

Effet de l'implantation d'un bâtiment collectif sur le  
confort hygrothermique intérieur cas de Biskra, Algérie

par

Belkacem BERGHOUT

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION  
DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION  
M. Ing.

**RECTIFICATIF**

MONTREAL, LE 4 AOÛT 2020

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



## **RECTIFICATIF AU MÉMOIRE**

### **EFFET DE L'IMPLANTATION D'UN BÂTIMENT COLLECTIF SUR LE CONFORT HYGROTHERMIQUE INTÉRIEUR : CAS DE BISKRA, ALGÉRIE**

Mémoire de maîtrise déposé initialement le 30 avril 2012

---

À la demande de l'École de technologie supérieure, un premier rectificatif a été apporté à ce mémoire afin de reconnaître que ce travail a été inspiré par un mémoire de magistère de Madame Samira Bellara intitulé « Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective : cas de la nouvelle ville de Ali Mendjeli Constantine », déposé en 2005 à l'université de Mentouri, Constantine. La revue de littérature aurait dû faire mention de ce document et la bibliographie aurait dû l'inclure.

---

#### **Référence bibliographique**

Bellara, Samira. 2005. *Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective : cas de la nouvelle ville de Ali Mendjeli Constantine*. Mémoire de magistère, Université de Mansouri, Constantine, Algérie, 260 p.





ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
À L'OBTENTION DE LA  
MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION  
M.Ing.

PAR  
Belkacem BERGHOUT

EFFET DE L'IMPLANTATION D'UN BÂTIMENT COLLECTIF SUR LE CONFORT  
HYGROTHERMIQUE INTERIEUR CAS DE BISKRA, ALGÉRIE

MONTREAL, LE 30 AVRIL 2012

©Tous droits réservés, Belkacem Berghout, 2012

©Tous droits réservés

Cette licence signifie qu'il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement en demander l'autorisation à l'auteur.

## **PRÉSENTATION DU JURY**

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Daniel Forgues, directeur de mémoire  
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Stephane Hallé, président du jury  
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. Mathias Glauss, membre du jury  
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 18 AVRIL 2012

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE



## **REMERCIEMENTS**

Je tiens à exprimer tous mes remerciements à mon directeur de recherche pour son suivi, sa disponibilité, son soutien, sa patience et ses orientations durant l'élaboration de cette recherche.

Je remercie particulièrement ma petite famille, de même que mes parents pour leurs encouragements sincères.

Je remercie aussi tout le personnel de la bibliothèque pour leur patience.

Mes remerciements sincères vont aussi aux membres de mon jury.

Enfin, je souhaite remercier l'École de technologie supérieure pour la pertinence de l'enseignement qui m'a été donné.



# **EFFET DE L'IMPLANTATION D'UN, BÂTIMENT COLLECTIF SUR LE CONFORT HYGROTHERMIQUE INTERIEUR. CAS DE BISKRA, ALGÉRIE**

Belkacem BERGHOUT

## **RÉSUMÉ**

L'Algérie est en face de contraintes climatiques énormes. Il s'agit du règne d'un climat chaud et sec sur les quatre cinquième du territoire national. D'où le choix de l'aspect climatique comme stratégie d'économie d'énergie. L'intégration à grande échelle de cet aspect semble ignorée par les concepteurs. Ces contraintes suscitées peuvent devenir des potentialités.

Cette étude examine l'analyse de la performance énergétique d'un bâtiment collectif sous les conditions climatiques de la ville de Biskra dans le but de maîtriser naturellement le confort d'été et d'hiver, en plus de réduire considérablement les dépenses en climatisation et en chauffage. La recherche porte particulièrement sur l'influence de l'implantation d'un bâtiment et l'orientation de ses façades par rapport aux rayonnements solaires et au vent, sur la réduction des besoins en énergie de climatisation et chauffage nécessaire pour une amélioration des conditions de température intérieure.

La prise en considération de l'orientation optimale, ainsi que du bon choix de la couleur extérieure des parois, et l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia démontre une réduction efficace de la température intérieure des séjours objet de l'étude et une diminution de la fluctuation de cette dernière. Ainsi, le résultat induit une réduction de l'entrée de la chaleur impliquant une diminution de la consommation énergétique reliée à la climatisation et au chauffage.

Les résultats obtenus dans cette recherche sont confirmés par P. Lavigne, J.L Izard et Givoni.

**Mots-clés :** bâtiment collectif, bioclimatique, évaluation, énergie, performance, ambiance intérieure.





# **THE EFFECT OF THE IMPLANTATION OF A COLLECTIVE BUILDING ON THE INTERIOR HYGROTHERMIC COMFORT. THE BISKRA CASE, ALGERIA**

Belkacem BERGHOUT

## **ABSTRACT**

Algeria faces huge climatic constraints, consisting in the predominance of a hot and dry weather on the four on fifth of the total territory, thus the choice of the climatic aspect as an energy saving strategy. The large scale integration of this aspect seems to be ignored by the designers. The up listed constraints can be turned into a potential.

This study focuses on the analyses of the energetic performance of the collective building in the climatic conditions in Biskra in order to naturally master the all season comfort. Added to that, the significant reduction of the air conditioning and heating expenses. This research particularly focuses on the influence of the building implantation and its facades orientation according to solar radiation and wind on the reduction of amount the energy needed to improve indoor temperature conditions.

Taking into account the optimal orientation as well as a good choice of the exterior walls color and an integration of a shading apparatus such as the loggia, proves an effective interior temperature reduction of the studied spaces and temperature fluctuation decrease. In fact, the outcome of this research induces a reduction of the heat input implying lower energy consumption relate to air conditioning and heating.

**Keywords:** collective building, bioclimatic, evaluation, energy, performance, interior ambiance.



## TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1 L'HABITAT ET LES LEÇONS DU PASSÉ .....	7
1.1 Introduction.....	7
1.2 La grotte .....	8
1.3 L'enveloppe à mur massif.....	9
1.3.1 La tour .....	9
1.3.2 Le cube.....	9
1.3.3 Le bloc percé d'une cour.....	10
1.3.4 Le percement de l'enveloppe .....	11
1.4 La lutte contre le froid.....	12
1.5 Quand l'enveloppe se dématérialise .....	12
1.5.1 La verrière.....	12
1.5.2 La destruction de la boîte .....	13
1.5.3 La peau en verre.....	13
1.5.4 Le mur-écran.....	14
1.6 Quand l'enveloppe devient active.....	14
1.6.1 L'oignon thermique .....	14
1.6.2 La maison bioclimatique.....	15
1.6.2.1 Principes d'application des stratégies bioclimatiques.....	16
1.6.3 La maison solaire .....	22
1.7 L'évolution de l'enveloppe habitable en Algérie.....	22
1.8 Consommation énergétique en Algérie.....	24
1.8.1 Consommation finale par secteur d'activité .....	25
1.8.2 L'analyse de l'évolution des consommations du secteur résidentiel .....	26
1.8.2.1 Consommation du secteur résidentiel par type d'énergie .....	26
1.9 Synthèse .....	28
CHAPITRE 2 CLIMAT ET CONFORT .....	31
2.1 Climat.....	31
2.1.1 Introduction.....	31
2.1.2 Échelles des éléments du climat .....	31
2.1.3 Climat en Algérie.....	32
2.1.4 Classification climatique.....	35
2.1.5 Analyse climatique de la ville de Biskra.....	35
2.1.5.1 Présentation de la ville .....	35
2.1.5.2 Analyse des données climatiques.....	35
2.1.5.3 Interprétation des données climatiques.....	36
2.1.6 Classification du climat pour la conception bioclimatique.....	40
2.1.7 Mesure de l'indice d'aridité .....	41
2.1.8 Synthèse .....	43

2.2	Confort .....	44
2.2.1	Introduction.....	44
2.2.2	Confort dans l'habitat .....	44
2.2.3	Les paramètres du confort.....	46
2.2.4	Évaluation du confort.....	48
2.2.5	Confort hygrothermique.....	52
2.2.6	Diagramme thermo-isoplèthes de Biskra.....	53
2.2.7	Analyse bioclimatique de la ville de Biskra .....	55
	2.2.7.1 Application de la méthode de S. Szokolay : .....	55
	2.2.7.2 Application de la méthode de Mahoney .....	57
2.2.8	Synthèse .....	58

### CHAPITRE 3 L'ENSOLEILLEMENT ET SOLUTIONS BIOCLIMATIQUES ADAPTÉES61

3.1	Introduction.....	61
3.2	L'ensoleillement .....	61
3.2.1	Aspect géométrique du soleil.....	62
	3.2.1.1 Le mouvement sol-Terre.....	62
	3.2.1.2 La latitude et les conditions saisonnières d'ensoleillement.....	64
3.2.2	Les projections solaires.....	66
3.2.3	L'usage de l'outil informatique .....	66
3.2.4	Le temps solaire vrai et l'heure légale.....	67
3.2.5	Aspect énergétique du soleil .....	67
	3.2.5.1 La constante solaire.....	68
	3.2.5.2 Le rayonnement solaire.....	68
3.2.6	L'ensoleillement à Biskra .....	71
	3.2.6.1 Le rayonnement solaire de Biskra.....	71
	3.2.6.2 La position du soleil de Biskra.....	71
3.2.7	L'irradiation solaire d'une façade.....	74
3.2.8	L'intensité du rayonnement solaire sur une surface .....	74
3.2.9	Les indicateurs d'irradiation solaire pour une façade verticale de Biskra .....	75
	3.2.9.1 Orientation Sud.....	75
	3.2.9.2 Orientation Est et Ouest.....	76
	3.2.9.3 Orientation Sud-Est et Sud-Ouest.....	77
3.2.10	Synthèse .....	80
3.3	Solutions bioclimatiques adaptées .....	81
3.3.1	Introduction.....	81
3.3.2	L'enveloppe .....	82
3.3.3	Le comportement thermique de l'enveloppe .....	82
3.3.4	Les propriétés thermophysiques des matériaux de construction.....	84
	3.3.4.1 La conductivité thermique .....	84
	3.3.4.2 La résistance thermique .....	85
	3.3.4.3 La chaleur spécifique .....	86
	3.3.4.4 La chaleur volumique .....	87
	3.3.4.5 La capacité thermique .....	87
	3.3.4.6 Les grandeurs thermiques de l'enveloppe.....	87

3.3.5	Éléments conceptuels influençant le comportement thermique d'un bâtiment.....	89
3.3.5.1	L'implantation.....	89
3.3.5.2	La forme et l'orientation .....	91
3.3.5.3	Détermination de l'orientation optimale.....	92
3.3.5.4	Effet de l'ensoleillement.....	94
3.3.5.5	Le contrôle de l'ensoleillement.....	96
3.3.5.6	Les systèmes d'occultation .....	97
3.3.5.7	Calcul des protections pour le cas de Biskra .....	98
3.3.5.8	Le vent et la ventilation.....	104
3.3.5.9	Le vent et ses effets.....	104
3.3.5.10	La ventilation et ses effets.....	105
3.3.5.11	Effet de l'orientation des ouvertures par rapport au vent .....	109
3.3.5.12	L'organisation spatiale.....	110
3.3.5.13	Recherche de confort selon le type d'espace .....	111
3.3.5.14	L'intégration d'une loggia .....	111
3.3.5.15	Échanges thermiques avec les espaces contigus.....	112
3.3.5.16	Le vitrage et l'emplacement des fenêtres.....	114
3.3.5.17	Calcul des occultations de la loggia pour le. cas d'étude .....	114
3.3.5.18	Les couleurs des parois extérieures.....	115
3.3.6	Synthèse .....	116
CHAPITRE 4 ÉTUDE DE CAS ET MÉTHODOLOGIE .....		119
4.1	Introduction.....	119
4.2	Objectifs.....	119
4.3	Le choix de l'habitat collectif .....	120
4.4	Cas d'étude.....	120
4.5	Méthodologie de la recherche.....	121
4.6	Présentation du logement d'étude.....	123
4.7	Conditions de déroulement des mesures.....	125
4.7.1	Séjour orienté Nord-Est "60°" .....	125
4.7.2	Séjour orienté Sud-Est"150°" .....	126
4.7.3	Séjour orienté Sud-Ouest"240°" .....	126
4.8	Interprétation des résultats .....	126
4.8.1	Étude de l'humidité.....	127
4.8.1.1	Cas du séjour orienté Nord-Est"60°" .....	127
4.8.1.2	Cas du séjour orienté Sud-Est"150°" .....	127
4.8.2	Étude des températures .....	128
4.8.2.1	Cas du séjour orienté Nord-Est"60°" .....	128
4.8.2.2	Cas du séjour orienté Sud-Est"150°" .....	130
4.8.2.3	Cas du séjour orienté Sud-Ouest"240°" .....	131
4.8.2.4	Comparaison des températures intérieures et extérieures des différentes orientations.....	132
4.9	Évaluation de la performance thermique des séjours objet de l'étude.....	134
4.10	Synthèse .....	136

CHAPITRE 5 SIMULATION .....	139
5.1 Introduction.....	139
5.2 Présentation de l'ensemble logiciel .....	139
5.3 Découpage du logement objet de l'étude en zones thermiques .....	140
5.4 Simulation thermique.....	140
5.5 Comparaison entre températures mesurées et calculées par Ecotect TM.....	142
5.5.1 Période estivale .....	142
5.5.1.1 Séjour orienté Nord-est"60°" .....	142
5.5.1.2 Séjour orienté Sud-est"150°" .....	143
5.5.1.3 Séjour orienté Sud-ouest"240°" .....	144
5.5.1.4 Comparaison des trois orientations.....	146
5.5.2 Effet de l'orientation .....	148
5.5.3 L'orientation optimale .....	150
5.6 Besoins en énergie pour la climatisation suivant l'orientation .....	152
5.7 Besoins en énergie pour le chauffage suivant l'orientation .....	153
5.8 Effet de la couleur .....	155
5.9 Effet de l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia.....	157
5.10 Synthèse .....	160
CONCLUSION.....	163
RECOMMANDATIONS .....	167
ANNEXE I ANALYSE BIOCLIMATIQUE MÉTHODE DE STEEVE SZOCKOLAY ....	169
ANNEXE II ANALYSE BIOCLIMATIQUE METHODE DE MAHONNEY .....	173
ANNEXE III ASPECT GÉOMÉTRIQUE DU SOLEIL.....	179
BIBLIOGRAPHIE.....	183

## LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1 Organisation des contenus sur le thème de l'énergie .....	25
Tableau 2.1 Données météorologique mensuelles de Biskra (1990-2000).....	36
Tableau 2.2 Classification climatique : la note (x) indique des saisons courtes aux conditions définies, où les variations possibles de climat .....	41
Tableau 2.3 Indices de Martonne.....	42
Tableau 3.1 Hauteur et azimuth du soleil à Biskra latitude 34°48' .....	73
Tableau 3.2 Pourcentage du rayonnement intercepté par .....	74
Tableau 3.3 Conductivité thermique des matériaux courants .....	85
Tableau 3.4 Illustre le pourcentage du rayonnement solaire direct intercepté par une surface en fonction de l'angle d'incidence des rayons lumineux .....	95
Tableau 3.5 Effet de la ventilation sur les températures de l'air intérieur et de la surface ouest écart par rapport à la température maximale de l'air extérieur, en °C.....	108
Tableau 3.6 Effet de la ventilation sur les températures minimales de l'air intérieur et de la surface ouest écart par rapport au minimum extérieur, en°C.....	108





## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1 Illustration d'architecture troglodytique en Tunisie .....	8
Figure 1.2 Illustration d'un modèle de Moucharabeih de l'architecture du M'zab .....	11
Figure 1.3 Illustration de stratégies du chaud, les principes du confort d'hiver.....	16
Figure 1.4 Illustration de stratégies du chaud, les principes du confort d'été .....	17
Figure 1.5 Illustration de conditions nécessaire pour un refroidissement passif efficace .....	18
Figure 1.6 Illustration d'intégration d'un dispositif architectural comme une protection solaie et un refroidissement passif efficace .....	19
Figure 1.7 Illustration d'intégration d'un dispositif architectural tel que la loggia .....	20
Figure 1.8 Illustration d'une réussite de l'architecture bioclimatique .....	20
Figure 1.9 Illustration d'une réussite de l'architecture du M'Zab .....	21
Figure 1.10 État Comparatif des intensités énergétiques.....	25
Figure 1.11 Consommation finale par secteur d'activité en 2007 .....	26
Figure 1.12 Consommation finale par type d'énergie du secteur résidentiel en 2007.....	27
Figure 1.13 Évolution de la consommation du secteur résidentiel en 200 .....	27
Figure 2.1 Situation de l'Algérie .....	32
Figure 2.2 Les zones climatiques en Algérie .....	34
Figure 2.3 Interprétation des données météorologique de Biskra (1990-2000).....	39
Figure 2.4 Évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année .....	46
Figure 2.5 Illustration de la diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance.....	47
Figure 2.6 Diagramme bioclimatique d'Olgay .....	49
Figure 2.7 Échelle de jugement subjectif.....	51
Figure 2.8 Illustration : PMV-PPD .....	52

Figure 2.9 Illustration des domaines température-humidité de l'air intérieur à éviter .....	53
Figure 2.10 Calculatrice des températures horaires .....	54
Figure 2.11 Courbes d'égales températures (isoplèthes) par mois et en heures de Biskra .....	55
Figure 2.12 Diagramme psychrométrique de Biskra .....	57
Figure 3.1 Représentation schématique illustrant le mouvement de la terre par rapport au soleil .....	62
Figure 3.2 Représentation géométrique du rayonnement solaire au niveau de la terre aux solstices .....	63
Figure 3.3 Représentation géométrique du rayonnement solaire au niveau de la terre aux solstices .....	65
Figure 3.4 Représentation schématique illustrant le déplacement de l'énergie sous forme de radiation solaire .....	69
Figure 3.5 Diagramme polaire de Biskra .....	72
Figure 3.6 Diagramme polaire de Biskra .....	72
Figure 3.7 Diagramme énergétique de Biskra orientation Sud .....	76
Figure 3.8 Diagramme énergétique de Biskra orientation Ouest et Est .....	77
Figure 3.9 Diagramme énergétique de Biskra orientation Sud-Est et Sud-Ouest .....	78
Figure 3.10 Diagramme énergétique de Biskra orientation Nord-Est et Nord-Ouest .....	79
Figure 3.11 Diagramme de radiations solaires de Biskra mois de juillet .....	79
Figure 3.12 Diagramme de radiations solaires de Biskra mois de janvier .....	80
Figure 3.13 Intensité du rayonnement solaire sous différentes latitudes .....	93
Figure 3.14 Détermination de l'orientation optimale .....	94
Figure 3.15 Variation de l'intensité solaire reçue sur des surfaces de différentes orientations .....	95
Figure 3.16 Comparaison entre fenêtres diversement orientées .....	96
Figure 3.17 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente Sud .....	100
Figure 3.18 Profondeur requise d'un auvent d'une façade Sud .....	101

Figure 3.19 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente Sud-Est .....	101
Figure 3.20 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente Sud-Ouest.....	102
Figure 3.21 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente Est.....	103
Figure 3.22 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente Ouest.....	103
Figure 3.23 Illustration d'effets du vent sur un bâtiment .....	105
Figure 3.24 Le zoning climatique d'une habitation .....	111
Figure 3.25 Schéma d'un espace habitable avec espace-tampon .....	113
Figure 3.26 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente Ouest.....	114
Figure 3.27 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente Ouest.....	115
Figure 4.1 Plan de masse du site objet de l'étude El-Aalia, Biskra .....	124
Figure 4.2 Plan du logement étudié .....	125
Figure 4.3 Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure du séjour orientation Nord-Est .....	127
Figure 4.4 Variation de l'humidité relative intérieure et l'extérieure du séjour orientation Sud- Est .....	128
Figure 4.5 Variation de la température intérieure, surfacique intérieure et extérieure orientation Nord-Est .....	129
Figure 4.6 Variation de la température intérieure, surfacique intérieure et extérieure orientation Sud-Est .....	130
Figure 4.7 Variation de la température intérieure, surfacique intérieure et extérieure orientation Sud-Ouest .....	132
Figure 4.8 Comparaison de la variation de la température intérieure des trois orientations .....	134
Figure 4.9 Comparaison des températures intérieures et extérieures des trois orientations avec les limites de confort .....	136
Figure 5.1 Les angles des différentes orientations simulées.....	142
Figure 5.2 Comparaison des températures mesurées et simulées pour l'orientation Nord-Est .....	143

Figure 5.3 Comparaison des températures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-Est .....	144
Figure 5.4 Comparaison des températures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-Ouest .....	145
Figure 5.5 Comparaison des températures internes des trois orientations et quantité d'énergie absorbée pendant la période estivale .....	147
Figure 5.6 Comparaison des températures internes des trois orientations et quantité d'énergie absorbée pendant la période hivernale .....	147
Figure 5.7 Comparaison des températures intérieures simulées des différentes orientations pour la période d'été.....	148
Figure 5.8 Comparaison des températures intérieures simulées des différentes orientations pendant la période d'hiver.....	149
Figure 5.9 Total des radiations solaires absorbées en $W/m^2$ suivant l'orientation par le mur extérieur pendant la période estivale.....	150
Figure 5.10 Total des radiations solaires absorbées en $W/m^2$ suivant l'orientation par le mur extérieur pendant la période hivernale .....	151
Figure 5.11 Besoin en climatisation suivant l'orientation pour une journée en période estivale .....	153
Figure 5.12 Besoin en chauffage suivant l'orientation pour une journée en période hivernale.....	154
Figure 5.13 Effet de la couleur sur la température intérieure orientation Est.....	155
Figure 5.14 Effet de la couleur sur la température intérieure orientation Sud.....	156
Figure 5.15 Effet de la couleur sur la température intérieure orientation Ouest.....	156
Figure 5.16 Protection solaire pour le séjour objet de l'étude par l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia .....	157
Figure 5.17 Effet d'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia sur la température intérieure orientation Sud .....	158
Figure 5.18 Effet d'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia sur la température intérieure orientation Sud-Est.....	159
Figure 5.19 Effet d'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia sur la température intérieure orientation Est .....	159

Figure 5.20 Effet d'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia sur la température intérieure orientation Ouest .....	160
--	-----



## **LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE**

### **Unités de base**

m	mètre
mm	millimètre

### **Unités d'air**

m <sup>2</sup>	mètre carré
pi <sup>2</sup>	pieds carré

### **Unités calorifiques**

°C	degré Celsius
----	---------------

K	Kelvin
---	--------

### **Unités de puissance**

W	watt
J	Joule

### **Unités d'énergie, de travail et de chaleur**

Ca	calorie (chaleur)
BTU	British Thermal Unit (chaleur)
kJ	kilo Joule (chaleur)
Wh	wattheure (énergie)
kWh	kilowattheure (énergie).





## INTRODUCTION

### Contexte et enjeux

La problématique énergétique n'a été remise en question qu'en 1973-74, date du premier choc pétrolier et du début de la crise énergétique. Ceci nous amène en fait, à tenir compte de la création de richesse, de l'approvisionnement en énergie et de l'adaptation aux changements climatiques.

Cependant, comme le mentionne, Richard, « dans le monde, la nouvelle tendance est de prévoir dès la conception une utilisation optimale des sources d'énergie renouvelables, comme le soleil. La conception intégrée nécessitera une importante évolution technique au cours de la prochaine décennie » (Richard, 2011).

Dans le bâtiment, le concepteur devra continuer à assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, mais devra, de plus, faire en sorte que l'impact du bâtiment sur l'environnement soit minimisé. Dans ce contexte, le Canada a enregistré de 1990 à 2004, « un gain en efficacité énergétique de 21 % dans le secteur résidentiel grâce à l'amélioration de l'enveloppe thermique des habitations et à l'efficacité accrue des appareils ménagers, ainsi que des appareils de chauffage des locaux et de l'eau » (Richard, 2011).

L'Algérie connaît une crise aiguë en matière d'habitat dont le confort thermique a souvent été négligé par les concepteurs. En quatre décennies d'indépendance, le souci de construire rapidement et en grande quantité a favorisé le modèle d'habitat collectif, notamment par le programme quinquennal 2005-2009 qui prévoit un million de logements. Ce programme provoque la question d'intégration climatique qui implique une consommation importante d'énergie. Ce phénomène est caractérisé par une forte demande où la quantité a pris le dessus sur la qualité.

