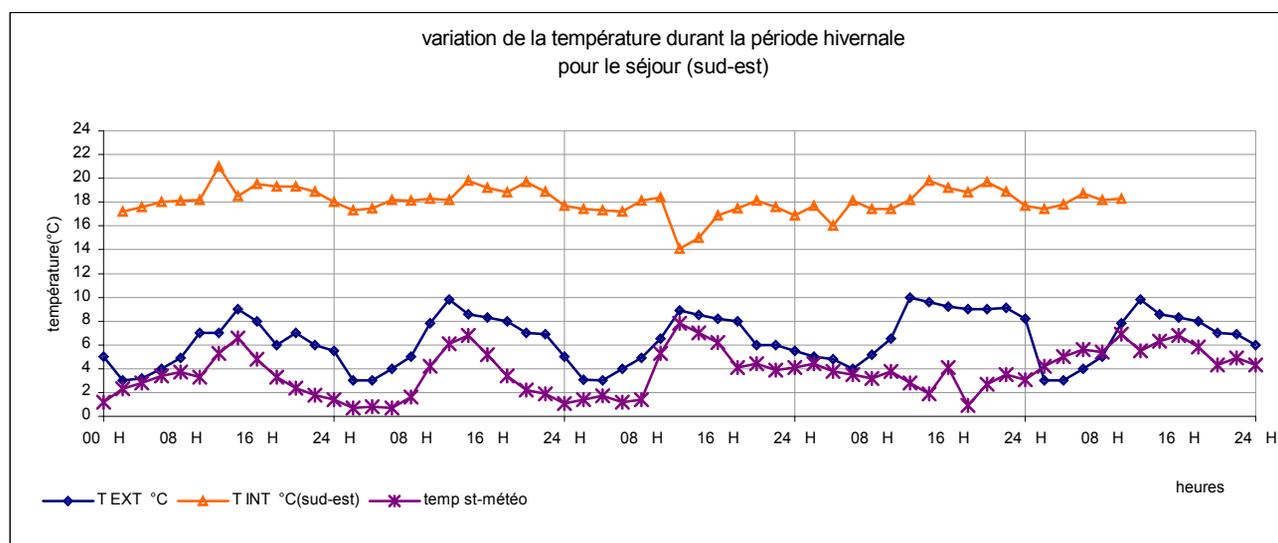


Figure A-10 : variation de la température intérieure durant la période (17/07 à 22/07/2004) séjour orienté à 30 azimuth est.(période d'hiver)

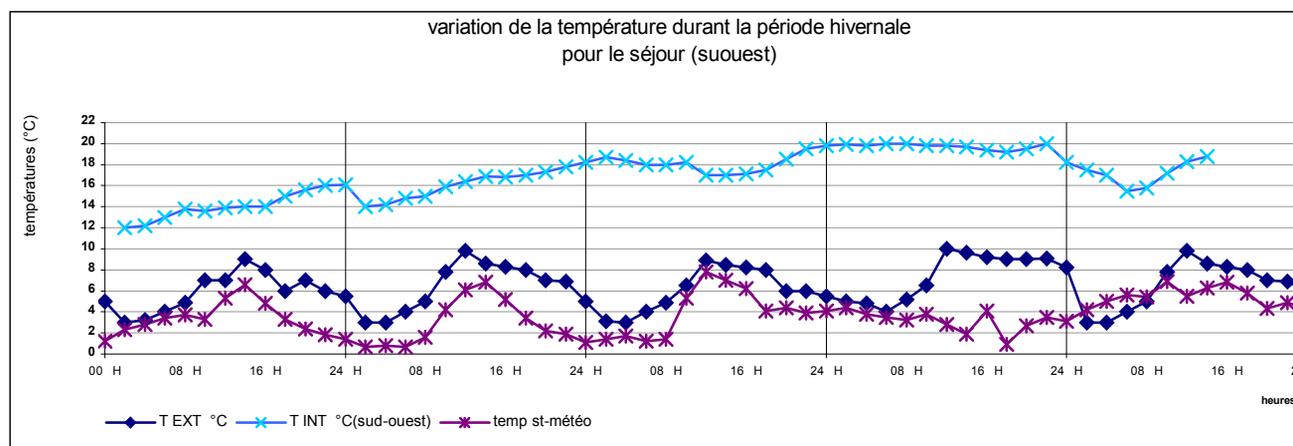


Figure A-11 : variation de la température intérieure durant la période (17/07 à 22/07/2004) séjour orienté à 60 azimuth ouest.(périod