L'habitat est, en Algérie, l'une des priorités du pays. Déjà de nombreuses réalisations sont visibles à travers le pays. Mais même si l'objectif numéro un, bâtir, est atteint, on ne peut se satisfaire ni de l'aspect qualitatif ni de l'aspect économique de celles-ci.

Ceci impose l'application d'un ensemble de dispositifs et de systèmes passifs, ce qui peut aboutir à l'objectif principal qui est : minimiser le recours aux énergies non-renouvelables en procurant l'énergie de manière passive et réduire les dépenses d'énergie consacrées au chauffage, à la climatisation et à l'éclairage. Par ailleurs, « Il faut noter que les énergies renouvelables ont moins d'impacts sur l'environnement et la santé de l'homme. Elles n'entraînent pas de problèmes de déchets ou d'accidents de réacteurs, et ne produisent pas de gaz nocifs pour l'atmosphère» (Scheer, 2011).

Concernant la consommation énergétique finale, selon le ministère de l'énergie et des Mines de l'Algérie, c'est le secteur résidentiel et tertiaire qui domine (45,7 %). Entre 2000 et 2007, l'intensité énergétique finale a atteint 6 TEP/MDA en 2007, soit 0,411 TEP pour 1000 dollars de PIB, soit deux fois plus que dans les pays de l'OCDE. Ainsi, l'économie nationale consomme deux fois plus pour créer la même unité de valeur ajoutée, avec une intensité énergétique primaire de 3,82 TEP/MDA (soit 0,27 TEP/1000\$).

D'autre part, il existe peu d'approches à la recherche d'une architecture intelligente consciente de l'énergie pour adapter ce genre de construction aux conditions climatiques des régions, où le même plan de masse se trouve répété à travers les cités algériennes. Le résultat de cette ignorance confirme l'intérêt et l'urgence d'une réflexion pour une conception architecturale bien pensée et des solutions optimisées.

Ce contexte a amené un pays comme l'Algérie, par l'intermédiaire du ministère de l'énergie et des Mines, à préconiser l'accroissement de la contribution des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national. L'objectif est d'atteindre une contribution de l'ordre de 6% dans le bilan de production électrique pour l'horizon 2015 à travers les filières photovoltaïque, thermique solaire et éolienne. Ceci implique de nous engager dans une

réflexion pour solutionner la problématique et faire face à ces nouveaux défis concernant l'inadaptation climatique de ce bâtiment, le développement de l'efficacité énergétique et le maintien du confort intérieur, et ce, dans le but de réaliser des retombées économiques, sociales et environnementales.

Cette réalité nous amène à développer l'intégration et l'exploitation de l'énergie solaire passive dans le bâtiment collectif, notamment par le biais de la conception bioclimatique qui est surtout associée aux techniques de conception qui permettent des économies d'énergie pour le chauffage, la climatisation et l'éclairage. Ces techniques sont en effet bien placées par rapport aux autres filières énergétiques en ce qui a trait à la plupart des critères de développement durable.

### **Développement et originalité**

C'est dans cet esprit qu'avant d'aborder une conception d'un bâtiment collectif ou autre, « l'architecte ne peut ignorer le climat sans renoncer à intégrer dans sa démarche de conception des composantes aussi importantes que le rayonnement solaire (porteur de chaleur et de lumière), le vent, la pluie, le froid, bref, des données naturelles qui interfèrent directement avec la perception des formes et des matières, le confort, l'ambiance et l'économie d'un bâtiment» (Liébard, Ménard et Piro, 2007, p. 5). Ceci nous amène, en fait, à poser la problématique suivante:

### **Quel est l'impact de l'implantation du bâtiment collectif en Algérie sur le confort hygrothermique de ses occupants et sur l'énergie à consommer?**

En réponse, selon Fernandez et Lavigne (2009), l'architecte, dans son activité, doit gérer trois grands domaines qui relèvent de l'environnement: l'espace, les ressources et les conditions de vie.

L'idée fondamentale, donc, dans cette recherche qui est menée sur les comportements individuels et collectifs en lien avec la consommation énergétique, est de retrouver la relation

entre ces trois grands domaines (l'espace, les ressources et les conditions de vie) qui relèvent de l'environnement et l'homme habitant l'espace, une relation qui offrira les meilleures conditions d'ambiance et permettra de réduire les besoins énergétiques. Les énergies renouvelables et, en particulier, l'énergie solaire, qui présente un potentiel très intéressant et qui mérite d'être exploitée, sont à prendre en considération, d'autant plus que, comme « le climat maghrébin est tel qu'il suscite des besoins de chauffage l'hiver et de refroidissement l'été, la modération même du climat permet de satisfaire la quasi-totalité des besoins de manière naturelle, particulièrement dans le secteur résidentiel » (Aghrab, 2000).

Compte tenu de ce qui précède, nous sommes tenus de répondre à des impératifs économiques et de confort. Le chauffage, la climatisation, l'éclairage nécessitent un investissement, un entretien et des dépenses d'énergie, qui va devenir de plus en plus rare et de plus en chère. En effet, la solution consiste à assurer un confort hygrothermique satisfaisant avec une consommation énergétique optimale. Le moyen le plus efficace est préventif. Une implantation optimale du bâtiment permet en effet d'éviter, dans la majorité des cas, l'installation de systèmes de conditionnement d'air « énergivores ». En plus, l'utilisation de l'énergie solaire comme composante de conception architecturale permettra de satisfaire les besoins des occupants et de concevoir un projet « à bas profil énergétique ».

Une bonne implantation du bâtiment permet de satisfaire aux besoins énergétiques, de renouveler l'air, ainsi que de maîtriser éventuellement une ventilation d'hiver et d'été. Donc, elle traite l'ambiance intérieure de deux manières, c'est-à-dire par la régulation de l'influence des deux facteurs climatiques distincts suivants :

- le rayonnement solaire et les effets d'échauffement sur les murs et les pièces orientés selon différentes directions,
- les problèmes de ventilation en rapport avec la direction des vents dominants et l'orientation de la construction.

Cependant, «La prise en compte de ces deux facteurs peut aboutir à des exigences d'orientation contradictoires»(Givoni, 1978, p. 229).

Et « Grâce aux différentes positions du soleil en hiver et en été, il est donc possible de soustraire l'enveloppe d'un bâtiment du soleil d'été tout en permettant au soleil d'hiver de l'atteindre. Le désir d'obtenir de l'ombrage en été n'est donc pas en conflit avec la possibilité du chauffage solaire en hiver» (Watson, Camous et Kenneth, 1983, p. 20).

Donc, « l'architecte soucieux d'une insertion réussie cherche en effet à exploiter le potentiel du site, à contourner ses contraintes défavorables et à accorder les ambiances dans et hors son bâtiment au microclimat du lieu» (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 29). Notons l'importance de la prise en compte des particularités du site dans la qualité du confort interne d'un projet. « La bonne appréciation de ces contraintes se révélera déterminante dans sa capacité à approcher naturellement le confort et à moindre coût» (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 29).

Alors, l'hypothèse principale envisagée est la suivante:

**L'implantation optimale du bâtiment améliore le confort hygrothermique des occupants et c'est aussi une source d'économie d'énergie**

### **Plan et contenu de la recherche**

Après une brève introduction qui présentera le thème, les objectifs, la méthodologie et la stratégie de recherche, la description du présent mémoire sera constituée de deux parties structurées en cinq chapitres organisés comme suit:

La première partie comprend trois chapitres et présente un cadre théorique. Elle englobe des données se basant essentiellement sur les différentes recherches bibliographiques se rapportant au thème. Le premier chapitre décrira l'évolution de l'enveloppe architecturale à travers le temps vis-à-vis du climat, ses conséquences sur le confort des occupants, un aperçu de l'évolution de l'enceinte habitable en Algérie et ses répercussions sur la consommation

énergétique. Il passera également en revue la notion d'économie d'énergie de même que l'analyse de l'évolution des consommations du secteur résidentiel.

Le deuxième chapitre abordera la compréhension du phénomène climatique, ses paramètres et son influence sur le confort à l'intérieur des bâtiments, dans le but d'identifier les paramètres nécessaires qu'on doit prendre en compte dans la suite de notre recherche, ainsi qu'une étude climatique et bioclimatique de la ville de Biskra, objet de l'étude.

Le troisième chapitre est consacré à l'ensoleillement et présente les concepts de l'architecture bioclimatique.

Nous proposons, sur la base des conclusions des chapitres précédents, une étude des dispositifs relatifs aux éléments climatiques favorables aux économies d'énergie pour un bâtiment en relation avec le confort hygrothermique de l'occupant. Cette dernière étude permet d'identifier les différents dispositifs architecturaux d'évaluation du confort thermique en relation avec l'efficacité énergétique, étant donné l'objectif de notre recherche, qui est l'étude de l'impact de l'implantation du bâtiment sur les ambiances internes, notamment le confort hygrothermique et la consommation énergétique.

La deuxième partie porte sur l'étude de cas et la simulation. Cette dernière montre comment, à partir des variations des dispositifs adaptés dans les chapitres précédents, il est possible d'optimiser de tels dispositifs en prenant notamment en compte la température et l'humidité sous les conditions climatiques de Biskra. Finalement, la troisième partie sera constituée d'une conclusion qui illustrera et synthétisera les résultats obtenus de cette recherche en proposant des perspectives pour des recherches futures.

## CHAPITRE 1

### L'HABITAT ET LES LEÇONS DU PASSÉ

#### 1.1 Introduction

«À chaque époque, les bâtisseurs ont essayé d'adapter l'habitat à l'environnement pour rechercher le meilleur confort thermique. D'ailleurs, le célèbre visionnaire Le Corbusier définissait l'architecture comme «le jeu savant, correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière»» (Valin, Hancock et Testard-Vaillant, décembre 2007, p. 50).

Dans le passé, l'enveloppe habitable était conçue comme un abri de contrôle thermique afin de conserver un climat agréable à l'intérieur. Les bâtisseurs s'appuyaient sur des bases de données représentatives du climat local des années précédentes, adoptaient des techniques traditionnelles basées sur les énergies naturelles leur permettant de mieux répondre aux conditions climatiques.

La « leçon du passé » est maximale. Cette dernière offre aux concepteurs des réalités d'implantation dans les sites, d'orientations, de formes et d'enveloppes architecturales qui sont directement transposables, à savoir le rapport de masses bâties et d'échanges thermiques, de choix des matériaux, d'insertion d'éléments architecturaux, etc. Cette dernière leçon est riche dans ses applications nous passerons brièvement sur les autres approches et nous illustrerons la leçon de l'architecture bioclimatique, car notre sujet de recherche en fait partie.

L'architecture à venir, qu'elle soit solaire avec ses nouvelles techniques ou bioclimatique avec ses procédés architecturaux n'existerait pas sans aucun pastiche des formes traditionnelles, ni l'architecture novatrice. Dans cette recherche, il s'agit d'examiner et d'analyser si les solutions aux problèmes élaborés dans certaines circonstances et les mécanismes du contrôle thermique mis en œuvre dans ces contextes peuvent contribuer à des innovations pour le présent et le futur.

## 1.2 La grotte

La grotte est une cavité dans la roche, un volume creusé dans une masse au sol aplani et qui permet de protéger l'homme contre les éléments extérieurs (les variations climatiques). Elle est caractérisée par une forte inertie thermique due aux caractéristiques thermiques du matériau creusé là et à l'épaisseur importante de l'enveloppe qui permet un déphasage de température entre l'intérieur et l'extérieur.

On en veut pour exemples certains villages du Sud tunisien, sous un climat quasi désertique, donc, où les températures diurnes atteignent des valeurs élevées. D'ailleurs, les populations berbères soumises à des contraintes de sécurité face aux envahisseurs ont utilisé des flancs de montagne présentant une alternance de couches horizontales dures et de couches tendres.

Dans un climat chaud et aride comme celui de la Tunisie, les avantages de l'espace souterrain sont multiples : inertie du sol, réduction de l'exposition au soleil par un ombrage maximal, réduction de l'exposition aux vents et aux poussières, etc.



Figure 1.1 Illustration d'architecture troglodytique en Tunisie  
Tirée de Izard et Guyot (1979, p. 93)



### **1.3 L'enveloppe à mur massif**

«L'habitat archaïque méditerranéen présente des configurations géométriques dont : la tour, le cube et le massif percé d'une cour (la maison à patio)» (Alexandroff et Alexandroff, 1982).

#### **1.3.1 La tour**

C'est une construction de forme ovale ou carrée à angle arrondi, couverte d'un toit conique en pierre, parfois partiellement enterrée. Elle est constituée d'un conglomérat de volume cylindrique recouvrant un volume d'air élevé. Les percements sont rares dans le toit conique, minime dans les parois verticales, et ce, pour lutter contre le froid et la chaleur. Sur le plan du confort thermique, on note une grande fraîcheur en été due à l'épaisseur des murs et au volume. En hiver le rafraîchissement est difficile et l'humidité élevée par manque de ventilation.

#### **1.3.2 Le cube**

Ce dernier est caractérisé par une forme régulière, construit avec les mêmes matériaux et techniques que ceux de la tour, avec des petites ouvertures placées en haut assurant une ventilation suffisante et une terrasse accessible servant à la vie nocturne estivale.

L'architecture n'est pas une recherche de forme pour l'œil. Elle est avant toute recherche d'accord maximal avec le climat qui lui, est permanent, et avec les conditions de vie qui elles, changent constamment (Ravéreau, Bertaud Du Chazaud et Ravéreau, 2007, p. 127).

La maison mozabite est une des réussites architecturales traditionnelles les plus parfaites. De cette adaptation découle finalement un aboutissement de l'arrangement avec la nature pour l'abri du M'zab. Cette architecture est caractérisée par ses parois lourdes et opaques permettant d'assurer une forte inertie, des ouvrants très petits placés dans la partie haute de

l'enveloppe servant à la ventilation et des murs extérieurs en moellon dont l'épaisseur peut atteindre 1 mètre à la base et 15 centimètres à l'acrotère. En hiver, les occupants réchauffent leurs maisons en ouvrant les petits ouvrants pour laisser pénétrer les rayons solaires.

Ce type particulier d'habitations « est bien armé contre l'excès de chaleur en été mais se sont résignés au froid, pour assurer, par un parti d'une simplicité quasiment unique, cette double et contradictoire protection thermique» (Alexandroff et Alexandroff, 1982, p. 28).

### **1.3.3 Le bloc percé d'une cour**

Selon Alexandroff et Jeanne-Marie, « le concept de bloc percé d'une cour ou, autrement dit, «la maison à patio» était généralement utilisée dans le monde islamique, mais on le trouve aussi dans l'Europe du Sud » (Alexandroff et Alexandroff, 1982, p. 31). La maison à patio, de couleurs claires, avait une masse thermique considérable avec très peu d'ouvertures sur l'extérieur pour minimiser la pénétration de l'air chaud et de la poussière, contrairement à l'intérieur où les ouvertures, très larges et donnant sur une cour étaient composées de deux parties supérieures servant à l'évacuation de l'air chaud et d'une partie inférieure permettant à l'air frais de pénétrer. La cour était généralement rectangulaire, orientée dans deux directions, soit du Nord-Est au Sud-Est et du Sud-Est au Nord-Ouest. Cette dernière orientation offre plus d'ombre en été et reçoit plus de soleil en hiver. Elle constitue une défense climatique à double tranchant, d'un maniement subtil et d'une efficacité toute relative; le nomadisme interne des habitants des maisons à patio en constitue d'ailleurs l'aveu.

«En effet, elle peut être aujourd'hui encore, et compte tenu des techniques les plus avancées, la seule défense véritable contre les vents desséchants chargés de sable qui l'épargnent à condition qu'elle soit assez restreinte pour ne pas créer de dépression sensible» (Alexandroff et Alexandroff, 1982, p. 34 et 35) .

### 1.3.4 Le percement de l'enveloppe

On distingue trois types de percements de l'enveloppe assurant trois rôles principaux : visibilité, éclairage et ventilation.

- Le trou : placé généralement dans la partie haute de l'enceinte, permet éventuellement l'évacuation de l'air chaud et vicié, la pénétration de la lumière et la préservation de l'intimité ;
- les claustras : fractionnent essentiellement la lumière directe et multiplient les surfaces réfléchissantes substituant l'effet de pénombre à l'effet de contraste ; ils assurent en permanence l'arrivée de l'air et l'éclairage de base ;
- les moucharabiehs : ce sont des écrans à claire-voie de grandes dimensions cloisonnant des éléments constructifs généralement en saillie du bâtiment. Ils sont réalisés soit en maçonnerie ou en bois, ce qui leur assigne évidemment des propriétés thermiques légèrement différentes. Ils permettent l'adoucissement de la lumière forte, la pénétration de l'air et la vue vers l'extérieur sans être vu.



Figure 1.2 Illustration d'un modèle de Moucharabieh de l'architecture du M'Zab  
Tirée de Picon, Potié et Baudouï (2003, p. 108)

#### **1.4 La lutte contre le froid**

On constate que, dans la réussite de l'habitat traditionnel, autant la recherche de la fraîcheur que la préservation de la chaleur sont importantes. En effet, tout ce qui protège l'habitat traditionnel contre le choc thermique des jours d'été va jouer contre son habitabilité pendant la saison où le soleil est rare et faible à cause de la masse importante des parois de l'enveloppe, des percements insuffisants qui ne permettent pas la pénétration de la lumière et l'évacuation de l'humidité et la protection rudimentaire et peu hermétique de ces rares ouvertures qui accentuent la pénétration du froid.

#### **1.5 Quand l'enveloppe se dématérialise**

Au début du 19<sup>e</sup> siècle, l'avènement du fer en tant que matériau de construction dans le sillage de la révolution industrielle et l'invention de l'ossature métallique ouvrent de nouvelles possibilités pour la conception de l'enveloppe du bâtiment.

##### **1.5.1 La verrière**

Suite au développement de l'industrie et de la construction, une nouvelle ère commence pour le bâtiment. Les verrières sont utilisées pour couvrir les grandes surfaces et résoudre les problèmes d'obscurité dans les gares, halls, rues commerciales, etc., et pour créer des espaces climatiques nouveaux.

Sur le plan thermoclimatique, la verrière ne joue aucun rôle dans le microclimat des espaces qu'elle recouvre, sinon dans le cas d'une forte chaleur où un léger réchauffement est rendu négligeable par l'ampleur du volume d'air et des courants d'air afférents. De même, «dans les espaces cols, l'énorme inertie thermique du pourtour corrige la trop grande sensibilité que toute verrière offre aux variations thermiques» (Alexandroff et Alexandroff, 1982, p. 153).

En effet, la juxtaposition des éléments de construction totalement conductibles et des éléments sur-isolés, mais discontinus, va perpétuer cette erreur : «des murs en brique double bien isolée enfermant une lame d'air centrale sont insérés dans une structure porteuse métallique dont rien ne corrige l'effet du pont thermique» (Alexandroff et Alexandroff, 1982, p. 157).

### **1.5.2 La destruction de la boîte**

Sur le plan thermique, son architecture est liée directement au choix et à la mise en œuvre des matériaux, à la détermination du volume et aux apports relatifs à l'énergie calorifique, naturelle ou artificielle. Ses maisons sont en pierre, brique ou en blocs de béton, voire en talus de terre associée à des parois isolantes avec de vastes surfaces de fenêtrages.

Son enveloppe est éclatée à tous les points cardinaux, dont le foyer (cheminée), source de chaleur, est au centre de la maison et permet de chauffer toutes les pièces de l'habitation par sa position et ses dimensions. Néanmoins, l'éclatement de la boîte augmente la surface de contact avec l'extérieur et les déperditions de chaleur seront donc importantes.

La toiture au débord est calculée à partir des angles solaires de l'hiver et de l'été, et est inspirée du toit japonais. Les percements, très différenciés, permettront une gradation d'ensoleillement, une maîtrise d'éclairage et un captage du rayonnement solaire en hiver, mais aussi des surchauffes en été.

### **1.5.3 La peau en verre**

Une approche annoncée par J.H. Fethi (Alexandroff et Alexandroff, 1982, p. 185): «n'importe quel environnement thermique peut être créé et maintenu n'importe où, à l'équateur, au pôle, même dans l'espace. Cela veut dire qu'on peut construire des bâtiments à peau en verre dans n'importe quel climat, l'ambiance intérieure sera maintenue par des moyens de contrôle thermique gourmands en énergie et polluants». De plus, ces concepteurs

mariant à la plasticité du béton, une structure en métal produisant des enveloppes d'une conductivité thermique élevée. Avec l'utilisation des stores contre les surchauffes d'été et des brise-soleil entourant l'enceinte vitrée.

#### **1.5.4 Le mur-écran**

La structure traditionnelle de la façade, ses colonnes, ses supports et ses fenêtres disparaissent et cèdent la place à des images techniques et des caractères graphiques. La façade devient un support médiatique avec des images animées, des textes en surimpression et des effets mouvants de couleur. Il semble que l'enveloppe du bâtiment se fait banal support publicitaire ou écran qui transmet des informations. D'ailleurs, le mur extérieur n'assume plus qu'une fonction d'emballage et de décors. Sur le plan thermique, des moyens mécaniques hyperconsommateurs en énergie sont employés pour assurer le niveau de confort nécessaire. On note aussi que cette enveloppe est caractérisée par une précarité énergétique, des ponts thermiques illimités, des matériaux conductibles, etc., et c'est ce qui rend obligatoire l'utilisation des moyens de contrôle thermique.

### **1.6 Quand l'enveloppe devient active**

Les solutions proposées par certains architectes et chercheurs dans ce domaine, sont d'intégrer à la construction des énergies naturelles pour assurer le confort thermique, tout en préservant l'environnement et en diminuant la consommation d'énergie. Parmi ces approches, on note les suivantes :

#### **1.6.1 L'oignon thermique**

La théorie de l'oignon thermique développé par Thomas Herzog est une approche de la technologie du contrôle thermique. Elle repose sur le principe « d'une maison au sein d'une maison » (Wines et Jodidio, 2008, p. 134), utilisant les murs successifs pour :

- récupérer efficacement le rayonnement solaire ;
- obtenir un flux d'air à température contrôlée à l'intérieur ;
- intégrer la végétation dans le processus de purification de l'air.

Le principe repose sur la relation symbiotique entre l'homme, la nature et la technologie. Ces derniers principes sont empruntés de l'architecture vernaculaire que nous avons déjà évoquée précédemment.

L'enceinte extérieure recouvre une construction centrale bien isolée capable d'emmagasiner la chaleur solaire en hiver, grâce à un transfert thermique de la chaleur qui afflue depuis les cloisons extérieures transparentes, à travers les murs du bâtiment intérieur. Et pour améliorer le processus, des portes spéciales s'ouvrent et des ventilations se mettent en marche afin d'accélérer la circulation d'air. En été, les arbres et les plantes situés entre les murs thermiques et les murs opaques fournissent notamment de l'ombre et une transpiration végétale sera bienvenue pendant que les ventilateurs font circuler l'air frais.

### **1.6.2 La maison bioclimatique**

«L'habitat bioclimatique tire parti du climat afin de rapprocher au maximum ses occupants des conditions du confort sans le recours au conditionnement d'air artificiel » (Izard et Alain, 1979, p. 99), de même qu'il s'intègre très bien avec l'environnement.