ANNEXE 8

Programmes et Résultats de la simulation :**1- Fichier DECK Pour La Période Hivernale (programme):**

```

ASSIGN \TRNWIN\SIMULATION\PROJA.LST          6
ASSIGN \TRNWIN\SIMULATION\METEO.DAT         130
ASSIGN \TRNWIN\SIMULATION\HIVER.DAT         17
ASSIGN \TRNWIN\BID\PROJA.BLD                112
ASSIGN \TRNWIN\BID\PROJA.TRN                123
ASSIGN \TRNWIN\SIMULATION\PROJA.RES         26
*****
* EVALUATION DES TEMPERATURES INTERNES POUR *
* LA PERIODE D'Hiver des differents orientation*
* d'un séjour pour une durée de 7 jour
* du 1/jan au 8/jan
*
*****
SIM      1 192      1
WIDTH   90
*****
UNIT 5   TYPE 54
PAR 7
1 13 3 2 1 1 670
*****
UNIT 9   TYPE 9
PAR 11
2 2 1 -1 1 0 -2 1 0 17 -1
*****
UNIT 6   TYPE 33
PAR 4
2 0.92 0 1
INPUTS 2
9,1 9,2
1.8 95
*****
*RAYONNEMENT SOLAIRE POUR LES DIFFERENTS ORIENTATION D'UNE PAROI*
*TOUS LES 30 degres
*****
UNIT 16  TYPE 16
PAR 9
3 1 1 1 36.17 4871 0 2 -1
INPUTS 6
5,7 5,19 5,20 0,0 0,0 0,0
0 1 1 0.2 90 -30
*****
UNIT 56  TYPE 56
PAR 2
11 12
INPUTS 5
9,1 6,1 16,6 16,7 16,9
1.8 0.01 0 0 0
*****
UNIT 25  TYPE 25
PAR 4
1 1 192 26
INPUTS 10
5,1 5,2 5,3 9,1 56,1 56,42 56,3 56,4 56,17 56,30
mois jour heure Text Tint RADFEN Hr Tsi Tse RADtot
*****
END

```

2- Fichier INF (description du bâtiment)

```

* *****
* BUILDING DESCRIPTIONS FILE TRNSYS      *
* FOR BUILDING:  D:\TRNWIN\BID\PROJA.BUI *
* GET BY WORKING WITH Pre-BID 2.0 for DOS *
* *****
* PROPERTIES
PROPERTIES
DENSITY=1.204
CAPACITY=1.012
HVAPOR=2454
SIGMA=2.041E-07
RTEMP=293.15

TYPES

* LAYERS
LAYER PLATRE
THICKNESS=0.02 : CONDUCTIVITY=1.26
CAPACITY=0.94 : DENSITY=800
LAYER PARPAING15
THICKNESS=0.15 : CONDUCTIVITY=3.4
CAPACITY=1.08 : DENSITY=1300
LAYER LAMEDAIR
RESISTANCE=0.044
LAYER PARPAING10
THICKNESS=0.10 : CONDUCTIVITY=3.4
CAPACITY=1.08 : DENSITY=1300
LAYER ENDCIMENT
THICKNESS=0.02 : CONDUCTIVITY=4.14
CAPACITY=1.08 : DENSITY=1900
LAYER BET16
THICKNESS=0.16 : CONDUCTIVITY=6.3
CAPACITY=1.08 : DENSITY=2500
LAYER BOIS
THICKNESS=0.02 : CONDUCTIVITY=0.54
CAPACITY=2.16 : DENSITY=500
* INPUTS
* SCHEDULES
SCHEDULE RIDEAU
HOURS =0  8 18
VALUES=1  0.2  1
SCHEDULE OCCUP
HOURS = 0  8 18
VALUES= 4.85  0.85  4.85
SCHEDULE KVITRE
HOURS = 0  8 18
VALUES= 90  120  90
* WALLS
WALL MUREXT
LAYERS=PLATRE PARPAING15 LAMEDAIR PARPAING10 ENDCIMENT
ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
HFRONT=16.5 : HBACK=60
WALL MUR1
LAYERS=PLATRE BET16 PLATRE
ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
HFRONT=16.5 : HBACK=33
WALL MUR2
LAYERS=PLATRE BET16 PLATRE
ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
HFRONT=16.5 : HBACK=16.5
WALL MUR3
LAYERS=PLATRE BET16 PLATRE
ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6