Cette habitation s'est beaucoup développée depuis les années soixante-dix. Cette dernière a donné lieu à de nombreuses recherches. Et après avoir dégagé les grands principes de la conception bioclimatique dans les ouvrages traitant principalement d'architecture ((Givoni, B. , 1978), (Alexandroff, Georges, Liebard, Alain, 1979), (Jean-Louis Izard et Alain Guyot , 1979), (Alexandroff, Georges, Alexandroff, Jeanne-Marie, 1982), (Mazria, 1983, ), (Watson, Donald, Camous, Roger, Kenneth, Laboratory, 1983) (Depecker et al, 1989), (Galeou et al , 1989), (Campredon, Jean-Pierre, Croci, Daniel, Verga, Marie-Juliette , 2002), (Déoux, Suzanne , Déoux, Pierre, 2002), (Estienne, Pierre, Godard, Alain , 2002), (Fernandez, Pierre,

Lavigne, Pierre , 2009)), il a été nécessaire de les rattacher à notre recherche qui vise à l'exploitation de ces principes passifs et de ces techniques sous les conditions climatiques de la ville objet de l'étude, pour offrir les meilleures conditions d'ambiance, au moindre coût énergétique. La présente étude s'inscrit selon deux axes : le solaire passif et la ventilation naturelle. Les principes desquels découlent des stratégies de chaud et de froid sont résumés comme suit :

### 1.6.2.1 Principes d'application des stratégies bioclimatiques

Ces derniers reposent sur deux stratégies :

- stratégie du chaud en hiver

Après s'être correctement protégé du vent, définir la forme du bâtiment bénéficiant de l'apport solaire par :

- captage du rayonnement solaire à travers les fenêtres ;
- stockage de la chaleur ou de la fraîcheur par le choix des matériaux qui ont une forte masse thermique ;
- conservation de la chaleur par l'utilisation des matériaux isolants ;
- distribution de la chaleur stockée par rayonnement au moment nécessaire.

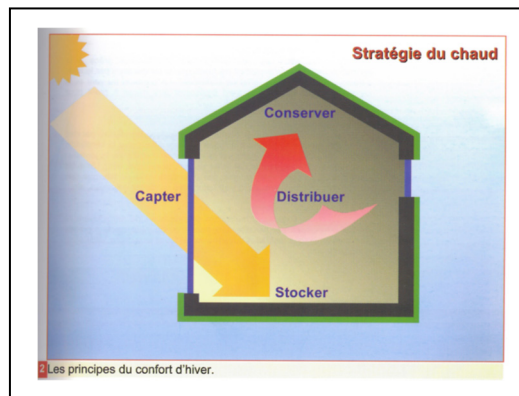


Figure 1.3 Illustration de stratégies du chaud, les principes du confort d'hiver  
Tirée de Liébard et Herde (2005, p. 31)



- stratégie du froid en été

L'objectif est d'apporter des solutions à la production de froid sans utilisation de systèmes actifs. Une configuration optimale permettant de tirer parti de l'environnement, pour une ventilation naturelle pouvant permettre, par des surventilations nocturnes, une diminution de la température intérieure et ce, par :

- se protéger du rayonnement solaire et des surchauffes par les brise-soleils, les masques, les arbres caducs ;
- éviter le transfert de chaleur à travers les parois par le choix des matériaux isolants ;
- rafraîchir. Il s'agit, par un dispositif naturel, d'apporter la fraîcheur dans l'habitat, et ce, par la présence de l'eau (bassin, fontaine, etc.), ou par un puits canadien ;
- dissiper. Il s'agit de dissiper l'air chaud rentré dans l'habitat pendant la journée ou produit par les activités à l'extérieur de la bâtisse par la ventilation nocturne.

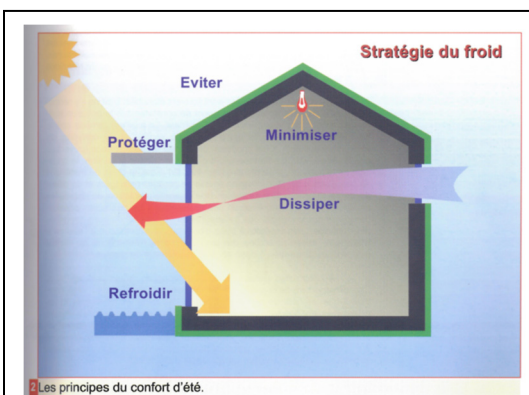


Figure 1.4 Illustration de stratégies du froid, les principes du confort d'été  
Tirée de Liébard et Herde (2005, p. 32)

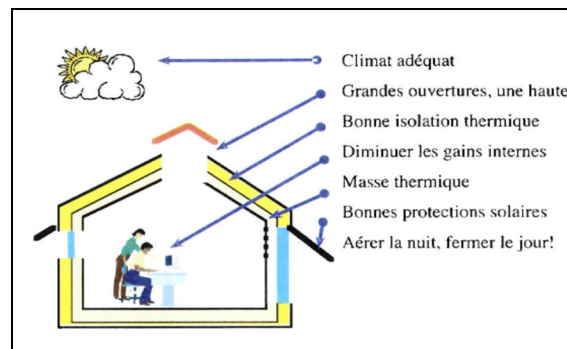


Figure 1.5 Illustration de conditions nécessaire  
pour un refroidissement passif efficace  
Tirée de Roulet (2008, p. 172)

Une autre méthode permettant de diminuer les besoins de chauffage est celle de zone-tampon. Une zone telle qu'un garage, placée du côté Nord, permet de diminuer les pertes du bâtiment vers l'extérieur. Une autre zone, telle qu'une véranda, placée au Sud, bien conçue, peut également jouer un rôle de zone-tampon, et peut même permettre de préchauffer de l'air. D'autres zones de tampon peuvent permettre le rafraîchissement d'air grâce à la ventilation naturelle.

Le bâtiment peut s'enrichir d'une gamme de dispositifs et d'espaces tampons très riches conçus en tenant compte du climat, dont la multiplicité et l'adéquation finissent par produire un confort relatif. Ces espaces de prolongement contribuent à enrichir la relation spéciale privilégiée et climatique entre l'espace intérieur et extérieur, composant la façade et jouant un rôle actif dans le comportement thermique de l'enveloppe comme l'iwan, le porche, la loggia et le balcon. Ces derniers sont des éléments saillants qui apportent leur ombre sur la façade en jouant un rôle important de protection solaire.

Ces espaces demeurent dans l'ombre tout au long de la journée et donc, présentent des températures plus basses que celles de l'extérieur. On distingue parmi eux «Les loggias jouent un rôle beaucoup plus important de brise-soleil » (Alexandroff et Alexandroff, 1982, p. 45) .

## Illustrations

Cela nous permettra de présenter quelques exemples des réalisations adoptant ces stratégies bioclimatiques encore trop peu connues et qui soient représentatifs des diverses démarches de conception face aux différents types de climats :

La figure 1.6 illustre la protection contre le rayonnement solaire par des choix architecturaux, comme à Kairouan, Tunisie.

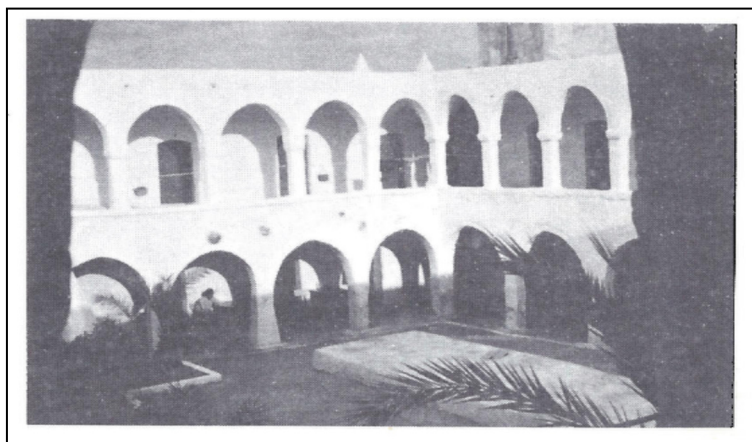


Figure 1.6 Illustration d'intégration d'un dispositif architectural  
Comme une protection solaire et un refroidissement passif efficace  
Tirée de Izard et Guyot (1979, p. 93)

Un deuxième exemple figure 1.7 illustre le traitement des façades liées au soleil. C'est le cas de Couvent de la Tourette, dont Le Corbusier fut l'architecte et où les façades Sud-Est et Sud-Ouest sont équipées de loggias. C'est aussi le cas de reconstructions des façades du Vieux- Port à Marseille par F. Pouillon, où de profondes loggias exposées plein Sud, permettent la pénétration solaire d'hiver, tout en l'empêchant l'été.

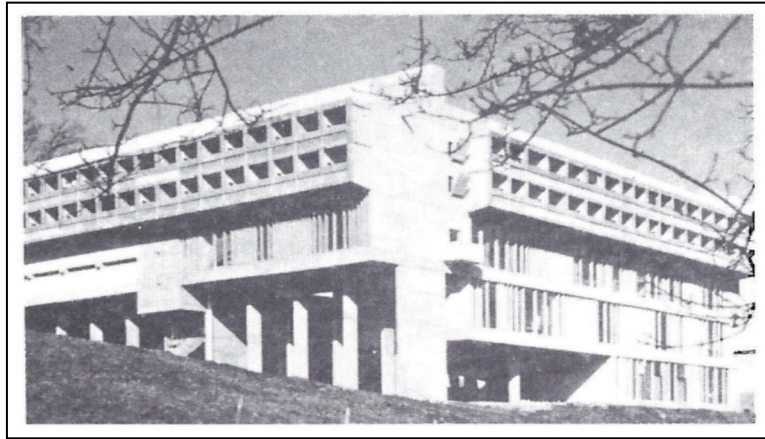


Figure 1.7 Illustration d'intégration d'un dispositif architectural tel que la loggia, ayant comme rôle une protection solaire et un refroidissement passif efficace  
Tirée de Izard et Guyot (1979, p. 95)

Un troisième exemple, figure 1.8 où le Groupe ABC à, lui aussi, mis en œuvre les principales bioclimatiques dans une maison construite à Lascours. Un équilibre a été recherché entre le bas profil énergétique, la récupération du rayonnement solaire et la satisfaction des exigences du confort d'été.

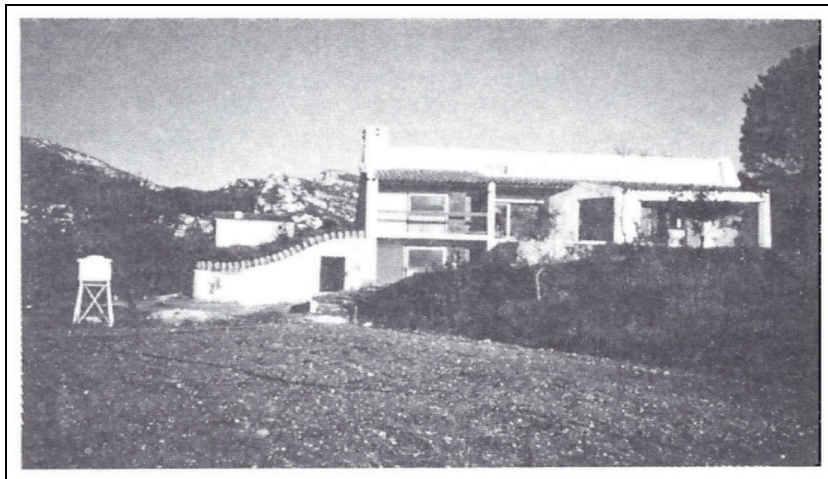


Figure 1.8 Illustration d'une réussite de l'architecture bioclimatique  
Tirée de Izard et Guyot (1979, p. 95)

«Les balcons – loggias de l'immeuble de la rue des Amiraux (Paris, 18<sup>e</sup>), constituent l'un des compromis les plus brillants entre problèmes d'ensoleillement et intimité urbaine» (Alexandroff et Alexandroff, 1982, p. 159).

Pour en terminer avec les illustrations, il faut évoquer les réalisations du M'zab, selon André Ravéreau. Le M'Zab est une des réussites architecturales traditionnelles les plus parfaites, relevant du bioclimatisme, ou du moins, s'en réclamant. L'organisation intérieure et son utilisation constituent une autre leçon d'adaptation au climat. Le patio, qui constitue le principal intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur, a deux fonctions : celle de puits à lumière et celle de régulateur thermique figure 1.9.

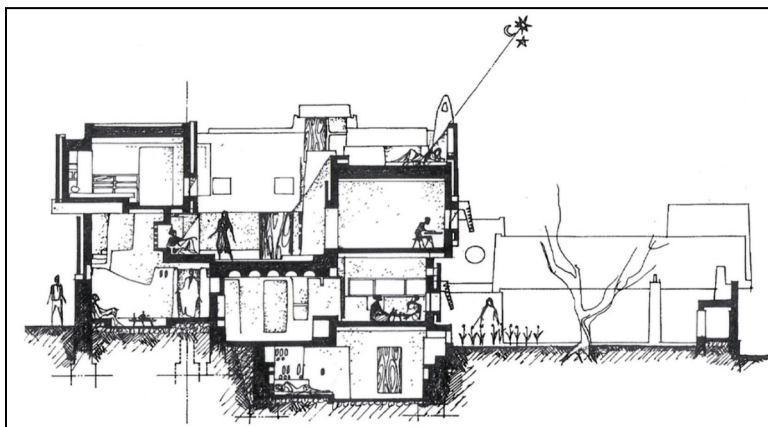


Figure 1.9 Illustration d'une réussite de l'architecture du M'Zab  
Tirée de Picon, Potié et Baudouï (2003, p. 145)

La conception bioclimatique se décline donc sous forme de stratégies pour lesquelles le défi à relever consiste à trouver un consensus entre des procédés qui peuvent sembler contradictoires (capter et se protéger du soleil !) et une protection contre le vent à la façon dont on peut tirer parti de la ventilation naturelle. Ces dispositifs architecturaux, permettant de respecter ces stratégies et feront l'objet des prochains chapitres.

Voilà fixés, par ces stratégies, les objectifs à atteindre dans cette recherche.

### 1.6.3 La maison solaire

«La maison solaire est conçue essentiellement pour obtenir une partie ou la totalité de son chauffage à partir du soleil» (Watson, 1979, p. 13), Soit :

- d'une manière passive : par l'orientation des fenêtres, de façon à capter les rayons du soleil en hiver, emmagasiner la chaleur dans les murs et les dalles placés à l'intérieur et la distribuer. Le rayonnement solaire constitue la source principale de son chauffage,
- d'une manière active : par l'installation des capteurs et des unités de stockage de chaleur sur l'enveloppe du bâtiment afin de chauffer l'eau domestique, produire de l'énergie électrique par les panneaux photovoltaïques, etc.

«Les systèmes actifs permettent de produire une ambiance homogène, modifiable à la demande, indépendante des aléas du climat, bref, conforme aux normes courantes actuelles du confort» (Alexandroff et Alexandroff, 1982, p. 220) , contrairement aux techniques passives qui sont directement soumises aux variations du climat et peuvent induire des ambiances intérieures inconfortables et non contrôlées.

Cette architecture repose essentiellement sur l'intégration du bâtiment à son milieu environnemental et passe par la suite à une architecture qui intègre les nouvelles technologies liées à la production, à la transformation et à la distribution des énergies permettant de tirer une grande partie ou la totalité de son chauffage à partir du soleil. Ainsi, la maison solaire se distingue par la performance de l'enveloppe et les soins mis pour tirer partie des gains solaires directs afin de couvrir la saison du chauffage.

## 1.7 L'évolution de l'enveloppe habitable en Algérie

On a constaté trois types d'enveloppes correspondant aux trois périodes :

- la première période concerne l'architecture vernaculaire : l'enveloppe habitable était lourde, percée de petites ouvertures placées dans la partie haute afin d'évacuer l'air chaud et vicié. Ces dernières protègent l'intérieur de la bâtisse contre les variations climatiques. L'organisation des différents espaces était autour d'un espace où se déroulent la plupart des activités quotidiennes, qui est le patio. Ce dernier était aménagé avec une fontaine au centre et des plantes pour améliorer le microclimat intérieur. Des terrasses étaient accessibles, leur utilisation était généralement pendant les nuits estivales où l'intérieur est chaud à cause des rayonnements solaires stockés dans la masse des parois. Les matériaux utilisés avaient une forte masse thermique comme le toub, la pierre, etc., dont le déphasage du transfert de chaleur est important. Ce type d'enveloppe à patio est caractérisé par la fraîcheur d'été et le froid d'hiver, car le patio est un accumulateur de froid et l'échange de chaleur se fait entre les parois intérieures et ce dernier ;
- la deuxième période est celle de l'architecture coloniale : l'enveloppe de cette période est caractérisée par ces parois lourdes en pierre de 50 centimètres et plus d'épaisseur, des balcons et de grandes ouvertures pour profiter du soleil et chauffer l'enveloppe d'une manière passive, avec l'utilisation de la cheminée pendant l'hiver froid. La protection solaire a été assurée par des brise-soleils, persiennes en bois et porte-à-faux des balcons, vu l'importance du rayonnement solaire. Des cours intérieures ont été conçues comme des puits de lumière permettant l'aération et la ventilation des espaces donnant sur celles-ci ;
- le troisième type est celui de la période postcoloniale à nos jours : l'habitat est l'une des priorités du pays. De nombreuses réalisations sont visibles à travers le pays ; l'objectif numéro un, bâtir, pour satisfaire les besoins de la société. L'enveloppe est caractérisée par une architecture répétitive et identique d'une cité à une autre et d'une région à une autre et en ignorant le facteur climatique, culturel et le confort de l'occupant. La composition est marquée par une implantation des immeubles d'habitat d'une forme architypique, dispersée et éclatée où on trouve des façades similaires exposant leurs baies aux conditions climatiques, avec une orientation arbitraire des bâtiments où le même prototype peut être soumis à diverses orientations. Sans oublier l'usage des matériaux non adaptés aux exigences climatiques, tout cela augmentant les déperditions de chaleur

et, rendant le besoin en chauffage et en climatisation plus important. Ce type d'enveloppe est hyperconsommateur d'énergie, trop froid en hiver et très chaud en été. Les ambiances intérieures sont améliorées par l'utilisation des appareils mécaniques de chauffage et de climatisation. Par conséquent, des modifications et des transformations ont été faites dans les logements et sur les façades des bâtiments par les occupants afin de répondre à leurs besoins et à leur mode de vie.

Cet état de chose a donc été récupéré par les occupants en cherchant leur confort, ont recours aux moyens mécaniques de chauffage et de climatisation en consommant l'énergie, ce qui devient un mauvais investissement pour le pays et pour les individus.

## **1.8 Consommation énergétique en Algérie**

En 1995, la consommation nationale d'énergie a été de 25,3 MTEP avec une pénétration plus grande des produits gazeux, plus disponibles dans le bilan des ressources. Concernant la consommation finale, c'est le secteur résidentiel et tertiaire qui domine (45,7 %), suivi des secteurs des transports (27,8 %) et l'industrie BTP (26,8 %). «La part de la consommation finale représente près de 62% de la consommation nationale» (Ministère de l'énergies et des mines, 2009).

Entre 2000 et 2007, la consommation énergétique finale nationale a enregistré un taux de croissance moyen annuel de l'ordre de 6,32%. L'intensité énergétique finale a atteint 6 TEP/MDA en 2007, soit 0,411 TEP pour 1000 dollars de PIB et soit deux fois plus que dans les pays de l'OCDE. Ainsi, «l'économie nationale consomme deux fois plus pour créer la même unité de valeur ajoutée, avec une intensité énergétique primaire de 3,82 TEP/MDA, soit 0,27 TEP/1000\$» (Ministère de l'énergies et des mines, 2009).



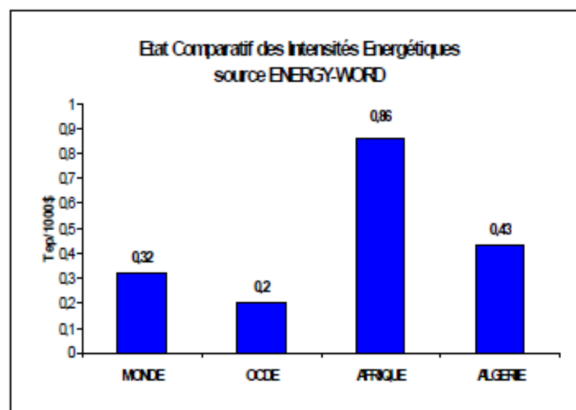


Figure 1.10 État Comparatif des intensités énergétiques  
Tirée de Ministère de l'énergies et des mines (2009)

### 1.8.1 Consommation finale par secteur d'activité

Tableau 1.1 Organisation des contenus sur le thème de l'énergie  
Tiré de Ministère de l'énergies et des mines (2009)

Consommation finale par secteur d'activité (10 <sup>3</sup> TEP)	2006		2007		2008		2009	
	KTEP	(%)	KTEP	(%)	KTEP	(%)	KTEP	(%)
Industrie et BTP	6507	25.3	6779	24.60	7130	24.60	7380	24.00
Transport	6035	23.5	6450	23.40	9384	32.40	10264	33.40
Ménages et Autres	13173	51.2	14308	52.00	12442	43.00	13063	42.50
<b>TOTAL</b>	<b>25715</b>	<b>100.00</b>	<b>27537</b>	<b>100.00</b>	<b>28956</b>	<b>100.00</b>	<b>30707</b>	<b>100.00</b>

La consommation finale est passée de 29,0 en 2008 à 30,7 MTEP en 2009, soit une croissance de 6,0%. Par secteur d'activité, les performances sont données comme suit :

- secteur «Industrie et BTP» ont connu une croissance de 3,5%, pour atteindre 7,4 MTEP en 2009 ;
- secteur «Transports» a atteint 10,3 MTEP en 2009 contre 9,4 MTEP en 2008, soit un taux de croissance de 9,4% ;

- secteur «Ménages et autres» ont augmenté de 5,0%, passant de 12,4 MTEP en 2008 à 13,1 MTEP en 2009.

La consommation du secteur "Ménages et autres", représentant plus de 50% de la consommation finale, a atteint un niveau de 13,1 MTEP en 2009 avec une croissance forte de 5%, due essentiellement à la consommation du gaz naturel et de l'électricité, du fait de conditions climatiques exceptionnelles (fortes températures et taux d'humidité élevé sur une longue durée).

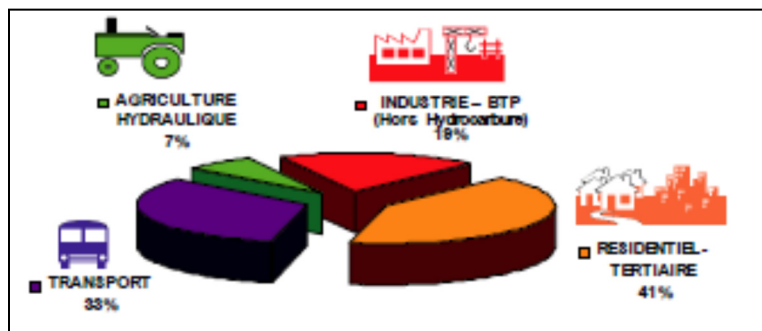


Figure 1.11 Consommation finale par secteur d'activité en 2007  
Tirée Ministère de l'énergies et des mines (2009)

## 1.8.2 L'analyse de l'évolution des consommations du secteur résidentiel

### 1.8.2.1 Consommation du secteur résidentiel par type d'énergie

La consommation finale du secteur résidentiel a atteint 6,5 millions de TEP, avec une consommation énergétique moyenne annuelle pour un logement de 1,048 TEP et une consommation moyenne de 0,581 TEP/hab.

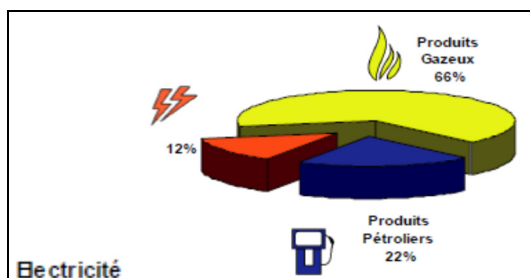


Figure 1.12 Consommation finale par type d'énergie du secteur résidentiel en 2007  
Tirée Ministère de l'énergies et des mines (2009)

La consommation électrique du secteur résidentiel a atteint 770 KTEP. Elle représente 33 % de la consommation totale d'électricité. Ce secteur résidentiel a atteint 436 KTEP en produits gazeux, soit 70% de la consommation totale des produits gazeux. Il représente, de ce fait, «le premier secteur grand consommateur d'énergie électrique au niveau national» (Ministère de l'énergies et des mines, 2009).

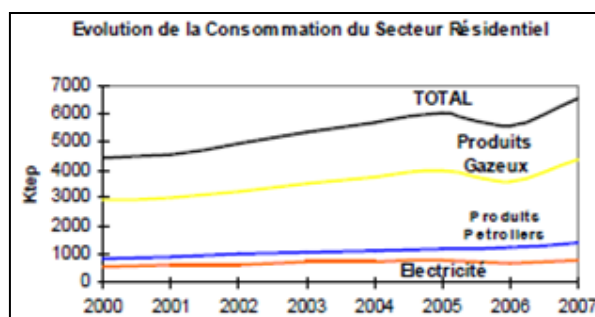


Figure 1.13 Évolution de la consommation du secteur résidentiel en 2007  
Tirée Ministère de l'énergies et des mines (2009)

Les différents types d'énergie nous servent globalement à quatre différents usages :

- 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% (Chitour, 1994, p. 41).

En étudiant ces chiffres, la consommation importante du gaz et de l'électricité dans l'habitat revient essentiellement à l'utilisation intense du chauffage en hiver et de la climatisation en été. Il est à noter que la production d'électricité à partir des sources renouvelables représente 0,006% du bilan national de production. D'où la nécessité d'exploiter les différentes énergies naturelles plus étendues et l'adoption des solutions passives pour limiter au maximum le recours à l'énergie d'appoint.

La politique énergétique préconise l'accroissement de la contribution des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national. «L'objectif est d'atteindre une contribution de l'ordre de 6% dans le bilan de production électrique pour l'horizon 2015 à travers les filières photovoltaïque, thermique solaire et éolienne» (Ministère de l'énergies et des mines, 2009).

## 1.9 Synthèse

Nous avons vu l'évolution de l'enveloppe d'un bâtiment à travers le temps. Tout d'abord, avant que l'enceinte habitable soit construite, la grotte, puis, l'homme commence à sortir de la terre et à construire sur le sol en tenant compte du climat : des maisons-tours fermées avec des toits coniques et de rares ouvertures ; des maisons-cubes avec de petites ouvertures placées dans la partie haute donnant sur l'extérieur ; et des maisons à patio dont la façade donnant sur l'extérieur est aveugle, contrairement à la façade intérieure composée de grandes ouvertures donnant sur la cour.

Ces trois types d'enveloppes de l'habitat vernaculaire du bassin méditerranéen sont caractérisés par des parois lourdes et opaques, de minimales ouvertures sur l'extérieur, des matériaux à forte inertie thermique comme la pierre et la terre crue assurant un déphasage de température entre l'intérieur et l'extérieur. Tout cela pour atténuer la chaleur d'été. Quant à la

lutte contre le froid, les habitants se contentent de se chauffer près du petit coin feu de cuisson.

Ensuite, l'enveloppe massive du bâtiment est devenue de plus en plus légère par l'emploi des éléments structuraux et d'autres, non. L'ossature métallique et la structure en béton ont favorisé l'allègement de la façade, de même que l'utilisation des panneaux en verre. En bref, le processus de dissipation et de dématérialisation de l'enveloppe était lié directement à l'émancipation progressive de sa fonction portante. En effet, ce n'est pas que grâce aux éléments structuraux, qui offrent la possibilité d'ouvrir les murs jusqu'à les réduire à une peau de verre fine que l'on suspendit comme frontière devant la structure en ignorant le climat et son influence sur l'ambiance intérieure. Et par conséquent, l'utilisation des moyens de contrôle thermique gourmands en énergie et très polluants devient une nécessité pour assurer le confort thermique.

Et, enfin, pour lutter contre le réchauffement climatique et les défaillances de l'architecture industrielle et internationale du point de vue thermique, des approches ont été développées par des chercheurs architectes thermiciens, réalisées sur le terrain. Comme par exemple, l'oignon thermique, qui repose sur trois principes : l'homme, la technologie et le site ; l'approche bioclimatique qui tire parti du climat et de l'environnement immédiat ; la maison solaire, qui fonctionne à partir du soleil – le soleil est la source principale de son chauffage – ; et l'enveloppe à paroi intelligente, dont le mur extérieur peut assurer plusieurs fonctions en même temps suivant le climat, l'ambiance intérieure et les besoins des occupants.

De là, nous retiendrons que l'enceinte habitable dépend du climat, des matériaux de construction et notamment du choix du concepteur, car à cause du manque de savoir-faire de ce dernier et de son ignorance du climat lors de la conception, nos constructions souffrent de mauvaise implantation, de mauvaise orientation, manque de ventilation, etc. et, par conséquent, on aura des ambiances thermiques inconfortables.

Confronté à ce problème, l'occupant aura recours à l'utilisation des moyens mécaniques qui aboutissent à des consommations énergétiques exagérée, ce qui entraînera un gaspillage considérable en énergies, perçu également sur les factures des occupants, ainsi que sur l'économie du pays. Le deuxième traitera donc du climat en relation avec le confort.

## **CHAPITRE 2**

### **CLIMAT ET CONFORT**

#### **2.1 Climat**

##### **2.1.1 Introduction**

«Tout concepteur a besoin de connaître le climat du lieu où il doit construire. C'est-à-dire le régime de la température et de l'humidité de l'air, le régime et la nature des précipitations, l'ensoleillement, le régime et la nature des vents durant le cycle annuel complet» (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 101). Les «principaux éléments climatiques à considérer, lors de la conception d'un bâtiment, sont le rayonnement solaire, le rayonnement de grande longueur d'onde du ciel, la température d'air, l'humidité, le vent et les précipitations (pluie, neige, etc.)» (Givoni, 1978, p. 21). Dans cette perspective, nous jugeons très utile la connaissance des phénomènes du climat de la région objet d'étude, ainsi que ses variations et leurs combinaisons dans la conception dans l'habitat et son confort.

Ce chapitre, par conséquent, abordera une étude théorique climatique de la région de Biskra, Algérie, le confort, le confort hygrothermique, ainsi qu'une analyse bioclimatique de cette dernière qui servira de base pour définir la zone de confort, de même que ses limites et les différents éléments de conception architecturale influant sur le confort.

##### **2.1.2 Échelles des éléments du climat**

«Les oppositions entre les différentes parties du globe concernent des fractions d'espace d'un ordre de grandeur varié ; plus un climat est décrit en détail, et plus l'espace concerné par cette description est réduit ; plus la compréhension du concept de climat est enrichie, et plus son extension est réduite. En allant des climats à faible compréhension et à forte extension aux climats à forte compréhension et à faible extension, on rencontre successivement : les climats zonaux, les climats

généraux, les climats régionaux, les climats locaux, les microclimats» (Durand-Dastés, 2011).

### 2.1.3 Climat en Algérie

L'Algérie, pays du Nord-africain, est un vaste territoire d'une superficie de 2 381 741 Km<sup>2</sup>, compris entre 18° et 38° de latitude Nord et entre 9° de longitude Ouest et 12° de longitude Est, figure 2.1. «À cette vaste étendue territoriale correspond une diversité de zones climatiques qu'on peut classer en deux grandes catégories» (Dib, 1993).

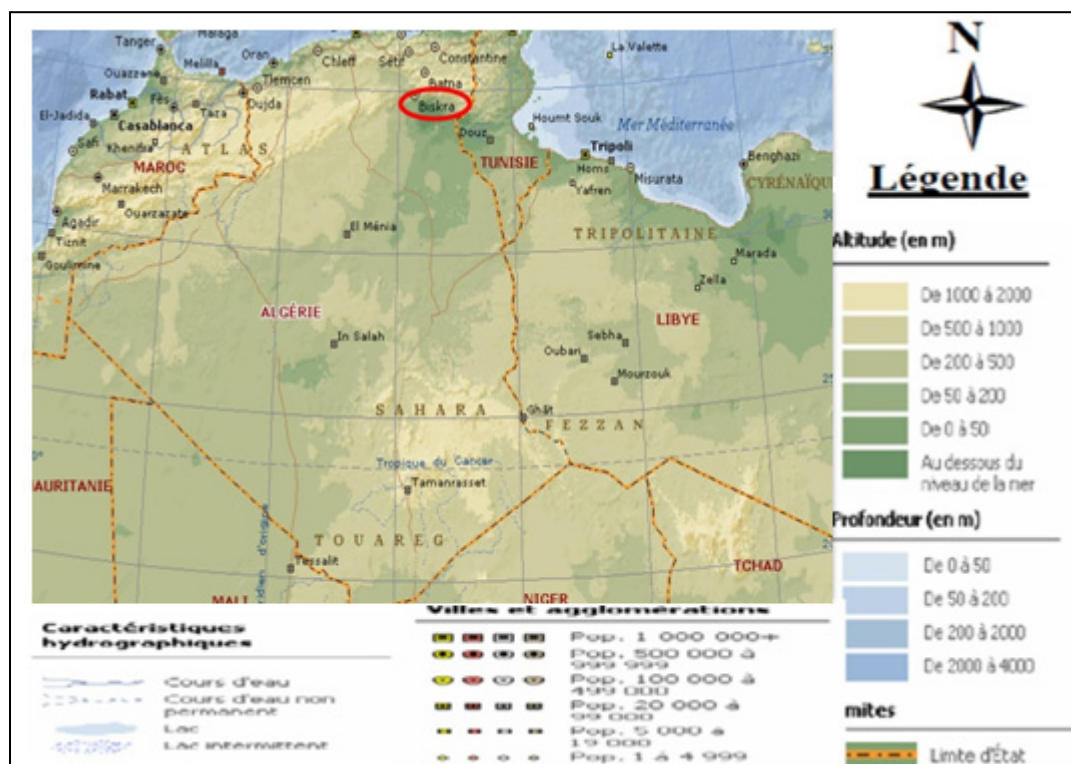


Figure 2.1 Situation de l'Algérie  
Tirée de encarta, 2005



Zones climatiques d'hiver :

- la zone H1 subit l'influence de la proximité de la mer;
- la zone H2 subit l'influence de l'altitude;
- la zone H3 subit l'influence de la latitude.

Ces trois zones sont classées en fonction de l'altitude en sept sous-zones comme suit :

- sous-zone H1a : littoral mer, altitude < 500m : caractérisée par des hivers doux avec des amplitudes faibles;
- sous-zone H1b : arrière littoral montagne, altitude > 500m : caractérisée par des hivers plus froids et plus longs;
- sous-zone H2a : atlas tellien- montagne, 1 000m < altitude < 1500m : caractérisée par des hivers froids et un écart de température diurne important;
- sous-zone H2b : atlas saharien-montagne, altitude > 1 500m : caractérisée par des hivers encore plus froids;
- sous-zone H3a : présaharien, 500m < altitude < 1 000m : caractérisée par des hivers très froids la nuit par rapport au jour. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants;
- sous-zone H3b : Sahara, 200m < altitude < 500m : caractérisée par des hivers moins froids que la zone H3a avec des écarts de température diurne;
- sous-zone H3c : Hoggar, altitude > 500m : caractérisée par des hivers très froids analogues à la zone H3a, mais qui persistent même durant la journée.

Zones climatiques d'été :

Cinq zones déterminent les zones climatiques d'été :

- la zone E1 subit l'influence de la proximité de la mer;
- la zone E2 subit l'influence de l'altitude;

- la zone E3, E4 et E5 subissent l'influence de la latitude.

Chaque zone a les caractéristiques suivantes :

- la zone E1, littoral : caractérisée par des étés chauds et moins humides. L'écart de température diurne est faible;
- la zone E2, hauts plateaux- montagne : caractérisée par des étés plus chauds et moins humides avec des écarts de température diurne importants;
- la zone E3, pré-Sahara – tassili : caractérisée par des étés très chauds et secs, mais moins pénibles qu'en zone E4;
- la zone E4, Sahara : caractérisée par des étés secs, mais plus chauds et plus secs qu'en zone E3;
- la zone E5, Tanegrouft : caractérisée par des étés chauds et secs et extrêmement pénibles par rapport aux zones E3 et E4. (Dib, 1993) (figure 2.2).

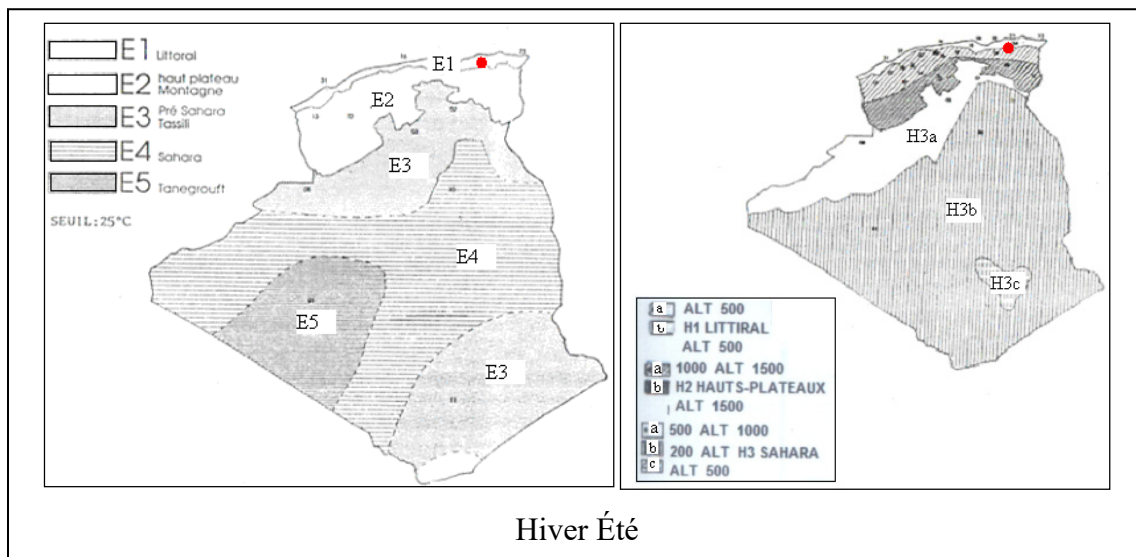


Figure 2.2 Les zones climatiques en Algérie  
Tirée d'ENAG (1993)

### **2.1.4 Classification climatique**

D'après la classification zonale indiquée plus haut, «la ville objet de l'étude est située dans la zone climatique d'hiver H2a et la zone climatique d'été E2» (Dib, 1993) (figure 2.2) possédant :

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

### **2.1.5 Analyse climatique de la ville de Biskra**

#### **2.1.5.1 Présentation de la ville**

La ville de Biskra est située dans une oasis fertile au sud-ouest du massif de l'Aurès. Biskra est un centre de commerce pour les nomades de la région. La culture des fruits (dattes, olives, abricots et grenades) représente une activité dominante. Son climat doux en a fait une station thermale populaire. Biskra se situe au sud-est de l'Algérie, à une latitude de 34° 48' Nord et une longitude de 5° 44' Est. Elle s'élève à une altitude de 81 mètres.

#### **2.1.5.2 Analyse des données climatiques**

Pour caractériser un climat d'une région, selon Estienne (1974), on se base sur les données moyennes et extrêmes. On mesure les amplitudes moyennes des températures annuelles entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid et les amplitudes des extrêmes absolus des températures quotidiennes. De ce fait, et dans le but de mieux définir les caractéristiques du climat de Biskra, il est utile de se baser sur des données météorologiques mensuelles relevées à la station météorologique de cette dernière sur la période 1990-2000 et d'élaborer son diagramme solaire.

**Tableau 2.1 Données météorologique mensuelles de Biskra (1990-2000)**  
**Relevées de la station météorologique de Biskra**

		Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
températures	Températures Moyennes max °c	17.04	19.50	23.60	26.77	31.04	37.02	40.81	39.54	33.89	29.14	21.77	17.51
	Températures Moyennes min °c	7.1	8.0	11.3	15.0	20.0	24.7	27.6	27.8	23.3	18.0	11.9	7.8
	Températures Moyennes annuelle °c	8.28	13.54	17.41	20.92	26.30	31.54	34.41	34.08	28.96	22.81	16.54	12.28
humidité	Humidité relative moyenne max %	79.1	69.5	63.8	52.7	51.8	46.2	41.5	46.3	58.6	64.9	73.3	79.3
	Humidité relative moyenne MIN %	39	29.4	24.9	20.7	20.6	17.6	16	17.8	25.7	29.8	36.1	40.5
	Humidité relative moyenne annuelle %	59.3	47.9	41.9	38.1	33.1	28.8	26	29.6	39.6	46.5	53.5	60.8
vent	Vent moyen m/s	4.51	4.60	4.76	6.24	6.00	4.98	4.32	4.13	4.50	4.17	4.57	4.48
preci	Précipitations mm	28.09	5.20	16.60	22.83	9.93	4.33	0.38	4.07	8.53	10.14	18.60	14.53
	INSOLATION (en heures)	221.89	259.78	286.11	294.00	324.11	349.44	357.89	325.89	273.11	262.33	220.22	223.22

### 2.1.5.3 Interprétation des données climatiques

L'interprétation des données météorologiques de Biskra, période 1990-2000, fera ressortir ce qui suit (figure 2.3) :

- température de l'air

La température moyenne annuelle est de 16,20 °C, avec 34,41°C en juillet pour le mois le plus chaud et 8,28°C en janvier pour le mois le plus froid. La courbe des températures moyennes mensuelles évolue d'une manière régulière, les amplitudes ne sont pas très

contrastées. Par contre, l'amplitude des valeurs annuelles est de  $30,35^{\circ}\text{C}$ , ce qui distingue les deux périodes qui forment l'année; une période très chaude et sèche, qui s'étale du mois de juin au mois de septembre, et une autre plus longue, caractérisée par le froid et l'humidité et qui s'étale du mois d'octobre au mois de mars. Exceptionnellement, le mois d'octobre rejoint la courte durée de période où le temps est clément, celle des mois d'avril et mai durant lesquels les températures sont comprises entre  $12^{\circ}\text{C}$  et  $18^{\circ}\text{C}$  et les degrés d'humidité et de précipitations restent moyens, pour participer à l'adoucissement du temps. Les variations diurnes varient entre  $13^{\circ}\text{C}$  et  $16^{\circ}\text{C}$ , et peuvent évoluer au-delà de  $23^{\circ}\text{C}$  pendant la saison froide (hiver) durant laquelle le thermomètre descend en dessous de zéro.

- humidité relative

La courbe de l'humidité relative décroît dans le sens inverse de celle des températures et des radiations solaires. Les moyennes mensuelles ne dépassent pas 60% pour les périodes humides, ce qui laisse penser à un climat hivernal froid et sec.

- ensoleillement

L'ensoleillement est considérable. Le nombre d'heures d'ensoleillement pour les périodes chaudes dépasse 14 heures par jour. En hiver, il est de l'ordre de 10 heures. Ceci permet de considérer également l'énergie incidente sur le sol qui, à son tour, n'est pas négligeable. «En été, au mois juillet, la quantité d'énergie incidente sur un plan horizontal est de  $6682 \text{ Wh/m}^2$ » (Capderou, 1985, p. 140). Ce potentiel solaire qu'offre le climat de Biskra est prometteur pour l'intégration des procédés architecturaux passifs dans les bâtiments. Cependant, une problématique de surchauffe se pose pour la période d'été.

- précipitations

La répartition annuelle des précipitations est marquée par une importante période de sécheresse (cinq mois : mai, juin, juillet, août, et septembre) où les précipitations sont très faibles et, si, elles existent, tombent sous forme d'orages. Le reste paraît plus humide.

- les vents

Les vents qui prédominent à Biskra sont de direction nord et nord-ouest avec des vitesses moyennes qui varient entre 2,3 m/s et 2,9 m/s, pour une moyenne annuelle de 2,4 m/s, et une fréquence moyenne de 45%. Ces vents sont froids et humides pendant la période hivernale. Les vents de sable (sirocco) soufflent au moins une fois par an, en été particulièrement.

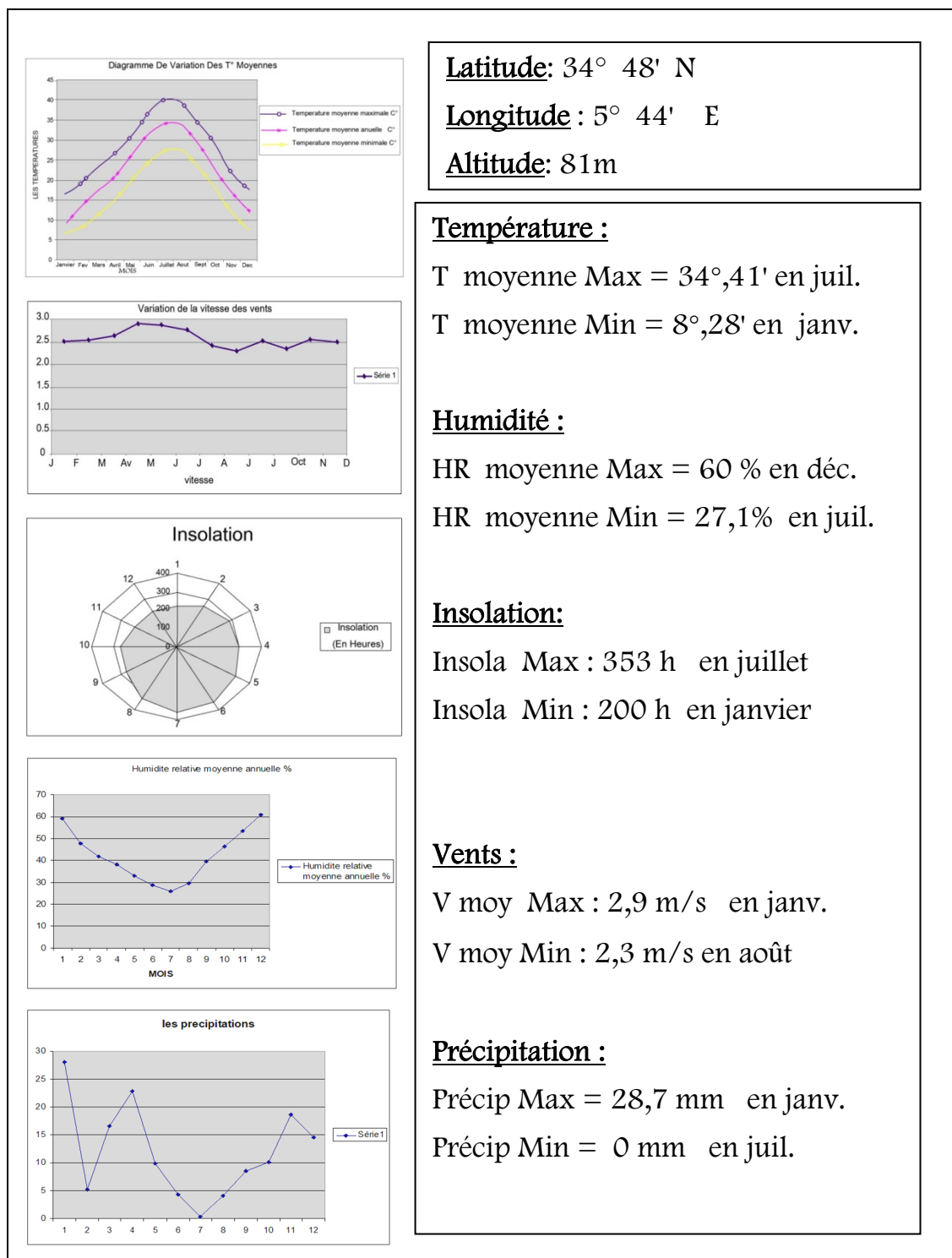


Figure 2.3 Interprétation des données météorologique de Biskra (1990-2000)  
Tirée de la station météorologique de Biskra et réadapté par l'auteur (2011)

### **2.1.6 Classification du climat pour la conception bioclimatique**

Selon Evans (2007), la détermination des types de climats et des zones représentatives de chaque type se base d'abord sur les dispositifs et les données météorologiques. Trois climats de base sont définis: chaud-humide, chaud-sec et transitoire, avec trois climats secondaires qui sont les climats de montagne, maritime et désert, et île tropicale.