```

```

HFRONT=16.5 : HBACK=16.5
WALL PLAFOND
LAYERS= BET16
ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
HFRONT=11 : HBACK=11
WALL PLANCHER
LAYERS= BET16
ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
HFRONT=11 : HBACK=11
WALL PORTE
LAYERS= BOIS
ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
HFRONT=16.5 : HBACK=16.5
* WINDOWS
WINDOW FENETREEXT
UGLASS=SCHEDULE1*KVITRE+0 : HINSIDE=16.5 : HOUTSIDE=60
ABSORBTANCE=0.09 : REFLECTANCE=0.14 : NGLASS=1
KLPRODUCT=0.08 : RFRACTION=1.52
* GAINS
GAIN OCCUPANT
CONVECTIVE=70.2
RADIATIVE=163.8
HUMIDITY = 0.08
GAIN INTERNE
CONVECTIVE=279
RADIATIVE=652
HUMIDITY = 0
* INFILTRATION
INFILTRATION LOOS
AIRCHANGE=1.15
* VENTILATION
* HEATING
* COOLING
* BUILDING
ZONES SEJOURSSE
ORIENTATIONS SUDEST30
BUILDING
* ZONES
ZONE SEJOURSSE
WALL=MUREXT : AREA=8.71 : EXTERNAL : ORIENTATION=SUDEST30
WALL=MUR1 : AREA=16.33 : BOUNDARY=15 : COUPLING=0
WALL=MUR2 : AREA=16.33 : INTERNAL
WALL=MUR3 : AREA=8.41 : INTERNAL
WALL=PLAFOND : AREA=19.25 : INTERNAL
WALL=PLANCHER : AREA=19.25 : INTERNAL
WALL=PORTE : AREA=1.98 : INTERNAL
WINDOW=FENETREEXT : AREA=1.68 : ORIENTATION=SUDEST30 : FRME=SCHEDULE 1*RIDEAU+0
REGIME
GAIN=OCCUPANT : SCALE=SCHEDULE 1*OCCUP+0
GAIN=INTERNE : SCALE=1
INFILTRATION=LOOS
VENTILATION=TRANSVERSANTE
CAPACITANCE=550 : VOLUME=57.17
TINITIAL=29.7 : WINITIAL=0.015
WCAPR=1
* OUTPUTS
OUTPUTS
TRANSFER : TIMEBASE=1
ZONES=SEJOURSSE
NTYPES=1 2 9 17 18 20

END

```

4- Les inputs et les outputs :

***** REQUIRED INPUTS *****

INPUT NUMBER	INPUT DESCRIPTION
1	AMBIENT TEMPERATURE
2	AMBIENT HUMIDITY RATIO
3	INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION SUDEST30
4	INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION SUDEST30
5	INCIDENT ANGLE FOR ORIENTATION SUDEST30

***** DESIRED OUTPUTS *****

OUTPUT NUMBER	OUTPUT DESCRIPTION
1	AIR TEMPERATURE FOR ZONE SEJOURSSE
2	SENSIBLE ENERGY DEMAND FOR ZONE SEJOURSSE
3	HUMIDITY RATIO FOR ZONE SEJOURSSE