- méthode de Koenigsberger

Selon Evans (2007) « Koenigsberger et autres (1970), Koenigsberger et autres (1977), Evans (1980), Liloyd Jones (1998) et d'autres auteurs emploient la classification de climat présentée ou une autre semblable, afin d'établir des directives de conception pour différentes régions bioclimatiques. » Les variables climatiques caractéristiques de cette classification climatiques sont récapitulées dans le tableau 2.2



Tableau 2.2 Classification climatique : la note (x) indique des saisons courtes aux conditions définies, où les variations possibles de climat  
Tiré de Evans (2007)

Climatic variable		Warm humid	Hot dry	Comfort	Cold	Very cold
Typical temperature°C		20-30	15-35	15-25	5-15	< 5
Relative humidity%		> 80 %	< 60%	60-80	-	-
Temperature swing deg C		< 10°C	> 12°C	8-12	< 10 °C	-
Climate classification	Latitude					
Warm humid	0-15°	<b>x</b>				
Hot dry	20-35°		<b>x</b>	<b>x</b>		
Transition	10-30°	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>		
Monsoon	5-30°	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>(x)</b>	<b>x</b>	
Equatorial upland	0-20°			<b>x</b>	<b>(x)</b>	
Maritime desert	20-35°	<b>x</b>	<b>x</b>			
Subtropical	30-40°	<b>(x)</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	
Temperate	40-50°			<b>x</b>	<b>x</b>	
Alpine-Andean	30-50°			<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
Cool temperate	40-55°			<b>x</b>	<b>x</b>	
Cold	>50°			<b>(x)</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
Very cold	>60°				<b>x</b>	<b>x</b>

Selon cette méthode, en se basant sur l'interprétation des données climatiques de Biskra et la répartition des saisons principale et secondaire du climat qui viennent d'être présentées, le climat de la région de Biskra s'avère un climat à états largement variables. Il est caractérisé par des mois chauds et secs, des mois de confort et des mois froids. En regard de sa latitude de 34°51' Nord, la région de Biskra s'inscrit dans la zone à climat subtropical (Tableau 2.2).

### 2.1.7 Mesure de l'indice d'aridité

L'indice d'aridité (De Martonne, 1923); (Davoust, 2011) est défini comme le rapport entre la hauteur moyenne des précipitations annuelles et la moyenne des températures annuelles :

$$Ia = \frac{P}{T} + 10 \quad (2.1)$$

où  $Ia$  : est l'indice d'aridité

P : précipitations annuelles;

T : température moyenne annuelle.

La lecture de cet indice se fait comme suit :

Tableau 2.3 Indices de Martonne  
Tiré de Guyot (1999)

Valeur de l'indice	Type de climat
$0 < \text{IDM} < 5$	Hyper aride
$5 < \text{IDM} < 10$	Aride
$10 < \text{IDM} < 20$	Semi aride
$20 < \text{IDM} < 30$	Semi humide
$30 < \text{IDM} < 55$	Humide

Pour la ville de Biskra on obtient :

$$I_a = 11,94/22,6 + 10 = 10,54.$$

Donc, le climat de Biskra est *SEMI- ARIDE*.

Ce climat est défini par deux saisons seulement, avec une courte saison de confort. Les températures et les humidités sont portées à l'extrême, inversement selon la saison : chaudes et sèches en été, froid et humide pendant l'hiver.

Faisant suite à l'interprétation des données climatiques de la région objet de l'étude, on déduit que ces principaux éléments ont une grande influence sur la conception architecturale et que le rayonnement solaire direct est y très intense, dépassant les 6682 Wh/m<sup>2</sup> sur une surface horizontale. De ce fait, il est utile de mieux analyser l'ensoleillement ainsi que les éléments climatiques liés à ce dernier et au confort de l'utilisateur.

### **2.1.8 Synthèse**

De cette première partie du chapitre, nous avons dégagé les conditions extérieures auxquelles la ville de Biskra est soumise. Cette dernière présente des conditions climatiques très rigoureuses et consacre une grande partie de sa consommation énergétique aux seules fins de la climatisation, afin de maintenir les occupants des bâtiments dans le confort pendant les périodes chaudes. Les fortes chaleurs concernent certes une grande partie de l'année, mais il n'en demeure pas moins que les besoins de chauffage en hiver, malgré qu'ils soient faibles, restent bien réels.

Afin de sceller les techniques de contrôle microclimatique et de conception architecturale pour une meilleure gestion des exigences de confort intérieur dans un bâtiment, une étude bioclimatique de la ville, objet d'étude, est jugée nécessaire. En se posant la question, à savoir si le comportement humain dépend de l'ambiance climatique intérieure, on tentera de répondre à cette question dans la deuxième partie de ce chapitre, « Le confort dans l'habitat ».

## **2.2 Confort**

### **2.2.1 Introduction**

Le confort provient du mot anglais « *Comfort* », apparu en 1816, et signifie qui «contribue au bien-être des individus par la commodité de la vie, matérielle, intellectuelle et sociale» (Depecker, 1989) . La notion du confort est relativement subjective, vu la complexité de l'être humain, et est donc difficile à standardiser.

Les définitions sont nombreuses, et convergent généralement vers le point de vue qu'une «ambiance confortable est une ambiance pour laquelle l'organisme humain peut maintenir constante sa température corporelle, sans mettre en jeu, d'une manière perceptible, ses mécanismes instinctifs thermorégulateurs de lutte contre le chaud et le froid» (Depecker, 1989).

Ce confort dépend de nombreux paramètres comme l'âge, le métabolisme, les habitudes, l'environnement, le milieu social, etc. Selon Schreiber (1985), le confort thermique se définit comme «la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance thermique du milieu environnant». Et pour qu'une personne se sente confortable, trois conditions doivent être réunies : le corps doit maintenir une température interne stable, la production de sueur ne doit pas être trop abondante et la température moyenne de la peau doit être confortable.

### **2.2.2 Confort dans l'habitat**

L'un des rôles de l'habitat est de minimiser ces échanges, c'est-à-dire de protéger le corps humain contre les agressions du climat. Pour cela, le corps humain dispose d'un système de thermorégulation qui lui permet de régler les échanges de chaleur avec son environnement. De nombreuses recherches ont été menées sur ce thème, dont les plus exploitées et les plus récentes sont, entre autres, celles de Fanger (1994), où il prend en considération le facteur de

l'acclimatation et fait intervenir l'indice PPD (pourcentage des personnes non satisfaites) et l'indice PMV (vote moyen prévisible) (Université catholique de Louvain, 2011).

Également, chose faite par A.S.H.R.A.E en 1992 (American Society of Heating, 1997). Cette dernière recherche conditionne le confort à l'aide de plusieurs paramètres, à savoir : la température de l'air, l'humidité de l'air, les précipitations, la pression atmosphérique et la nébulosité. La combinaison de ces paramètres climatiques influe sur le confort thermique de l'individu et donc, sur l'usage de l'espace.

Une autre étude est celle de la norme internationale ISO 7730, en 1994 (Université catholique de Louvain, 2011), qui est basée sur des études réalisées au départ sur des sujets nord-américains et européens, notamment celle de Fanger (1994), mais qui est aussi en accord avec les résultats d'études récentes réalisées sur des sujets japonais exposés à des environnements thermiques modérés. Elle est applicable aux personnes exposées à des ambiances intérieures où le confort thermique est recherché, ou à des ambiances intérieures s'écartant peu des zones de confort. Dans des ambiances thermiques extrêmes, la présente norme internationale peut être utilisée pour concevoir de nouvelles ambiances ou pour évaluer les ambiances existantes.

Selon Galeo et al (1989), l'individu est un être homéotherme (dont la température centrale est constante et reste indépendante de celle du milieu extérieur). Sa température interne doit être comprise entre 36,8°C et 37,2°C (inconfort généralisé en dessous de 36,5 °C et au-dessus de 37,5°C) au repos et elle doit être comprise entre 37°C et 37,5°C au travail. Le corps humain tend à maintenir sa température interne à environ 37°C. Il dispose d'un système de thermorégulation qui lui permet de régler les échanges de chaleur avec son environnement (Galeou, Grivel et Candas, 1989, p. 15). Ce mécanisme laisse apparaître une zone où la variation de sensation de confort thermique est faible : c'est la zone dite de confort thermique.

La notion du confort thermique dans un bâtiment est reliée non seulement à la qualité des ambiances intérieures, mais aussi à la quantité d'énergie à fournir par les équipements

d'ambiance, notamment ceux de chauffage ou de climatisation. De ce fait, le bâtiment doit répondre à deux exigences : maîtriser les impacts de l'environnement extérieur afin d'assurer les ambiances intérieures, et tenir compte de la pluridisciplinarité du confort thermique tel qu'il est défini, soit comme «un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique» (Depecker, 1989).

À ce sujet, le confort offert par un bâtiment résulte d'abord de la conception architecturale (Roulet, 2008, p. 3) tel qu'illustré à la figure 2.4.

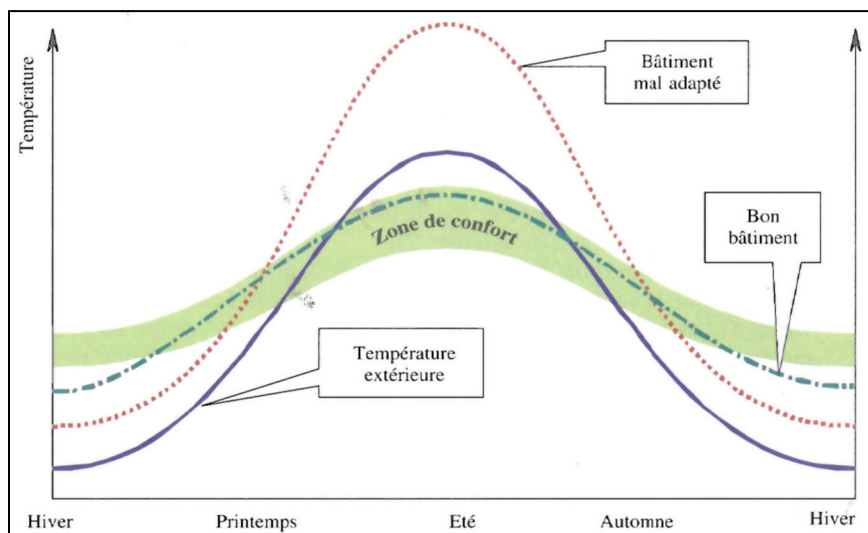


Figure 2.4 Évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, en absence de chauffage ou de climatisation  
Tirée de Roulet (2008, p. 3)

### 2.2.3 Les paramètres du confort

Le confort est l'équilibre entre l'homme et l'ambiance, (Université catholique de Louvain, 2011).

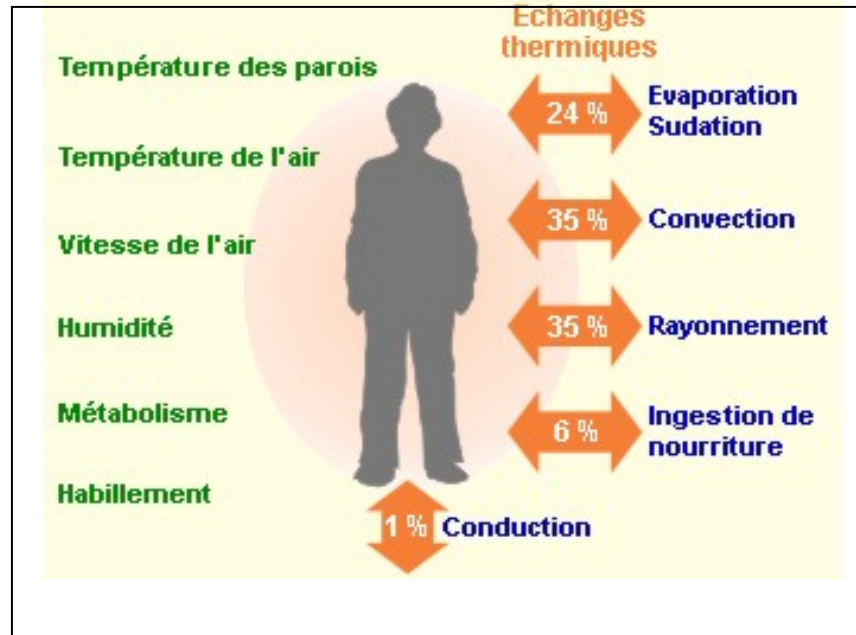


Figure 2.5 Illustration de la diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance  
Tirée de Louvain (2011)

Tel qu'illustré à la figure 2.4, la diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance s'effectue selon divers mécanismes :

- plus de 50 % des pertes de chaleur du corps humain se font par convection avec l'air ambiant (convection et évaporation par la respiration ou à la surface de la peau);
- les échanges par rayonnement à la surface de la peau représentent jusqu'à 35 % du bilan, alors que les pertes par contact (conduction) sont négligeables ( $< 1 \%$ );
- le corps perd également 6 % de sa chaleur à réchauffer la nourriture ingérée.

L'équilibre thermique de l'homme est réalisé lorsque la chaleur produite est complètement dissipée vers l'environnement. La chaleur produite dans les tissus du corps humain est transportée de manière continue vers la peau, où elle est émise vers l'environnement par convection, rayonnement, évaporation (sudation) et conduction. Pour faire un bilan thermique complet en extérieur, il faut tenir compte, dans les apports de chaleur, des radiations solaires, de la conduction (de l'air ou de surfaces plus chaudes) ainsi que de la

radiation des surfaces. L'équilibre thermique peut donc se définir comme l'égalité entre les apports de chaleur et les pertes de chaleur. Si cet équilibre est perturbé, soit par des modifications internes, soit par des modifications environnementales, les mécanismes thermorégulateurs du corps humain sont activés.

Le confort thermique dépend des paramètres suivants :

- le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de  $36,7^{\circ}\text{C}$ ;
- l'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement;
- la température ambiante de l'air ( $T_a$ );
- la température moyenne des parois ( $T_p$ );
- l'humidité relative de l'air (HR);
- la vitesse de l'air, qui influence les échanges de chaleur par convection.

#### **2.2.4 Évaluation du confort**

Le confort est mesuré, *a contrario*, par le taux d'insatisfaction des occupants : si la proportion d'insatisfaits est faible, le confort est jugé acceptable (Roulet, 2008). De nombreuses recherches ont été faites ayant pour objectif de déterminer les zones de confort. En 1953, Olgay a proposé «une méthode basée sur un «diagramme bioclimatique» mettant en évidence la zone du confort humain en relation avec la température d'air ambiant et l'humidité, la température radiante moyenne, la vitesse du vent, le rayonnement solaire et la perte de chaleur évaporative» (Givoni, 1978, p. 324). Ce diagramme est présenté à la figure 2.6.

Cette dernière recherche a adapté la conception architecturale aux exigences humaines et aux conditions climatiques. Cependant, elle peut conduire à des conclusions erronées, car elle est basée sur les conditions climatiques extérieures d'un bâtiment léger.



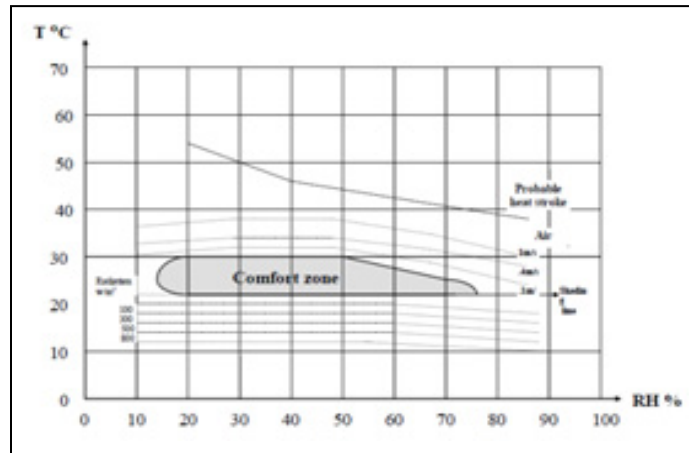


Figure 2.6 Diagramme bioclimatique  
Tirée de Olgyay et Olgyay (1963)

D'autres méthodes existent aussi, dont celle de Givoni (Givoni, 1978, p. 325), où il fait appel à l'indice de contrainte thermique (ICT). Il s'agit du modèle biophysique décrivant les mécanismes d'échange de chaleur entre le corps et l'environnement, à partir duquel la contrainte thermique totale s'exerçant sur le corps (métabolisme + ambiance) peut être calculé selon la formule :

$$S = (M - W) + C + R \frac{1}{f} \quad (2.2)$$

Où :

S : taux de sudation requis, (en équivalent kcal/h),

M : métabolisme, (kcal/h),

W : énergie métabolique transformé en travail mécanique, (kcal/h),

C : échange de chaleur convective, (kcal/h),

R : échange de chaleur radiante, (kcal/h),

f : efficacité de refroidissement de la sueur, (sans dimension).

Ceci, afin d'évaluer les exigences physiologiques du confort et déterminer les techniques, ainsi que les dispositifs architecturaux à appliquer pour atteindre un confort intérieur dans un

bâtiment en se basant sur les conditions climatiques intérieures. L'efficacité de cette dernière formule dépend de la conception architecturale et de la construction du bâtiment.

En 1980, M. Evans et S. V. Szokolay ont critiqué les méthodes précédemment proposées à cause de l'incohérence entre les résultats du confort thermique obtenus et le confort réel perçu par les sujets. À cet effet, une nouvelle méthode bioclimatique, où l'élaboration de la zone neutre et des zones de contrôle passif et mécanique est déterminée selon les données météorologiques de chaque région, est plus exact.

La norme ISO 7730 (Université catholique de Louvain, 2011) a pour objet de présenter une méthode de prévision de la sensation thermique et du degré d'inconfort (insatisfaction thermique) des personnes exposées à des ambiances thermiques modérées et de spécifier des conditions d'ambiances thermiques acceptables pour le confort. Elle peut être utilisée pour concevoir de nouvelles ambiances ou pour évaluer les ambiances existantes. Cette norme définit une température de confort ressentie, appelée aussi «température opérative» ou «température résultante sèche».

$$T^{\circ}opérative = \frac{(T^{\circ}air + T^{\circ}parois)}{2} \quad (2.3)$$

Cette relation s'applique pour une vitesse de l'air ne dépasse pas 0.2 m/s.

Et, afin de déterminer les zones de confort thermique, la méthode se base sur l'indice de vote moyen prévisible (PMV) qui est utilisé pour donner l'avis moyen d'un groupe important de personnes. Ces personnes exprimeraient un vote de sensation de confort thermique en se référant à l'échelle suivante : on considère que la zone de confort thermique s'étale de la sensation de légère fraîcheur (-1) à la sensation de légère chaleur (+1), soit de -1 à +1 (figure 2.7).

<b>+3</b>	<b>chaud</b>
<b>+2</b>	<b>tiède</b>
<b>+1</b>	<b>légèrement tiède</b>
<b>0</b>	<b>neutre</b>
<b>-1</b>	<b>légèrement frais</b>
<b>-2</b>	<b>frais</b>
<b>-3</b>	<b>froid</b>

Figure 2.7 Échelle de jugement subjectif  
Tirée de Fanger (1994)

Le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD) est calculé en fonction de l'indice PMV d'une situation thermique précise, le pourcentage de personnes insatisfaites par rapport à la situation. Exemple : si le PMV est de - 1 ou + 1, l'indice PPD montre que près de 25 % de la population n'est pas satisfaite. Par exemple, nous cherchons le confort optimal : dans le cas de la détermination de la température d'ambiance optimale, l'objectif est de déterminer la température opérative optimale qui correspond à l'indice  $PMV = 0$ . Ensuite, la zone de confort thermique peut alors être établie pour un pourcentage de personnes insatisfaites donné. En reprenant les mêmes hypothèses que l'exemple ci-dessus, la norme donne un indice  $PMV = 0$  pour une température opérative optimale de  $22^{\circ}\text{C}$ . En admettant un écart de  $1^{\circ}\text{C}$  entre  $T^{\circ}\text{air}$  et  $T^{\circ}\text{parois}$  (ce qui n'est pas beaucoup), la température de l'air sera optimale pour  $22,5^{\circ}\text{C}$  ! En admettant 10 % d'insatisfaits ( $PMV$  compris entre - 0,5 et + 0,5), la température opérative varie de  $19,8^{\circ}\text{C}$  à  $24,2^{\circ}\text{C}$ , soit, pour la température de l'air, une zone de confort thermique de  $4,4^{\circ}\text{C}$ , allant de  $20,3^{\circ}\text{C}$  à  $24,7^{\circ}\text{C}$  comme illustré à la figure (2.8).

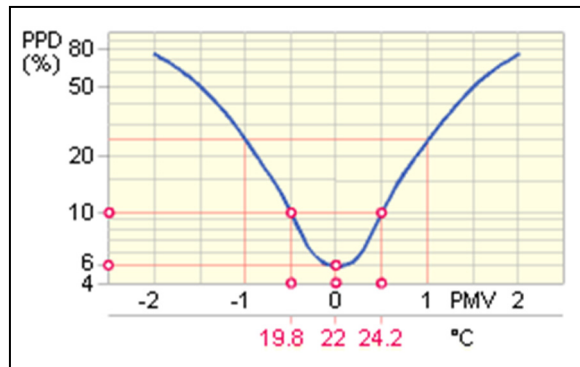


Figure 2.8 Illustration : PMV-PPD  
Tirée de Louvain (2011)

Des nouvelles méthodes, ayant le même objectif et considérant l'homme habitant un bâtiment comme un élément actif dans celui-ci, se basent sur des simulations numériques.

### 2.2.5 Confort hygrothermique

La dernière appellation du confort thermique utilisée par la HQE (Haute Qualité environnementale) est «confort thermo hygrométrique» ou «confort hygrothermique», car ce dernier «ne dépend pas seulement de la température, mais aussi de l'hygrométrie de l'air ambiant. C'est pour cela qu'on parle précisément de confort thermo-hygrométrique» (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 93). Et selon Suzanne et Pierre Déoux (2004), le confort thermo- hygrothermique dépend de la température de l'air et des surfaces, de l'humidité et des mouvements d'air. Les valeurs correspondant à ces facteurs sont :

- La température des murs :  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ;
- humidité relative entre 40 % et 60%;
- température du sol :  $19^{\circ}\text{C}$  à  $24^{\circ}\text{C}$ ;
- vitesse de l'air : inférieure à 0,15 m/s;
- la différence de température entre deux murs d'une même pièce doit être inférieure à  $10^{\circ}\text{C}$ ;
- la différence de température entre le sol et le plafond doit être inférieure à  $5^{\circ}\text{C}$ ;

- la stratification de chaleur est inconfortable et ne doit pas être de plus de 3°C entre la tête et les pieds des occupants (Déoux et Déoux, 2004, p. 287).

À l'inverse, Roland Fauconnier a rapporté différents domaines température-humidité à éviter concernant les problèmes d'inconfort dans un diagramme de l'air humide séparé en zones et présentés à la figure (2.9).

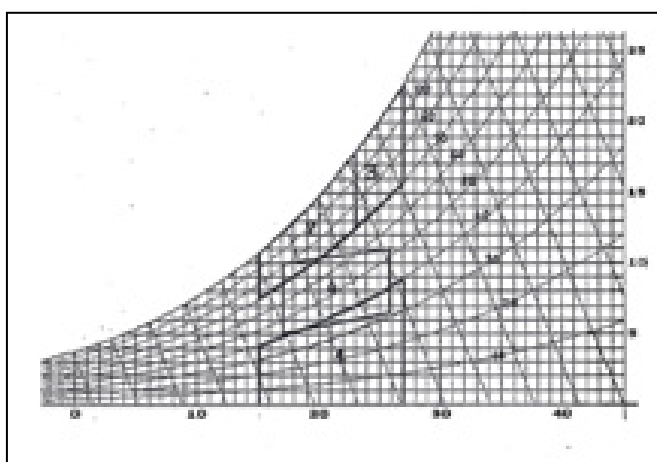


Figure 2.9 Illustration des domaines température-humidité de l'air intérieur à éviter en regard des problèmes de santé  
Tiré de Fauconnier (1992)

- zone 1 : à éviter pour des problèmes de sécheresse (on pourrait descendre jusqu'à 30% d'humidité relative);
- zone 2+3 : à éviter pour des développements de bactéries et des microchampignons;
- zone 3 : à éviter pour des développements d'acariens;
- zone 4 : polygone de confort hygrothermique (COSTIC).

## 2.2.6 Diagramme thermo-isoplèthes de Biskra

Ce diagramme (figure 2.10) met en évidence les variabilités diurnes et saisonnières des températures de l'air. Pour le tracé de ce diagramme, on projette d'abord les températures

mensuelles maximales et minimales sur la calculatrice des températures horaires. Puis, on représente sur un tableau les températures pour chaque mois et on y trace des lignes d'égales températures qui séparent les espaces d'un seuil de 5°C. En surcharge, on présente le lever et le coucher du soleil.