** INSIDE SURFACE TEMPERATURES IN ZONE SEJOURSSE **

4	WALL = MUREXT	ORIENTATION = SUDEST30
5	WALL = MUR1	KNOWN BOUNDARY CONDITION
6	WALL = MUR2	INTERNAL WALL FRONT
7	WALL = MUR2	INTERNAL WALL BACK
8	WALL = MUR3	INTERNAL WALL FRONT
9	WALL = MUR3	INTERNAL WALL BACK
10	WALL = PLAFOND	INTERNAL WALL FRONT
11	WALL = PLAFOND	INTERNAL WALL BACK
12	WALL = PLANCHER	INTERNAL WALL FRONT
13	WALL = PLANCHER	INTERNAL WALL BACK
14	WALL = PORTE	INTERNAL WALL FRONT
15	WALL = PORTE	INTERNAL WALL BACK
16	WINDOW = FENETREEXT	ORIENTATION = SUDEST30

** OUTSIDE SURFACE TEMPERATURES IN ZONE SEJOURSSE **

17	WALL = MUREXT	ORIENTATION = SUDEST30
18	WALL = MUR1	KNOWN BOUNDARY CONDITION
19	WALL = MUR2	INTERNAL WALL FRONT
20	WALL = MUR2	INTERNAL WALL BACK
21	WALL = MUR3	INTERNAL WALL FRONT
22	WALL = MUR3	INTERNAL WALL BACK
23	WALL = PLAFOND	INTERNAL WALL FRONT
24	WALL = PLAFOND	INTERNAL WALL BACK
25	WALL = PLANCHER	INTERNAL WALL FRONT
26	WALL = PLANCHER	INTERNAL WALL BACK
27	WALL = PORTE	INTERNAL WALL FRONT
28	WALL = PORTE	INTERNAL WALL BACK
29	WINDOW = FENETREEXT	ORIENTATION = SUDEST30

** OUTSIDE SURFACE CONV. & LONG-WAVE IN ZONE SEJOURSSE **

30	WALL = MUREXT	ORIENTATION = SUDEST30
31	WALL = MUR1	KNOWN BOUNDARY CONDITION
32	WALL = MUR2	INTERNAL WALL FRONT
33	WALL = MUR2	INTERNAL WALL BACK
34	WALL = MUR3	INTERNAL WALL FRONT
35	WALL = MUR3	INTERNAL WALL BACK
36	WALL = PLAFOND	INTERNAL WALL FRONT
37	WALL = PLAFOND	INTERNAL WALL BACK
38	WALL = PLANCHER	INTERNAL WALL FRONT
39	WALL = PLANCHER	INTERNAL WALL BACK

40 WALL = PORTE INTERNAL WALL FRONT
 41 WALL = PORTE INTERNAL WALL BACK
 42 WINDOW = FENETREEXT ORIENTATION = SUDEST30

**** WALL TRANSFER FUNCTION CALCULATIONS ****

----- WALL TYPE MUREXT -----

THERMAL CONDUCTANCE, U= 7.23414 kJ/h m²K; k-Wert= 1.49781 W/m² K

TRANSFER FUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	9.2502520E+01	1.0141077E-04	4.5472534E+01	1.0000000E+00
1	-2.0241770E+02	3.8914441E-02	-8.9073032E+01	-1.5373307E+00
2	1.4752271E+02	2.4979125E-01	5.6603847E+01	7.0348750E-01
3	-4.1046485E+01	2.0819062E-01	-1.3406450E+01	-9.5383848E-02
4	4.0294904E+00	2.9444140E-02	9.4662833E-01	2.0965147E-03
5	-6.3735779E-02	6.2504091E-04	-1.6528027E-02	-1.1055435E-05
6	2.6738195E-04	1.3948830E-06	6.8231180E-05	
7	-1.9893141E-08	1.8171959E-10	-5.3134314E-09	
SUM	5.2706570E-01	5.2706830E-01	5.2706720E-01	7.2858420E-02