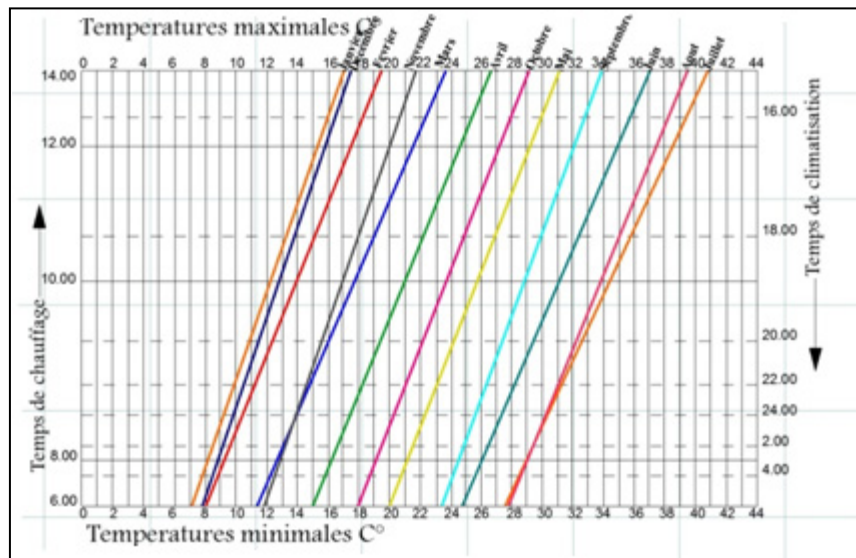


Figure 2.10 Calculatrice des températures horaires

D'après les isothermes présentées à la figure (2.10), on constate une relation étroite entre la température moyenne et la période de la journée (heure) et de l'année (mois). D'où l'on peut déduire trois groupes de zones (voir annexe III):

- une première zone dite de sous - échauffement qui s'étale sur les mois de janvier, février, mars, novembre et décembre et qui nécessite forcément un chauffage d'appoint;
- une deuxième zone dite de confort, qui est définie par la température neutre de 24,50°C. Elle est intermédiaire entre la limite inférieure neutre (22,50°C) et la limite supérieure neutre (26,50 °C) et elle s'étale sur les mois d'avril et mai. La température dans cette zone est dans les limites de confort;

- une troisième zone dite de surchauffe, qui s'étale sur les mois de juin, juillet et août, où la température dépasse 25,0°C et surtout entre 10 h et 16 h où l'intensité du soleil est forte et nécessite un contrôle solaire.

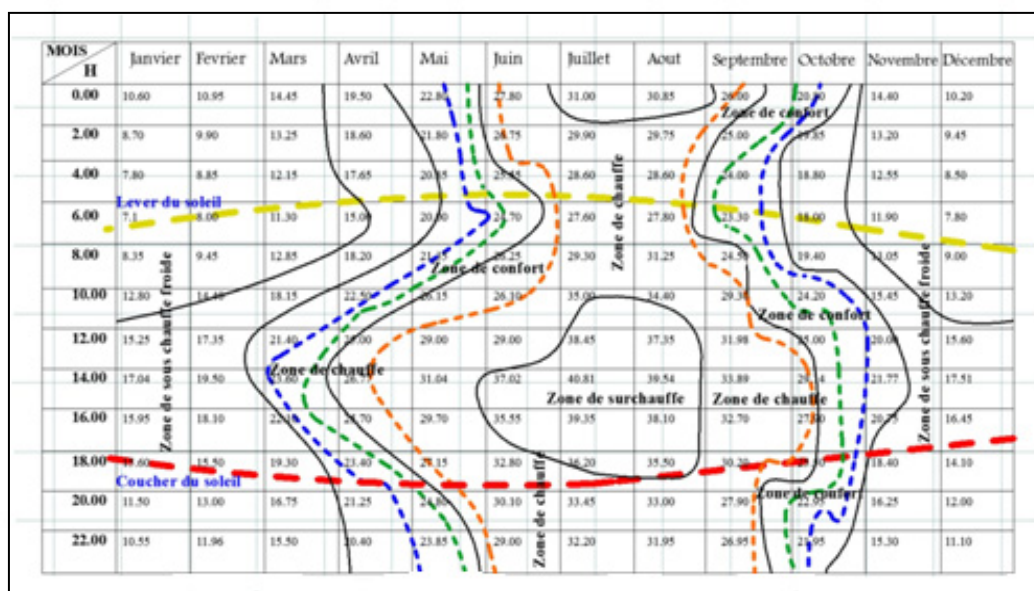


Figure 2.11 Courbes d'égales températures (isoplèthes) par mois et en heures de Biskra

## 2.2.7 Analyse bioclimatique de la ville de Biskra

En se basant sur l'application du diagramme psychométrique de S. Szokolay (1979) et les tableaux de Mahoney (1971) on aura les résultats suivants:

### 2.2.7.1 Application de la méthode de S. Szokolay :

La projection des données météorologiques sur le diagramme de Szokolay nous a permis de déterminer les zones de confort et les stratégies à adopter pour répondre aux problèmes d'inconfort thermique. De ce fait, la température neutre établie par Humphrey (1978) pour Biskra est de : 24,50° C (voir annexe II).

Et après avoir reporté les différents mois sur la figure (2.12), nous observons les résultats sur le diagramme psychrométrique suivant:

- La majeure partie de l'année se situe en dehors de la zone de confort;
- une petite partie de la saison d'hiver se situe dans la zone de chauffage actif (mécanique): il s'agit d'une partie des mois de décembre, janvier et février. La majeure partie de ces mois se situent dans la zone de chauffage solaire passif (favoriser le chauffage par l'ensoleillement, une bonne pénétration du soleil en hiver, utiliser les matériaux appropriés, agir sur les parois...) La chaleur captée le jour peut être aussi restituée la nuit grâce à la masse thermique, car, durant cette saison, les températures nocturnes sont très froides;
- le mois de mars se situe dans la zone de chauffage solaire passif;
- le mois de novembre se situe dans sa totalité dans la zone de chauffage solaire passif;
- une grande partie du mois d'avril, se situe dans la zone de confort avec une autre partie dans la zone de chauffage solaire passif;
- les mois de mai et d'octobre traversent trois zones : celle du chauffage solaire passif, celle du confort et enfin, celle du rafraîchissement passif : effet de masse (l'épaisseur des murs et les matériaux utilisés peuvent donner un grand temps de déphasage qui aide à garder la fraîcheur nocturne à l'intérieur des constructions et à ralentir la chaleur du jour), ventilation naturelle, effet de masse avec ventilation nocturne, refroidissement évaporatif direct (en s'évaporant, l'eau rafraîchit l'air et l'humidifie : fontaine, matériaux poreux en contact avec l'eau, végétation...);
- les mois de juin, juillet, août et septembre ont une petite partie dans la zone de confort; la majorité de ces mois se situent dans la zone de refroidissement passif : ventilation naturelle, effet de masse, effet de masse avec ventilation nocturne, refroidissement évaporatif direct et indirect. Une petite partie de juillet et d'août (les plus chauds de l'année) se situe dans la zone de refroidissement actif et nécessite donc une climatisation.

Donc, on peut décomposer le diagramme en trois parties, une très petite partie traversant la zone de confort (surtout septembre, octobre, avril et mai), une autre nécessitant



essentiellement un chauffage passif et une autre qui connaît une surchauffe et qui nécessite en grande partie un rafraîchissement passif, mais aussi, pour une partie des mois les plus chauds (juillet et août), un refroidissement actif (climatisation).

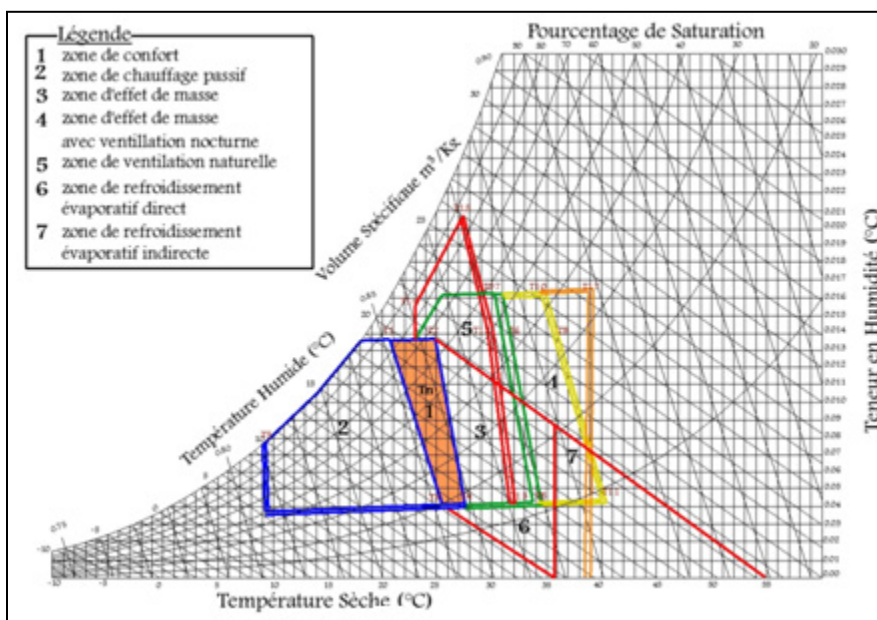


Figure 2.12 Diagramme psychrométrique de Biskra

#### 2.2.7.2 Application de la méthode de Mahoney

Ces chercheurs proposent un ordre d'analyse de climat en se basant sur les températures mensuelles, la température moyenne annuelle, les humidités relatives et la pluviométrie de la région considérée. À partir des tables de Mahoney, les recommandations nécessaires à la réalisation du confort hygrothermique dans un bâtiment à Biskra sont définies (annexe I). En appliquant cette méthode, nous arrivons à un certain nombre de recommandations qui vont de l'aspect général de la construction, l'orientation, la protection contre la pluie ou le soleil, jusqu'à la dimension des ouvertures, l'isolation et d'autres détails de la construction (annexe III). Les recommandations concernant la ville se résument ainsi :

- Orientation Nord-sud (des grands axes Est-ouest);
- compacité du plan de masse et du volume;
- ouverture moyenne de 20% à 40%;
- les murs extérieurs et intérieurs doivent être épais (inertie forte);
- les toits épais (massifs et isolés) (temps de déphasage supérieur à huit heures);
- espace extérieur pour terrasses pour dormir la nuit.

Recommandations sur les détails :

- déphasage des murs extérieurs et des toits supérieur à 8 heures;
- la taille moyenne pour les ouvertures de 25% à 40%.

On peut revoir quelques éléments que donnent le tableau (2.1) afin de mieux les adapter au climat de la région concernée. Ainsi, la taille moyenne, de même que l'orientation nord-sud qui sont le résultat des données météorologiques qui placent certains mois de l'année dans la catégorie des mois «froids» semblent, dans un climat aussi sec, chaud et aride, des éléments assez peu adaptés. L'exactitude de certaines données relatives aux HR reste à vérifier. Le mieux serait d'opter pour un plan compact avec patio, et de petites ouvertures.

La protection des ouvertures contre l'ensoleillement direct est un élément important, étant donné la longueur de la saison chaude (ceci sans pour autant priver les mois les plus frais de la chaleur solaire nécessaire). L'analyse et les résultats sont présentés sous forme de tables avec recommandations.

### **2.2.8 Synthèse**

Dans ce chapitre, une seconde partie a été consacrée à l'analyse bioclimatique de la ville dans sa globalité, qui présente des spécificités pour lesquelles on a utilisé les différentes méthodes. Cette seconde partie nous a permis de dégager que le confort ne dépend pas seulement des dispositifs mécaniques, mais il est possible de l'atteindre avec une bonne conception

architecturale, qui tient compte des techniques passives, du choix judicieux de l'implantation, de l'orientation optimale et des facteurs climatiques environnementaux. De ce fait, l'application des stratégies passives pour arriver à un confort recherché sont :

En hiver : Le chauffage passif est recommandé, une bonne exposition au soleil (rayonnement solaire) et le choix des matériaux doit être judicieux.

En été : Pendant la saison chaude, qui dure plus longtemps que la saison froide, les besoins en refroidissement sont beaucoup plus importants que les besoins de chauffage en hiver. Les mois de grandes chaleurs nécessitent aussi un rafraîchissement passif : plan compact, effet de masse et inertie thermique, ventilation nocturne et refroidissement par évaporation, ainsi que l'intégration des prolongements des espaces intérieurs, tels que la loggia.

Ces procédés sont indispensables pour parvenir aux conditions de confort à l'intérieur du bâtiment, surtout durant les mois de juillet et août, qui sont les plus chauds de l'année. Avec une architecture appropriée qui prendrait en considération les données précédemment citées, on pourrait améliorer le confort de l'occupant et arriver à un gain d'énergie considérable en s'appuyant sur des procédés purement architecturaux, et avoir recours, d'une façon raisonnable, aux moyens actifs.

Cette réalité nous incite à réfléchir à la conception de ce bâtiment en relation avec le confort de l'occupant et la consommation d'énergie, dans le but d'une intervention pour améliorer l'espace vécu par l'être humain. Ceci fera l'objet du prochain chapitre.



## **CHAPITRE 3**

### **L'ENSOLEILLEMENT ET SOLUTIONS BIOCLIMATIQUES ADAPTÉES**

#### **3.1 Introduction**

Ce chapitre, dans un premier temps, effectue un rappel concernant l'aspect géométrique et l'aspect énergétique du soleil afin de pouvoir maîtriser et contrôler cette énergie reçue dans un bâtiment. Par la suite, on examinera le développement et le choix de solutions bioclimatiques adaptées à notre étude de cas parmi la multitude de dispositifs disponibles. Ceci étant, de nombreuses solutions ont été testées. Ces choix sont présentés sous forme de solutions et mises en lien avec la méthodologie proposée afin d'atteindre notre objectif : améliorer l'efficacité énergétique et assurer au mieux le confort de l'occupant de l'habitat collectif pour la ville de Biskra.

#### **3.2 L'enseillement**

Le soleil est susceptible de fournir une énergie renouvelable et gratuite, disponible à tous les niveaux du globe terrestre. Il constitue une source inépuisable d'énergie vitale. Son exploitation dans les bâtiments favorise une diminution considérable de l'ensemble des besoins des occupants, notamment en chauffage, en climatisation, en eau chaude sanitaire, en éclairage et en électricité. Le soleil est donc un potentiel à exploiter dans la production d'une conception architecturale consciente de l'énergie. L'organisation du plan, la conception des ouvertures, leur orientation selon les particularités du ciel, sont les aspects essentiels dans la recherche de la lumière. Les apports de lumière et de chaleur peuvent être source de confort, voire d'agrément, ou bien d'inconfort. Une bonne étude de l'aspect géométrique du soleil nous permet d'exploiter ses avantages pour satisfaire nos besoins de chauffage et d'éclairage et minimiser ses effets indésirables en été.

### 3.2.1 Aspect géométrique du soleil

La connaissance des mouvements et des positions du soleil pour un observateur terrestre permet de mettre à jour les principales spécificités d'ensoleillement et de ressources solaires d'un site. Au-delà, elles facilitent l'utilisation de techniques simples de contrôle et d'évaluation de l'ensoleillement des différentes composantes du bâtiment.

#### 3.2.1.1 Le mouvement sol-Terre

Selon Mazria (2005), la course de la Terre autour du soleil décrit une ellipse légèrement aplatie. Dans cette ronde annuelle autour du soleil, la Terre effectue un tour complet sur elle-même en 24 heures autour de l'axe des pôles. Cet axe nord - sud fait un angle de  $23^{\circ}27'$  avec la direction perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre autour du soleil. L'inclinaison de la Terre est responsable des variations saisonnières comme indiqué à la figure (3.1).

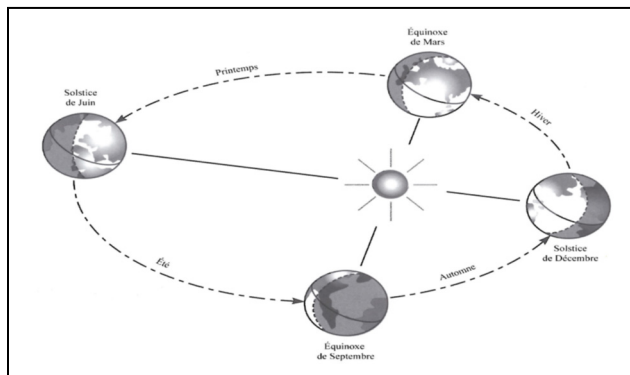


Figure 3.1 Représentation schématique illustrant le mouvement de la terre par rapport au soleil  
Tiré de Fernandez et Lavigne (2009)

Cette inclinaison est constante tout au long de la course autour du soleil. Ainsi, pendant nos mois d'été, l'hémisphère nord est tourné vers le soleil. Les jours sont alors plus longs que les nuits dans l'hémisphère nord et le rayonnement incident se rapproche de la verticale. Pendant nos mois d'hiver, la situation est inversée, l'hémisphère nord voit la durée d'insolation

décroître et le soleil monter moins haut dans le ciel, tandis que l'été règne sur l'hémisphère sud.

Les variations de la déclinaison peuvent être appréhendées au travers des quatre positions-clés. 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;
- 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  $0^{\circ}$ ; 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  $23^{\circ}27'$  comme indiqué à la figure (3.1).

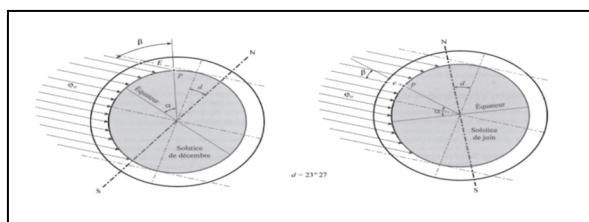


Figure 3.2 Représentation géométrique du rayonnement solaire au niveau de la terre aux solstices  
Tirée de Fernandez et Lavigne (2009, p. 106)

Rappelons, qu'à tout instant, la position du soleil se repère sur un hémisphère fictif constitué par le plan horizontal passant par les yeux de l'observateur et ayant pour centre cet observateur.

### 3.2.1.2 La latitude et les conditions saisonnières d'ensoleillement

La position d'un lieu sur la Terre est déterminée par sa latitude, 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. La latitude de l'équateur est  $0^\circ$ , celle des pôles  $90^\circ$ , respectivement Nord ou Sud. Le plan horizontal du lieu est tangent à la sphère terrestre et perpendiculaire à la verticale du lieu (Latitude, verticale du lieu et plan horizontal).

L'ensemble des points terrestres de même latitude constitue un parallèle terrestre (perpendiculaire à l'axe des pôles et parallèle au plan de l'équateur). 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 le lieu, donc, 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 correspondant.

#### Les coordonnées solaires

- 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 de ce dernier. Ces angles se nomment les coordonnées équatoriales.

#### Les coordonnées équatoriales

Permettant de repérer la direction du soleil, ces derniers sont alors dans ce repère: la déclinaison et l'angle horaire (angle entre le rayon solaire et le plan équatorial) et l'angle horaire solaire traduit le mouvement journalier du soleil sur sa trajectoire.



- la sphère céleste locale et les coordonnées horizontales du soleil pour un observateur terrestre.

La sphère céleste locale de l'observateur 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.

### Les coordonnées horizontales

Elles permettent de déterminer la direction des rayons solaires à chaque instant: la hauteur et l'azimut.

La hauteur est l'angle compris entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$  entre le rayon solaire et le plan horizontal. L'azimut est l'angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et le plan de référence, le plan vertical Sud. Il varie entre  $-180^\circ$  et  $180^\circ$ , négatif à l'Est, positif à l'Ouest, par convention, et vaut  $0^\circ$  au Sud.

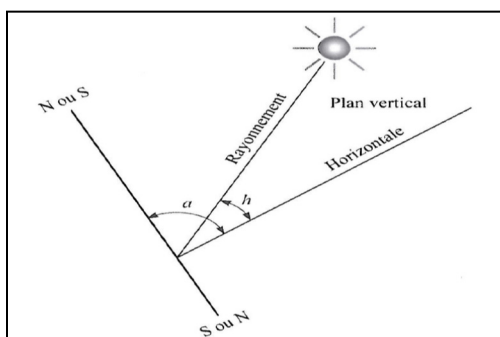


Figure 3.3 Représentation géométrique du rayonnement solaire au niveau de la terre aux solstices  
Tirée de Fernandez et Lavigne (2009, p. 107)

### 3.2.2 Les projections solaires

Pour une bonne exploitation de l'énergie solaire, le concepteur doit connaître la position du soleil dans le ciel à tout instant. Elle est déterminée par deux coordonnées : la hauteur du soleil et l'azimut. Le diagramme solaire, qui est une représentation plane en coordonnées locales de la trajectoire du soleil, est utilisé pour repérer le trajet du soleil à travers le ciel. Les lignes horizontales du diagramme représentent les hauteurs angulaires, les verticales représentent les azimuts.

«Il existe trois différents types de diagramme manuel de course du soleil: le graphique équidistant, la projection orthographique et la projection stéréographique, la dernière étant la plus largement utilisée. Les ombres portées créées par projection stéréographique sont très utiles pour concevoir les systèmes de protection et visualiser leur impact en terme d'ombre portée» (Tareb, 2011, p. 28).

### 3.2.3 L'usage de l'outil informatique

«De nouveaux outils de modélisation voient le jour dans les cabinets d'architecture, afin de simuler par avance les intérêts du bioclimatisme. Ces logiciels permettent de programmer les futurs composants de base d'un logement (matériaux, vitrage, revêtements...) et d'en esquisser un plan en 3D, prenant en compte le terrain local (lieu, orientation). Conçus il y a dix ans environ à l'école des mines, ils peuvent du coup prévoir, avant même la construction, les consommations d'énergie et les températures obtenues dans un logement, en tenant compte de son architecture et de son emplacement » (Valin, Hancok et Testard-Vaillant, décembre 2007, p. 49).

Il est donc possible, et de plus en plus courant, d'automatiser leur résolution et de construire des outils numériques prenant en charge tel ou tel problème spécifique. L'utilisation de ces outils performants demeure tributaire de leur accessibilité, de leur facilité d'utilisation et de l'adéquation entre l'importance des données à fournir en entrée et les résultats produits. Elle

est également soumise à la pertinence de l'outil pour prendre en charge telle ou telle question solaire d'un projet architectural ou urbain.

### 3.2.4 Le temps solaire vrai et l'heure légale

Selon Mazria (2005), le calcul exact des coordonnées angulaires du soleil nécessite la connaissance du temps solaire vrai, TSV, et le temps diurne est exprimé en Heure solaire vraie.

L'heure standard, HS, définie en considérant les mouvements totalement uniformes, diffère donc du Temps solaire vrai, d'une valeur donnée par l'équation du temps qui fixe le retard ou l'avance du Temps solaire standard :

$$TSV = HS + E + 4 (Ls - Lioc)min \quad (3.1)$$

Où :

E : correction d'équation du temps;

Ls : longitude correspond à l'heure standard;

Lioc : longitude du lieu considéré.

### 3.2.5 Aspect énergétique du soleil

On peut considérer que le soleil, situé à quelque 150 millions de kilomètres de la Terre, émet, comme une source lumineuse située à l'infini, des rayons solaires parallèles à la Terre. Le contour d'ombre produit sur la Terre (évaluée comme une sphère), est un grand cercle de celle-ci et sépare la terre en deux hémisphères, l'un exposé au soleil, l'autre à l'ombre. À la partie éclairée correspond le jour, à la partie ombrée, la nuit.

### 3.2.5.1 La constante solaire

Selon Vaillant, la constante solaire est définie comme étant «la quantité d'énergie rayonnante, supposée intégralement transformée en chaleur, que le soleil envoie par minute à travers une surface de 1 m<sup>2</sup>, normale aux rayons solaires, situés en dehors de l'atmosphère terrestre à une distance moyenne de la Terre au Soleil » (Vaillant, 1978, p. 32). Cette constante a été estimée par plusieurs chercheurs à 1367W/m<sup>2</sup> (Bessemoulin et Oliveri, 2011, p. 45).