----- WALL TYPE MUR1 -----

THERMAL CONDUCTANCE, U=17.50000 kJ/h m²K; k-Wert= 2.66160 W/m² K

TRANSFER FUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	5.3194987E+01	3.9810180E-02	5.3194987E+01	1.0000000E+00
1	-7.3464438E+01	1.0431336E+00	-7.3464438E+01	-1.0766119E+00
2	2.4717075E+01	1.3152510E+00	2.4717075E+01	2.2699251E-01
3	-1.9083208E+00	1.6302341E-01	-1.9083208E+00	-3.9554983E-03
4	2.3159666E-02	1.2394917E-03	2.3159666E-02	1.0362153E-06
5	-5.5063650E-06	1.7714636E-07	-5.5063650E-06	
SUM	2.5624600E+00	2.5624580E+00	2.5624600E+00	1.4642620E-01

----- WALL TYPE MUR2 -----

THERMAL CONDUCTANCE, U=17.50000 kJ/h m²K; k-Wert= 2.66160 W/m² K

TRANSFER FUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	5.3194987E+01	3.9810180E-02	5.3194987E+01	1.0000000E+00
1	-7.3464438E+01	1.0431336E+00	-7.3464438E+01	-1.0766119E+00
2	2.4717075E+01	1.3152510E+00	2.4717075E+01	2.2699251E-01
3	-1.9083208E+00	1.6302341E-01	-1.9083208E+00	-3.9554983E-03
4	2.3159666E-02	1.2394917E-03	2.3159666E-02	1.0362153E-06
5	-5.5063650E-06	1.7714636E-07	-5.5063650E-06	
SUM	2.5624600E+00	2.5624580E+00	2.5624600E+00	1.4642620E-01

----- WALL TYPE MUR3 -----

THERMAL CONDUCTANCE, U=17.50000 kJ/h m²K; k-Wert= 2.66160 W/m² K

TRANSFER FUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	5.3194987E+01	3.9810180E-02	5.3194987E+01	1.0000000E+00

1	-7.3464438E+01	1.0431336E+00	-7.3464438E+01	-1.0766119E+00
2	2.4717075E+01	1.3152510E+00	2.4717075E+01	2.2699251E-01
3	-1.9083208E+00	1.6302341E-01	-1.9083208E+00	-3.9554983E-03
4	2.3159666E-02	1.2394917E-03	2.3159666E-02	1.0362153E-06
5	-5.5063650E-06	1.7714636E-07	-5.5063650E-06	
SUM	2.5624600E+00	2.5624580E+00	2.5624600E+00	1.4642620E-01

----- WALL TYPE PLAFOND -----

THERMAL CONDUCTANCE, U=39.37500 kJ/h m²K; k-Wert= 3.82514 W/m² K

TRANSFER FUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	1.4716612E+02	2.3858583E+00	1.4716612E+02	1.0000000E+00
1	-1.5001322E+02	1.5408297E+01	-1.5001322E+02	-4.3441882E-01
2	2.5951665E+01	4.8512362E+00	2.5951665E+01	1.1265241E-02
3	-3.9144883E-01	6.7792668E-02	-3.9144883E-01	-3.3985409E-06
4	8.4469126E-05	1.1403074E-05	8.4469126E-05	
SUM	2.2713200E+01	2.2713200E+01	2.2713200E+01	5.7684300E-01

----- WALL TYPE PLANCHER -----

THERMAL CONDUCTANCE, U=39.37500 kJ/h m²K; k-Wert= 3.82514 W/m² K

TRANSFER FUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	1.4716612E+02	2.3858583E+00	1.4716612E+02	1.0000000E+00
1	-1.5001322E+02	1.5408297E+01	-1.5001322E+02	-4.3441882E-01
2	2.5951665E+01	4.8512362E+00	2.5951665E+01	1.1265241E-02
3	-3.9144883E-01	6.7792668E-02	-3.9144883E-01	-3.3985409E-06
4	8.4469126E-05	1.1403074E-05	8.4469126E-05	
SUM	2.2713200E+01	2.2713200E+01	2.2713200E+01	5.7684300E-01

----- WALL TYPE PORTE -----

THERMAL CONDUCTANCE, U=27.00000 kJ/h m²K; k-Wert= 3.29670 W/m² K

TRANSFER FUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	3.4199980E+01	2.3400018E+01	3.4199980E+01	1.0000000E+00
1	-7.2001116E+00	3.5998590E+00	-7.2001116E+00	-4.3863851E-06
2	1.2382436E-05	3.4085508E-06	1.2382436E-05	
SUM	2.6999880E+01	2.6999880E+01	2.6999880E+01	9.9999560E-01

ملخص:

تعتبر الحرارة في الشتاء والبرودة في الصيف ... عوامل راحة الفرد, لكن إستعمال المدفئة والمكيفات الهوائية مكلفة من ناحية الطاقة. ولقد جاءت الهندسة البيومناخية (بيو كليماتيك) للاستجابة لمتطلبات هذه الراحة كونها تأخذ بعين الاعتبار علاقة العمران بعناصر المناخ التي تسمح بتقليص معتبر لمثل هذه النفقات.

إن الأزمة الاقتصادية أبرزت إشكالية اقتصاد الطاقة في كل عملية بناء. لأجل ذلك لا بد من الأخذ في الحسبان الجانب المناخي علي اعتباره يسمح باحترام عوامل الموقع والذي يمكن أن يكون ذوي منفعة من ناحية التوجيه و التشمس والحماية ضد الرياح .

إن موضوع دراستنا يهتم بنوعية الحرارة داخل المنزل الحضري وفق مختلف الاتجاهات؛ لأن ذلك يسمح بإبراز أثر التوجيه علي درجة حرارة الفضاء الداخلي وفق مختلف الاتجاهات ومن ثمة البحث عن التوجيه الأمثل، لا سيما أن اتجاه الواجهة عامل هام للتداخل المرئي و الصوتي والحراري؛ هذا الأخير يترجم بالتشمس و ضغط الرياح و كذلك رطوبة الهواء. إن استعمال معايير البناية يمكن التقليص من استعمال فعال للطاقة كما يسمح بالمقابل ضمان الراحة الداخلية من :

- التوجيه بالنسبة للشمس والرياح
- طبيعة ولون المساحة المعرضة
- حجم النوافذ وحمايتها

و لقد جاء موضوع بحثنا في شكل دراسة ميدانية، أين أخذت عينة من المنازل بالمدينة الجديدة علي منجلي -قسنطينة- و ذلك من أجل البحث في العلاقة بين العوامل المناخية و التوجيه و من ثمة مقارنتها.

إذ قمنا بقياس درجات الحرارة و الرطوبة المطلقة و حرارة المساحة لنمط مناخي شبه جاف. كما قمنا بالموازاة إلي ذلك إعداد تحاكي (simulation) للمصادقة علي النتائج المتوصل إليها ميدانيا، واختبار مختلف الاتجاهات الممكنة من أجل تحديد العوامل التي تسمح بإعطاء ظروف بناء أحسن.

ولقد أسفرت نتائج الدراسة إلي أن المناخ يمكن أن يشكل عاملا محددًا في العمارة كما أن لمراقبة عوامل التوجيه مقارنة بأشعة الشمس و الرياح والظل دورا هاما في السلوك الحراري بداخل المنزل؛ و خلق مجال راحة. إن الأخذ بعين الاعتبار عامل التوجيه (orientation) في العمارة يسمح بتصميم أحسن أداء من الناحية الحرارية و الطاقة.

الكلمات المفتاحية :

المسكن الجماعي- مناخ - حرارة - راحة - بيو مناخي (بيو كليماتيك) - طاقة - إتجاه - درجة الحرارة الداخلية.

Summary:

Heat in winter, freshness in summer... are the elements of comfort for the good being of the individual. But the use of the heating and air-conditioning is expensive in energy. To this end bio climatic architecture tries to fulfil the requirements of the comfort of the inhabitants by passively benefiting the best from the elements of the "climate". Consequently "To build with the climate" allows to reduce considerably the expenditure in heating and electric power.

The economic crisis raised the problems of the energy saving in any construction. For that, the catch in consideration of the climatic aspect depends on the respect of the factors of the site, which can be useful: orientation, sunning, protection against, winds.