Elle «est diversement utilisée. Tout d'abord, elle contribue à maintenir la surface de la Terre à une température moyenne voisine de 290 degrés absolus (17 degrés centigrades). De plus, elle crée les courants marins, les vents et les pluies, les orages, les tempêtes et les cyclones. Elle est aussi la source énergétique de la photosynthèse chlorophyllienne» (Vaillant, 1978, pp. 41-42).

### 3.2.5.2 Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est le déplacement de l'énergie sous forme de radiation solaire. Au moins 35% du rayonnement solaire intercepté par la Terre et son atmosphère sont réfléchis vers l'espace. Une partie du rayonnement qui atteint la Terre a été diffusée dans toutes les directions au cours de la traversée de l'atmosphère, en rencontrant des molécules d'air, des aérosols et des particules de poussière. D'autre part, la vapeur d'eau, le gaz carbonique et l'ozone de l'atmosphère absorbent 10% à 15% du rayonnement solaire comme indiqué à la figure (3.4).

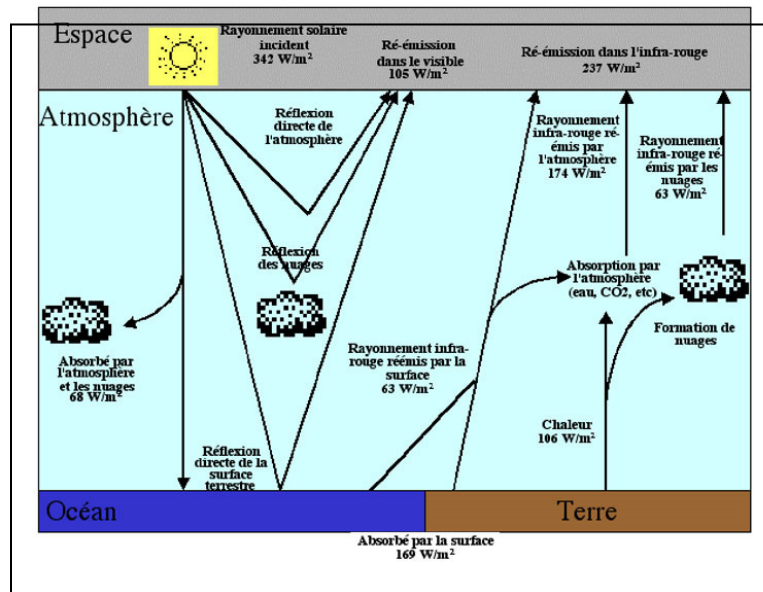


Figure 3.4 Représentation schématique illustrant le déplacement de l'énergie sous forme de radiation solaire  
Tirée de Jancovici (2011)

À la traversée de l'atmosphère, le rayonnement en provenance du soleil et tombant sur n'importe quel plan du sol atteint la Terre sous trois formes de rayonnements (Liébard et André, 2005, p. 123 b):

- le rayonnement direct : est la composante qui atteint directement la surface terrestre et procure le plus de chaleur utile, sans être ni réfléchi par les différentes couches composant l'atmosphère, ni absorbé par les couches des surfaces terrestres. Ce dernier « est un flux d'énergie constant dont la puissance est de  $1367 \text{ W/m}^2$  pour une surface exposée perpendiculairement à la direction des rayons incidents » (Dessus et Pharabod, 2002, p. 19);
- le rayonnement diffus (D) : est la composante qui atteint la surface après absorption et réflexion dans l'atmosphère et qui devient non directionnelle. Ce dernier est « d'autant plus important que l'atmosphère est moins claire. » (Dessus et Pharabod, 2002, p. 19). Il « n'est pas distribué de manière uniforme par la voûte céleste, mais tend à être plus concentré aux alentours du soleil et à proximité de l'horizon. » (Givoni, 1978, p. 203);

- le rayonnement global (G) : selon Vaillant, le rayonnement solaire global au sol est la somme du rayonnement direct et diffus, c'est le rayonnement incident émis par le soleil sur une surface donnée. On peut écrire la relation suivante :

$$RG = D + I \sin h \quad (3.2)$$

Où:

RG: le rayonnement solaire global en W/m<sup>2</sup>;

D: le rayonnement solaire diffus en W/m<sup>2</sup>;

I: le rayonnement solaire direct en W/m<sup>2</sup>;

h: la hauteur du soleil en degré (°).

- le rayonnement solaire absorbé : le rayonnement solaire absorbé est la fraction de rayonnement solaire absorbée par les composants gazeux de l'atmosphère. «Elle est due essentiellement à la vapeur d'eau, à l'ozone, au dioxyde de carbone et, à un degré moindre, à l'oxygène» (Bessemoulin et Oliveri, 2011, p. 46);
- le rayonnement Solaire Réfléchi ou ALBÉDO : L'albédo de la surface définit le pourcentage de réflexion du rayonnement. Ce dernier «se propage à la vitesse de la lumière. Il lui faut donc, en moyenne, 499 secondes, soit 8 minutes et 19 secondes, pour atteindre notre atmosphère» (Bessemoulin et Oliveri, 2011, p. 43). Cependant, «La modification des propriétés physiques des surfaces constitue donc le moyen le plus facile de contrôler les quantités de rayonnement réfléchi. Ce moyen comprend le changement de couleur, de texture ou d'orientation, ou peut même impliquer le changement du type de matériau dont une surface est composée, par exemple, en plantant de la végétation sur la surface du sol environnante» (Givoni, 1978, p. 204). «L'albédo d'une surface est égal au rapport de l'énergie réfléchie sur l'énergie totale reçue par la surface sous forme de rayonnement. C'est l'équivalent du facteur de réflexion» (Bernard, 2004, p. 45).

### **3.2.6 L'ensoleillement à Biskra**

«Le principe consiste à donner, pour un certain bâtiment, les conditions extérieures pour lesquelles les réponses de l'enveloppe et de la structure conduiront à des ambiances intérieures comprises à l'intérieur d'une zone de confort préalablement définie. La réponse du bâtiment étant intrinsèque, ce sont les données météorologiques qui, utilisées en entrées du diagramme, permettent de dire si telle ou telle solution architecturale est concrète ou non, par rapport au climat du lieu, ou quelles conditions devront être prises pour réintégrer les conditions du confort» (Izard et Alain, 1979, p. 46).

En vu d'assurer l'abri et le confort de l'occupant, le concepteur doit tenir compte de l'environnement du bâtiment tel que le paysage, le climat, les matériaux et aussi le soleil selon les heures des journées et les saisons. Et ce, dans le but de capter et d'exploiter les grandes quantités d'énergie pour son chauffage et sa réfrigération.

#### **3.2.6.1 Le rayonnement solaire de Biskra**

L'énergie solaire qui arrive sur la surface d'une construction dépend de nombreux facteurs, dont les principaux sont :

- la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon, une hauteur qui dépend de la latitude, de la date et de l'heure;
- l'inclinaison des rayons solaires sur la surface.

#### **3.2.6.2 La position du soleil de Biskra**

Afin de connaître la trajectoire annuelle apparente du soleil dans la ville objet de l'étude, on a procédé au calcul des hauteurs et des azimuts solaires. Ces derniers sont calculés tous les 21<sup>e</sup> jours de chaque mois et indiqués au tableau (3.1) ci-dessous et (annexe III). Les trajectoires solaires des mois de novembre, décembre, ou janvier sont très rapprochées. Le soleil se lève

à 7 h 55 le 21 décembre (solstice d'hiver : la plus courte journée de l'année). À midi, il prend une position inférieure à une hauteur de  $32^{\circ}04'$  et azimut  $0^{\circ}$ . À 16 h, l'azimut atteint son maximum de  $53^{\circ}50'$ . Les trajectoires des mois de juin et juillet sont aussi très rapprochées. Le 21 mars ou le 21 septembre (les équinoxes de printemps et d'automne), le soleil prend une position médiane entre les deux précédentes à une hauteur de  $55^{\circ}07'$  à midi. L'azimut atteint les  $81^{\circ}00'$  à 17 h. comme indiqué aux figures (3.5), (3.6) et (Tableau 3.1), ainsi que : (annexe III).

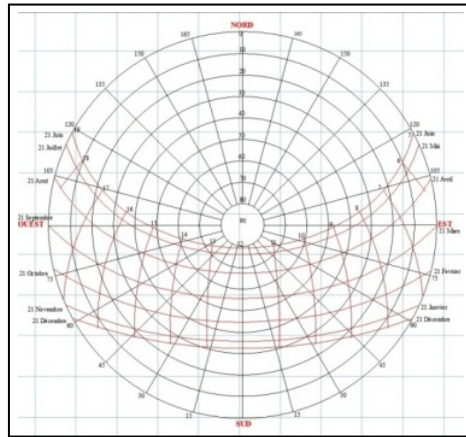


Figure 3.5 Diagramme polaire de Biskra

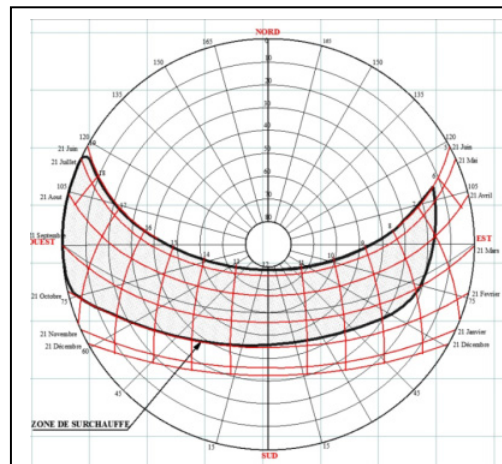


Figure 3.6 Diagramme polaire de Biskra  
(présentation de la zone de surchauffe en noir)



Tableau 3.1 Hauteur et azimut du soleil à Biskra latitude 34°48'

Heures	Angle	21 Juin	21 Mai	21 Avril	21 Mars	21 Février	21 Janvier	21 Décembre
12h00	H	78°93'	75°60'	67°05'	55°07'	44°25'	35°35'	32°04'
	A	0	0	0	0	0	0	0
13h00	H	72°87'	70°44'	63°30'	52°35'	42°09'	33°51'	30°31'
	A	53°71'	46°53'	34°35'	25°06'	19°99'	16°94'	15°96'
14h00	H	61°65'	59°88'	54°36'	45°19'	36°12'	28°35'	25°42'
	A	75°01'	43°02'	36°38'	33°49'	37°38'	32°23'	30°52'
15h00	H	49°45'	47°90'	43°19'	35°35'	23°64'	20°60'	18°00'
	A	86°19'	81°97'	71°82'	50°75'	49°20'	45°16'	43°00'
16h00	H	37°11'	35°57'	31°15'	24°07'	17°07'	11°05'	8°77'
	A	85°00'	88°37'	82°43'	71°51'	62°68'	55°93'	53°50'
17h00	H	24°89'	23°27'	18°82'	12°07'	5°67'	0°29'	
	A	77°66'	80°78'	88°59'	81°00'	72°17'	65°06'	
18h00	H	13°02'	11°24'	6°52'				
	A	70°32'	73°17'	72°25'				
19h00	H	1°70'						
	A	66°60'						
20h00	H							
	A							
Angle du soleil		61°12'	65°30'	75°90'	90°49'	103°67'	114°69'	118°87'

### 3.2.7 L'irradiation solaire d'une façade

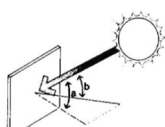
En introduisant l'ensemble des données relative a la façade sur le programme d'ordinateur qui nous a permis « d'établir un réseau de courbes d'égale intensité, chacune de ces indicatrices d'irradiation solaire représente l'ensemble des positions du soleil envoyant la même puissance énergétique sur 1 m<sup>2</sup> de la surface considérée» (Edward, 2005, p. 257).

### 3.2.8 L'intensité du rayonnement solaire sur une surface

Le rayon solaire atteint la paroi sous un angle appelé angle d'incidence, défini comme l'angle entre la normale à la paroi et le rayon solaire à l'instant considéré. Il est évalué à partir de l'inclinaison, l'orientation de la paroi et la direction du rayon solaire. Comme 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; inclinée à partir de cette position perpendiculaire, elle voit son éclaircissement diminuer. Ce dernier sera transformé une fois absorbé par un matériau en énergie calorifique ou chaleur. «La quantité totale d'énergie interceptée par une surface comprend non seulement le rayonnement direct, mais aussi les rayonnements diffus et réfléchis» (Edward, 2005, p. 19).

Tableau 3.2 Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence  
Tiré de Mazria (2005, p. 19)

Angle d'incidence (degré)	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



a = ANGLE D'INCIDENCE  
b = HAUTEUR ANGULAIRE

### 3.2.9 Les indicateurs d'irradiation solaire pour une façade verticale de Biskra

«Il est possible de calculer le montant global de chaleur solaire reçue sur une paroi, au cours d'un jour clair, pour toutes les positions du soleil par rapport à cette surface réceptrice» (Edward, 2005, pp. 256-257). En superposant le diagramme solaire de la ville de Biskra sur l'indicateur, en prenant comme repères la base horizontale et l'axe de symétrie des indicatrices tout en fixant une orientation donnée :

#### 3.2.9.1 Orientation Sud

En évaluant les valeurs d'irradiation solaire à la lecture de la superposition des graphes, on observe que l'irradiation solaire est maximale aux mois d'hiver et minimale durant les mois d'été :

- au solstice d'hiver (21 décembre): l'irradiation solaire est maximale durant la période d'hiver; cette dernière atteint, entre 8 heures et 10 heures de la matinée, 210 Wh/m<sup>2</sup> et 645 Wh/m<sup>2</sup>. Une augmentation au fur et à mesure est constatée à partir de 10 h jusqu'à 14 h. Elle atteint une valeur supérieure à 750 Wh/m<sup>2</sup> et décroît symétriquement jusqu'au coucher de soleil;
- au solstice d'été (21 juin): l'irradiation solaire est minimale au début et à la fin de la journée, où elle atteint une valeur inférieure à 60 Wh/m<sup>2</sup>. Cette dernière augmente à partir de 9 h de la matinée jusqu'à atteindre sa valeur maximale qui est de l'ordre de 255 Wh/m<sup>2</sup> entre 11 h et 13 h. Puis, elle commence à décroître pour atteindre sa valeur minimale de 45 Wh/m<sup>2</sup>.

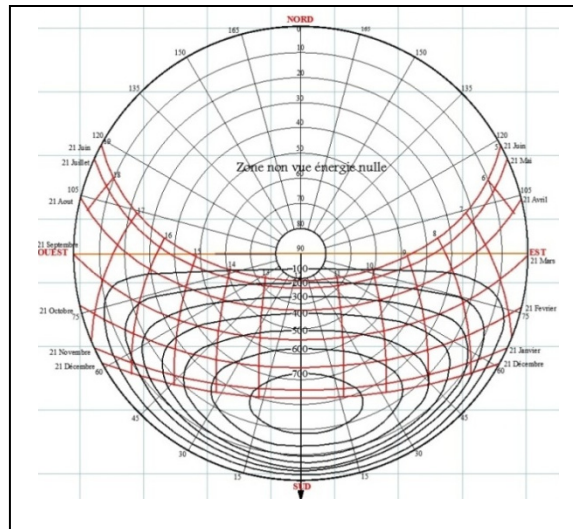


Figure 3.7 Diagramme énergétique de Biskra orientation Sud

### 3.2.9.2 Orientation Est et Ouest

En évaluant les valeurs d'irradiation solaire, à la lecture de la superposition des graphes, on observe que l'irradiation solaire est maximale aux mois d'été et minimale durant les mois d'hiver :

- orientation Est

Au solstice d'hiver (21 décembre): l'irradiation solaire est inférieure ou égale à  $450 \text{ Wh/m}^2$  durant toute la journée; cette valeur maximale est atteinte entre 9 h et 10 h.

Au solstice d'été (21 juin): l'irradiation solaire varie entre  $500 \text{ Wh/m}^2$  et  $790 \text{ Wh/m}^2$  de 6 h à 8 h de la matinée où elle décroît pour atteindre une valeur de  $60 \text{ Wh/m}^2$  à 12 h.

- orientation Ouest

Au solstice d'hiver (21 décembre): symétriquement, l'irradiation solaire maximale est atteinte à 16 h.

Au solstice d'été (21 juin): l'irradiation solaire maximale est atteinte entre 14 h et 16 h.

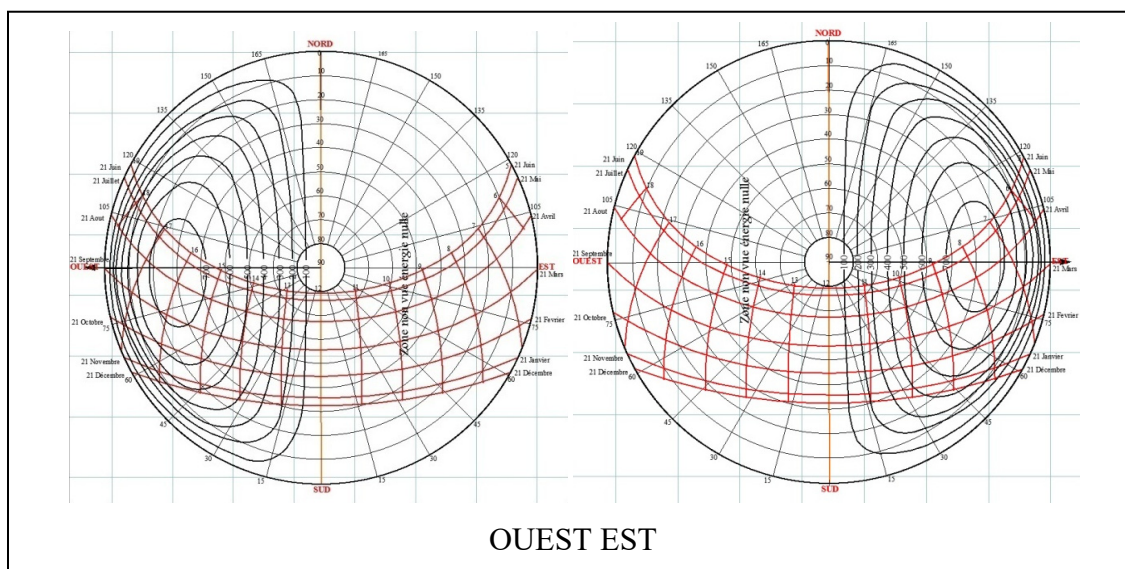


Figure 3.8 Diagramme énergétique de Biskra orientation Ouest et Est

### 3.2.9.3 Orientation Sud-Est et Sud-Ouest

En évaluant les valeurs d'irradiation solaire à la lecture de la superposition des graphes on observe que l'irradiation solaire est maximale aux mois d'été et minimale durant les mois d'hiver :

- orientation Sud-Est

Au solstice d'hiver (21 décembre): l'irradiation solaire est supérieure à  $410 \text{ Wh/m}^2$  toute la journée. Une valeur maximale est atteinte entre 9h30 et 10h30, qui est de l'ordre de  $750 \text{ Wh/m}^2$ .

Au solstice d'été (21 juin): l'irradiation solaire varie entre  $145 \text{ Wh/m}^2$  et  $340 \text{ Wh/m}^2$  de 6 h à 7 h de la matinée. Elle atteint une valeur de  $500 \text{ Wh/m}^2$  à 8 h.

- orientation Sud-Ouest

Au solstice d'hiver (21 décembre): symétriquement, l'irradiation solaire maximale est atteinte entre 13 h30 et 15 h30.

Au solstice d'été (21 juin): l'irradiation solaire maximale est atteinte à 14 h30.

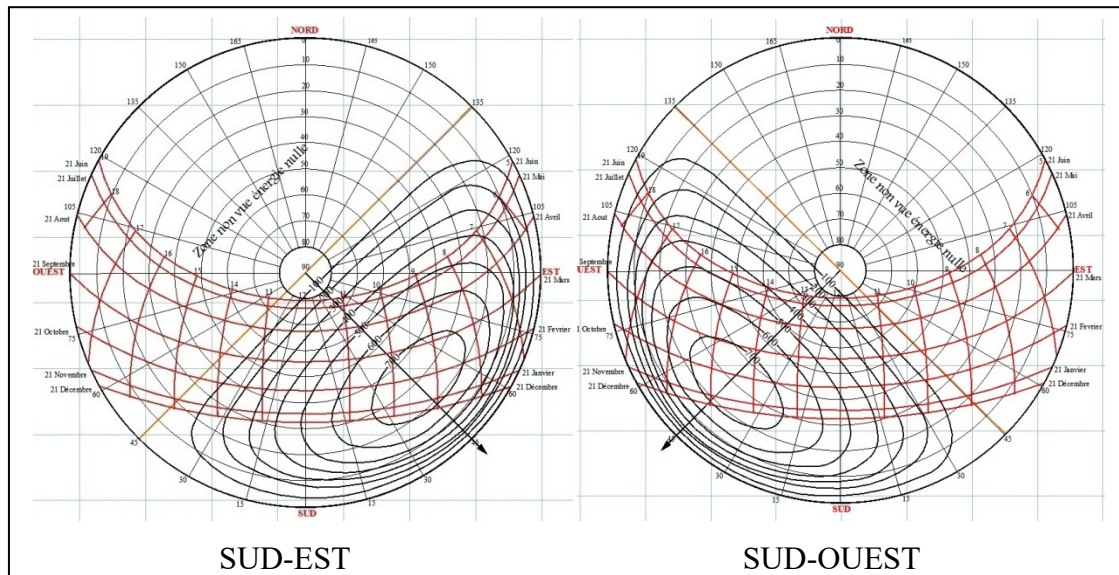


Figure 3.9 Diagramme énergétique de Biskra orientation Sud-Est et Sud-Ouest

- orientation Nord-Est et Nord-Ouest

En évaluant les valeurs d'irradiation solaire, à la lecture de la superposition des graphes, on observe que l'irradiation solaire est minimale aux mois d'été et aux mois d'hiver et maximale aux équinoxes de printemps et d'automne. Ce qui explique que les parois ne bénéficient pas des radiations solaires en hiver.