Present research is interested in interior thermal quality of the contemporary building following different orientations. It aims to appreciate the impact of the orientation on the interior temperature of space and to seek the optimal orientation.

The orientation of a frontage is the key parameter of the visual interactions, thermals and acoustics; however, concerning thermal behaviour, that, results in the sunning available, the wind pressure and the moisture of the air;

By exploiting the parameters of the building, one can reduce consumption energy and one can ensure internal environment comfortable. It has to consider:

- Orientation compared to the sun and the wind.
- The colour and the nature of exposed surfaces of the wall.
- Size and the protection of the façades (elevations).

A study is carried out in order the relation-ship between the elements of the climate and the orientation of the building elements. An investigation was carried out in the site of ALI MENDJELI new town at Constantine for tree different orientation of flats. Internal and external temperatures, ratio humidity and the surface temperatures are measured; in order to evaluate the total quantitative response for such arid type of climate. Parallel to that a simulation using (TRNSYS, version 14.1) was carried out to validate the site results and to test several possibilities of orientations and improvements in order to assess the elements that improve internal conditions.

The results show that the climate can be an element determining in the architecture whose solar radiations, ventilation and the shade takes part in the thermal behaviour of internal spaces.

The taking into account of the orientation criterion makes building taking parts in a more powerful economical design for thermal and energy point of view.

Key Words & Concepts:

Multi-storey building flats – Climate – thermal Comfort – Bio climatic – Energy - Orientation – interior Temperature – interior Environment –

Résumé :

Chaleur en hiver, fraîcheur en été... sont les éléments du confort pour le bien être de l'individu. Mais l'utilisation du chauffage et de la climatisation coûte cher en énergie. A cet effet l'architecture bioclimatique tente de répondre aux exigences du confort des habitants en tirant passivement le meilleur parti des éléments du "climat". Par conséquent "Construire avec le climat" permet de réduire considérablement les dépenses en chauffage et en énergie électrique.

La crise économique a soulevé la problématique de l'économie d'énergie dans toute construction. Pour cela, la prise en considération de l'aspect climatique, dépend du respect des facteurs du site qui peuvent être utile : orientation, ensoleillement, protection contre les intempéries, vents dominants.

La présente recherche s'intéresse à la qualité thermique intérieure du bâtiment contemporain suivant les différentes orientations. Elle a pour objectif d'apprécier l'impact de l'orientation sur la température de l'espace intérieur et de rechercher l'orientation optimale. L'orientation d'une façade est le paramètre clé des interactions visuelles, thermique et acoustique ; cependant au niveau thermique cela, se traduit par l'ensoleillement disponible, la pression du vent et l'humidité de l'air ; En exploitant les paramètres du bâtiment, on peut réduire les consommations énergétiques et on peut assurer des ambiances intérieures confortables à savoir :

- L'orientation par rapport au soleil et au vent.
- La couleur et la nature des surfaces exposées de la paroi.
- la taille et la protection de l'ouverture.

Une étude est effectuée sur le site de la nouvelle ville ALI MENDJELI de Constantine afin de comparer et de chercher la relation entre les éléments du climat et l'orientation. Une investigation sur terrain (relevé des températures, humidité relatives, températures de surfaces) est entreprise pour évaluer la réponse quantitative globale pour ce type de climat (semi aride). Parallèlement à cela une simulation à l'aide d'un logiciel TRNSYS (version 14.1) a été effectuée pour valider les résultats du terrain et pour tester plusieurs possibilités d'orientations et d'améliorations afin de déterminer les éléments qui peuvent servir à des conditions meilleures.

Les résultats montrent que le climat peut être un élément déterminant dans l'architecture. Le contrôle des facteurs orientation par rapport aux rayonnements solaires, le vent et l'ombrage participent au comportement thermique des espaces intérieurs, et à la création d'ambiance confortable.

La prise en compte du critère orientation fait participer le bâtiment à une conception plus performante thermiquement et plus économe énergétiquement.

Mots Clés & Concepts:

Habitation collective – Climat – Confort thermique – Bioclimatique – Energie - Orientation – Température intérieure et extérieure – Ambiance intérieure.