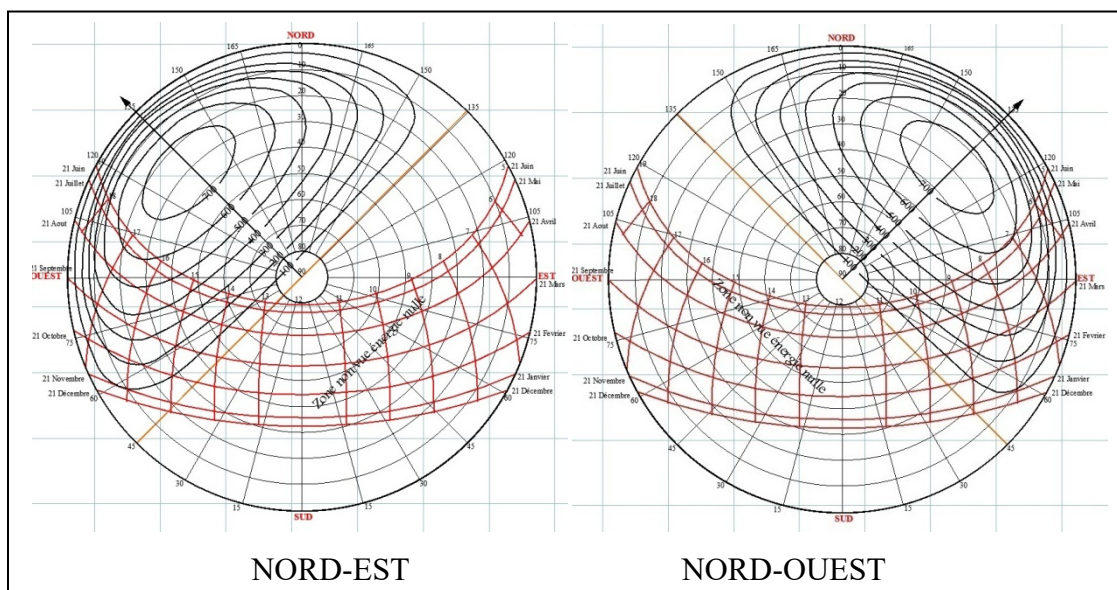


Figure 3.10 Diagramme énergétique de Biskra orientation Nord-Est et Nord-Ouest

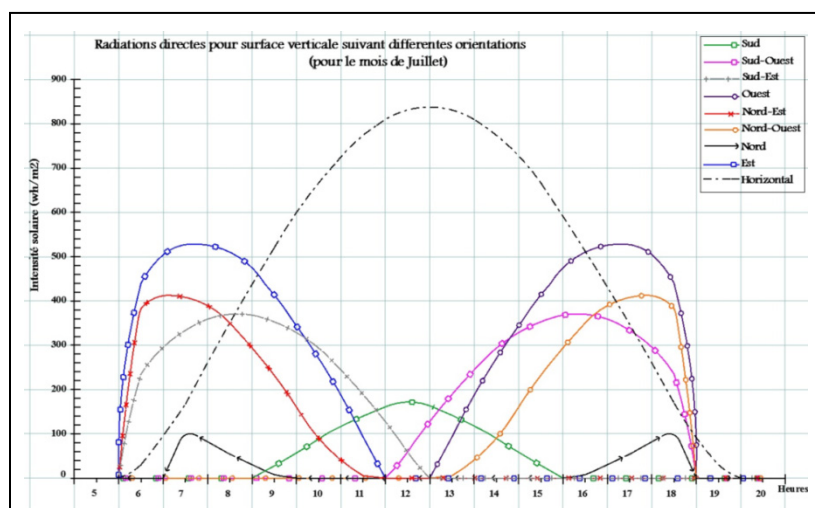


Figure 3.11 Diagramme de radiations solaires de Biskra mois de juillet  
Adaptée de Capderou (1985, pp. 140-149)



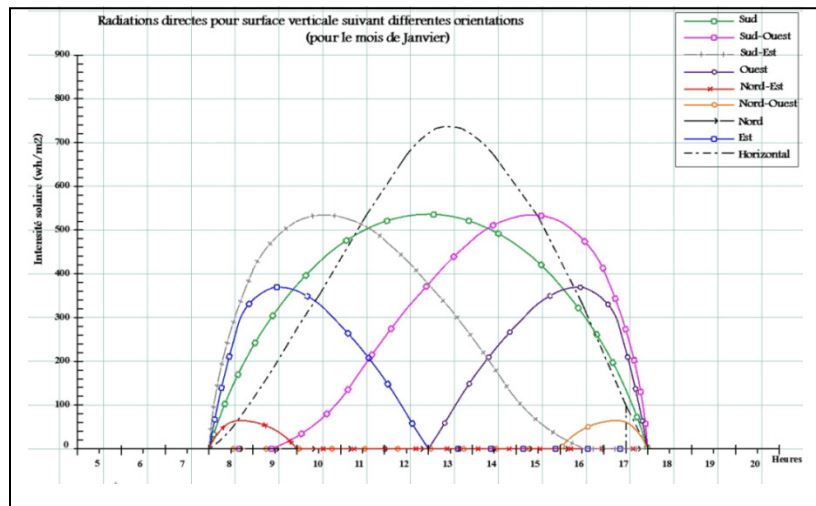


Figure 3.12 Diagramme de radiations solaires de Biskra mois de janvier  
Adaptée de Capderou (1985, pp. 140-149)

### 3.2.10 Synthèse

Les résultats de la présente étude illustrent que l'influence du soleil est totale sur le confort de l'être humain. Ce dernier tend toujours à bénéficier de ses avantages et à se protéger de ses effets indésirables. Et que 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).

D'après les diagrammes énergétiques et les graphes de radiations solaires sur une surface verticale pour le mois le plus chaud (juillet) et pour le mois le plus froid (janvier) on a pu constater que :

- 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 lequel on doit favoriser le captage solaire par les différentes parois et vitrages pour l'usage du 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;

- l'orientation Sud. La durée de l'irradiation solaire directe en été est relativement courte, du fait que le développement d'un plan est de  $180^\circ$ , alors que la course du soleil dans le ciel égale les  $240^\circ$ . Le plan Nord reçoit très peu de radiations solaires à cette latitude pour cause de dissymétrie entre les énergies solaires incidentes Nord et Sud;
- les orientations Est et Ouest sont très défavorables, 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.

Dans l'étude de cas, la surchauffe provient des parois transparentes non ombragées orientées vers l'ouest, l'est et le sud. Aussi, la protection face au soleil des espaces habités est essentielle au confort thermique. Donc, des mesures de conception architecturales bioclimatiques qui consistent à réduire l'exposition de ces dernières parois aux rayonnements solaires pour exclure la chaleur et procurer de l'ombrage, seront exposées. Pour ce faire, on lui consacre la deuxième partie de ce chapitre en entier.

### **3.3 Solutions bioclimatiques adaptées**

#### **3.3.1 Introduction**

«Le secteur du bâtiment est une activité où le potentiel d'économie d'énergie est important. Une implantation réfléchie, une orientation optimale, un choix pertinent des matériaux, une isolation performante, le recours aux énergies renouvelables sont autant de solutions à prendre en compte pour réaliser des économies d'énergie et, par la même occasion, minimiser l'impact sur l'environnement d'un projet» (Beguin, 2011)

La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à l'enveloppe d'un bâtiment, au comportement thermique de ce dernier et aux propriétés thermophysique des matériaux utilisés dans un bâtiment. En effet, les propriétés thermophysiques des matériaux neufs sont retenues. On abordera aussi les éléments conceptuels bioclimatiques influant sur le comportement thermique de l'enveloppe. Cette démarche justifie une approche méthodologique pointue et détaillée pouvant permettre aux concepteurs de disposer d'un véritable support pour l'amener à cibler les futures interventions et la façon dont ils peuvent associer les solutions bioclimatiques.

### **3.3.2 L'enveloppe**

«Une véritable conception de bâtiment suppose la connaissance de tout ce qui concerne les échanges thermiques à travers les parois qui constituent leurs enveloppes» (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 123). L'enveloppe d'un bâtiment est définie comme étant l'ensemble des parois horizontales et verticales séparant l'intérieur de la bâtisse de l'environnement extérieur. Cette dernière joue un rôle majeur dans la gestion thermique de l'ambiance intérieure. Elle permet d'isoler l'ambiance intérieure de l'espace extérieur tout en conservant de l'énergie calorifique, empêchant la chaleur de se propager de l'intérieur vers l'extérieur en hiver et de pénétrer à l'intérieur pendant la saison chaude. Cette enveloppe joue un rôle fondamental dans l'économie d'énergie par sa conception, le choix des matériaux, l'épaisseur adéquate et la bonne mise en œuvre.

### **3.3.3 Le comportement thermique de l'enveloppe**

Les flux thermiques qui s'établissent simultanément dans le sens extérieur-intérieur et/ou intérieur-extérieur et dont le bilan des différences est constamment changeant (positif ou négatif), sont dû à l'un des deux scénarios suivants :

- si l'énergie est un combustible, la dégradation énergétique par déperdition s'oppose de l'intérieur de l'enceinte vers l'extérieur;

- si l'énergie est solaire rayonnante, la dégradation par dissipation thermique à basse température, traverse les éléments de l'enveloppe de l'extérieur vers l'intérieur pour chauffer l'habitation.

Mais, pour mieux assimiler ces deux scénarios, il est capital de connaître quatre modes de transfert de chaleur qui peuvent s'effectuer à travers l'enveloppe du bâtiment :

- conduction : Lorsqu'il y a un flux de chaleur traversant un matériau par le contact des molécules chaudes avec les molécules froides. Elle se fait au sein du même matériau;
- convection : Lorsque les molécules se déplacent d'un endroit à un autre et échangent la chaleur qu'elles contiennent. Elle se fait généralement entre les faces de la paroi et l'ambiance fluide qu'elle sépare comme la lame d'air;
- rayonnement : C'est l'échange de chaleur à travers l'espace par des ondes électromagnétiques;
- évaporation-condensation : La chaleur cédée à un matériau pour l'évaporer est restituée à la surface sur laquelle la vapeur se condense.

Ce dernier phénomène implique une migration combinée de la chaleur et de l'eau. Il peut être la source des problèmes d'humidité (moisissure, gel, dégâts) rencontrée dans le bâtiment.

Un exemple illustre les modes de transfert de chaleur traversant un mur à double paroi enfermant une lame d'air : l'énergie solaire qui frappe un mur sous forme de rayonnement est absorbée par la surface externe, le flux de chaleur qui en résulte traverse le matériau composant le mur par conduction. Ensuite, le flux de chaleur traverse la lame d'air par convection et rayonnement et poursuit son chemin par conduction pour être transmis finalement à l'air intérieur par convection et autres surfaces par rayonnement.

Le comportement thermique de l'enveloppe dépend donc de son épaisseur et des propriétés thermophysiques des matériaux qui la constituent. Et « on comprend déjà que le confort des édifices dépend des matériaux qui les constituent » (Lavigne, Brejon et Fernandez, 1994, p. 33). En fait, ses propriétés ont une influence directe sur la température intérieure et la

consommation d'énergie. Les matériaux des espaces intérieurs comme le plancher, les cloisons intérieures et le mobilier agissent eux aussi sur la température de l'ambiance intérieure en modifiant la capacité calorifique de la structure considérée dans son entier et le taux d'absorption de la chaleur produite.

### **3.3.4 Les propriétés thermophysiques des matériaux de construction**

Les propriétés des matériaux qui affectent le bilan des échanges de chaleur entre l'environnement extérieur et l'intérieur des bâtiments et qui conditionnent ainsi l'ambiance thermique intérieure et le confort des occupants sont :

#### **3.3.4.1 La conductivité thermique**

La conductivité thermique  $\lambda$  est la quantité de chaleur qui passe en une seconde à travers un mètre carré d'une couche de matériau homogène de un mètre d'épaisseur, soumis à une différence de température de un degré Celsius. Elle mesure donc le pouvoir d'un matériau à transmettre la chaleur à travers son épaisseur ( $e$ ); elle est exprimée en ( $W/m.^{\circ}k$ ). Plus  $\lambda$  est grande, plus le matériau est conducteur, plus  $\lambda$  est petit, plus le matériau est isolant.

Tableau 3.3 Conductivité thermique des matériaux courants  
Tiré de Fernandez et Lavigne (2009, p. 56)

Matériau	Conductivité $\lambda$ (W/m.°K)
Cuivre	380
Aluminium	230
Zinc	112
Acier	52
Pierre lourde	3,5 à 2,1
Pierre calcaire	2,9 à 0,95
Béton de granulats lourds siliceux, silicocalcaires et calcaires	1,75 à 1,15
Béton de granulats lourds de laitiers de hauts fourneaux	1,4 à 0,7
Terre cuite	1,15
Verre	1,15
Terre comprimée	1,05 à 1
Béton de granulats légers et très légers	1,05 à 0,19
Eau	0,59
Plâtre	0,5 à 0,35
Béton cellulaire traité à l'autoclave	0,33 à 0,16
Bois naturel	0,23 à 0,12
Liège	0,1 à 0,043
Verre cellulaire	0,063 à 0,05
Laine minérale	0,041 à 0,03
Matériau plastique alvéolaire	0,044 à 0,02
Air (immobile)	0,0236
Ouate de cellulose	Environ 0,04
<i>Les valeurs ou l'ordre de grandeur de la conductivité thermique des matériaux courants figurent en annexe 1.</i>	

### 3.3.4.2 La résistance thermique

La résistance (R) est le pouvoir d'un matériau à freiner le flux de chaleur, elle est exprimée en (°K.m²/W). On distingue :

- la résistance par conduction par m² d'une couche solide est donnée par la formule suivante :

$$R_{cd} = \frac{e}{\lambda} \quad (3.3)$$

$R_{cd}$  : représente la résistance par conduction par (m²);

$e$  : représente l'épaisseur de la couche du matériau en (m);

$\lambda$  : représente la conductivité thermique du matériau (W/m.°K).

- la résistance par convection par unité de surface est donnée par la formule suivante :

$$R_{cv} = \frac{1}{U_{cv}} \quad (3.4)$$

$R_{cv}$  : représente la résistance par convection ( $^{\circ}\text{k.m}^2/\text{W}$ );

$U_{cv}$  : représente la conductance par convection ( $\text{W}/\text{m}^2. ^{\circ}\text{k}$ ).

- le coefficient de transmission thermique surfacique :

La conductance ou le coefficient de transmission surfacique ( $U$ ) exprime la quantité de chaleur qui traverse un mètre carré de paroi pour une différence de un degré Kelvin de part et d'autre de sa surface. Il est simplement l'inverse de la résistance thermique.

$$U = \frac{1}{R} \quad (3.5)$$

$U$  : représente la conductance pour une unité de surface ( $\text{W}/\text{m}^2. ^{\circ}\text{k}$ );

$R$  : représente la résistance thermique du matériau ( $\text{m}^2. ^{\circ}\text{k} / \text{W}$ ).

### 3.3.4.3 La chaleur spécifique

La chaleur spécifique  $C$  ( $\text{kJ}/\text{kg}. ^{\circ}\text{k}$ ) est la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer un kilogramme de matériau de un degré Celsius; elle nous informe en effet sur la capacité de ce matériau à entreposer ou non la chaleur. La quantité de chaleur ( $Q$ ) qui modifie de  $1 ^{\circ}\text{C}$  la température de l'unité de masse d'un matériau définit la chaleur spécifique d'un matériau et elle s'établit selon la relation suivante :

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (3.6)$$

Pour  $M = 1 \text{ kg}$

C : représente la chaleur spécifique du matériau (kJ/Kg. °k);

Q : représente la quantité de chaleur (kJ);

M : représente la masse (kg);

$\Delta T$  : représente l'accroissement de température (°k).

#### **3.3.4.4 La chaleur volumique**

En architecture, on raisonne sur des volumes plutôt que sur des masses. La chaleur volumique  $pC$ , exprimée en  $\text{KJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{k}$  est la quantité de chaleur absorbée ou fournit par  $1 \text{ m}^3$  de matériau dont la température varie de  $1 ^\circ\text{C}$ .

$$M = P * V \quad (3.7)$$

Et

$$Q = V * P * C * \Delta T \quad (3.8)$$

P : représente masse volumique ( $\text{Kg/m}^3$ );

V : volume de matériau ( $\text{m}^3$ ).

#### **3.3.4.5 La capacité thermique**

La capacité thermique d'un matériau est le produit de sa masse volumique par sa chaleur spécifique. Plus la capacité thermique d'un matériau n'est élevée, plus la quantité d'énergie que peut stocker le matériau quand sa température s'élève de un degré est grande.

#### **3.3.4.6 Les grandeurs thermiques de l'enveloppe**

Les grandeurs nécessaires pour le calcul d'un bilan thermique de l'enveloppe du bâtiment sont :

- la résistance thermique totale : la résistance totale d'un mur est la somme de la résistance du mur et les résistances surfaciques selon le flux. Cette dernière est donnée par la formule suivante :

$$R_{totale} = \sum R_n \quad (3.9)$$

Le coefficient surfacique total : Puisque la paroi est souvent constituée de plusieurs matériaux hétérogènes juxtaposés, le coefficient surfacique total U total est donné par l'expression suivante :

$$U_{total} = \frac{1}{R_{totale}} \quad (3.10)$$

U total : représente la conductance totale ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{k}$ );

R totale : représente la résistance thermique totale ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{k} / \text{W}$ ).

- le flux de chaleur surfacique: Le flux de chaleur traversant une paroi est donné par la relation suivante :

$$\Phi = H * \Delta T \quad (3.11)$$

$\Phi$  : flux thermique (W);

H : conductance pour un ensemble ( $\text{W}/^\circ\text{k}$ );

$\Delta T$  : accroissement de température ( $^\circ\text{k}$ ).

Où

$$\varphi = u * \Delta T \quad (3.12)$$

Avec :



$\varphi$  : densité de flux ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

$u$  : conductance pour une unité de surface ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ );

$\Delta T$  : accroissement de température ( $^\circ\text{K}$ ).

### **3.3.5 Éléments conceptuels influençant le comportement thermique d'un bâtiment**

C'est au moment de la conception que l'on réalise les plus fortes économies en énergie par le bon choix des éléments architecturaux, leur intégration et leur emplacement adéquat en rapport avec l'environnement et les conditions climatiques. On distingue en effet les paramètres passifs jugés utiles au bon fonctionnement thermique du bâtiment étudié.

À ce sujet, les besoins en chauffage et en climatisation et les indices de confort déterminés pour les solutions identifiées parmi les dispositifs bioclimatiques « objectifs qui peuvent être atteints lors du choix de l'implantation, des orientations, et du coefficient de la forme entre autres » (Izard et Alain, 1979, p. 65). Nous allons voir ci-dessous, en détail, les caractéristiques à donner à ces éléments d'architecture pour qu'ils puissent remplir au mieux le rôle qu'on leur assigne : améliorer l'efficacité énergétique et assurer au mieux le confort de l'occupant de l'habitat collectif pour la ville de Biskra.

#### **3.3.5.1 L'implantation**

L'implantation d'un bâtiment détermine le potentiel solaire passif de ce dernier. Elle participe même aux modifications de microclimat dans leur environnement immédiat et influe positivement ou négativement sur les conditions climatiques des bâtiments voisins. Cette dernière implantation va déterminer l'éclairement, les apports solaires passifs, les mouvements naturels de l'air. Le relief environnant, l'orientation des vents (différents l'hiver de l'été) et la course annuelle du soleil sur le lieu seront autant d'éléments fondamentaux de la réussite d'une implantation.

Celle-ci « est fondamentale et doit être choisie en fonction des informations climatiques que l'on possède » (Bernard, 2004, p. 150).

Selon Alain Chatelet, «Pour ce qui est de la prise en compte des contraintes énergétiques et de confort, on constate qu'habituellement les concepteurs distinguent trois domaines de contraintes différents :

- l'implantation dans le site (orientation, végétal, position des ouvertures...);
- le traitement des formes et épaisseurs (inertie, isolation, typologie des ouvertures, espace tampon...);
- le choix des systèmes (réglementation, performance, équipement)» (Chatelet, Fernandez et Lavigne, 1998, p. 17).

L'implantation a une influence non-négligeable sur les besoins calorifiques et sur le confort thermique à l'intérieur du bâtiment. Plus les apports solaires sont importants, plus l'ensemble des apports thermiques gratuits du bâtiment augmente, plus les besoins thermiques pour le chauffage sont réduits en hiver, tout en évitant le risque d'échauffement excessif en été. Le défaut d'apports solaires passifs peut être compensé par des améliorations coûteuses des caractéristiques thermiques de l'enveloppe du bâtiment.

Cette dernière doit répondre aux données du site et du climat, de façon à :

- minimiser sa consommation énergétique et contrôler son accès au soleil;
- réduire et à contrôler les rayonnements solaires incidents;
- permettre l'amélioration de la ventilation naturelle et du rafraîchissement passif des surfaces extérieures du bâtiment.

De ce fait, «il est intéressant de développer le parti d'une orientation Nord-sud avec des appartements transvasant. Ce parti semble pouvoir répondre de la façon la plus satisfaisante possible aux contraintes d'une architecture «climatique» et «humaine»» (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 290).

### 3.3.5.2 La forme et l'orientation

- la forme

Dans les échanges thermiques avec l'environnement, la superficie de l'enveloppe est un facteur important, au même titre de sa nature. Généralement, le choix de la compacité du bâtiment est également une source très importante d'économie d'énergie, car les déperditions thermiques du logement se font par renouvellement d'air et à travers l'enveloppe. De ce fait, une surface habitable avec 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 conditionné et l'extérieur.

La compacité est mesurée par un coefficient de forme,  $C_f$ , qui est le rapport entre la surface de l'enveloppe  $S$  en  $m^2$  et le volume habitable,  $V_h$  en  $m^3$ .

$$C_f = \frac{S}{V_h} \quad (3.13)$$

En réalité, la forme optimale d'un bâtiment correspond à celle qui lui permet de perdre un minimum de chaleur en hiver et de gagner un maximum de fraîcheur en été.

- l'orientation

«L'orientation d'une construction et la prise en compte du climat sont actuellement considérées par certains comme une originalité, une innovation apportée par le concept de bâtiment de haute qualité environnementale (HQE). Le bon sens avait-il disparu chez les concepteurs ?» (Déoux et Déoux, 2004, p. 137). Cette dernière joue un grand rôle :

- dans les apports en lumière naturelle et les économies d'éclairage;
- dans le confort d'hiver par l'utilisation de rayonnement solaire pour le chauffage;

- dans le confort d'été avec la protection du rayonnement solaire pour éviter les fortes chaleurs;
- dans la protection contre les vents froids d'hiver ou l'utilisation de vent rafraîchissant d'été » (Déoux et Déoux, 2004, p. 137).

L'orientation d'un bâtiment est désignée par celle de sa façade principale, c'est-à-dire celle qui comporte la plus grande surface de vitrage. En outre, certaines études montrent que le seul fait de concevoir une habitation en tenant compte correctement de l'orientation diminue de 15% à 30% les besoins de chauffage et donc, de la consommation d'énergie.

### **3.3.5.3 Détermination de l'orientation optimale**

La revue générale sur les techniques passives déjà employées dans l'architecture traditionnelle et contemporaine a démontré que ces techniques peuvent apporter des réponses à prendre en compte dans la détermination de l'implantation et l'orientation optimale et dans l'amélioration des conditions de confort intérieur. Cette révision de la littérature permet d'examiner ces paramètres et leur impact sur le confort thermique et sur leur rendement énergétique.

«Les théories récentes préfèrent l'orientation Sud, cette orientation-bénéfice des radiations intenses en hiver et des radiations minimales ou basses en été ». (Olgyay et Olgyay, 1973, p. 30) D'autres chercheurs (Henri Wright (1960); Ludwig Hiberseimer (1986); Gaetano Vinaccia (1952); Jean Lebrouton (1945) et Augustin Rey (2006)) ont démontré, par leurs calculs, que cette orientation reste la plus favorable, quelle que soit la latitude.

La cible principale de ces recherches est de déterminer et cerner les paramètres qui agissent sur la performance énergétique, afin de les adapter aux conditions climatiques et aux besoins des occupants.

Mazria (2005) a déduit que :

- les intensités du rayonnement solaire reçu sur chaque paroi de la construction, aussi bien l'hiver que l'été, et s'étirant le long d'un axe Est-Ouest, exposera sa plus grande façade au Sud, face aux apports thermiques maximums 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 ( $32^{\circ}$  à  $56^{\circ}$ );
- la façade Sud d'un bâtiment reçoit, en hiver, près de trois fois plus de soleil que les façades Est et Ouest;
- 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 quelle que soit la saison.

Pour cela, l'exposition Sud est donc idéale pour l'hémisphère Nord.

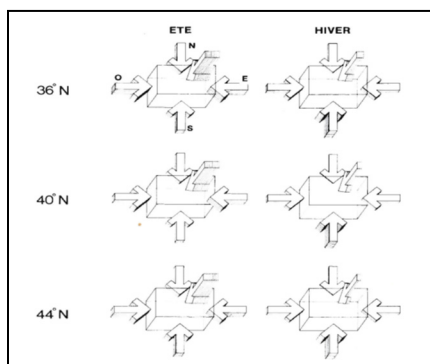


Figure 3.13 Intensité du rayonnement  
solaire sous différentes latitudes  
Tirée de Mazria (2005, p. 67)

Par l'application de la méthode d'Olgay (1973), en projetant les directions de gain maximum des mois chauds et des mois froids, il est possible de déterminer l'orientation optimale pour n'importe quel endroit donné.

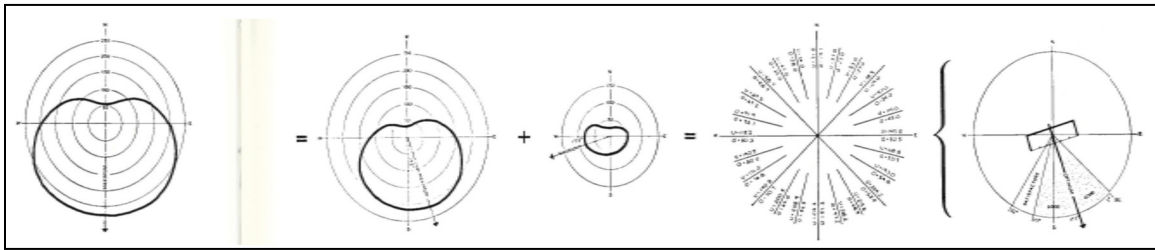


Figure 3.14 Détermination de l'orientation optimale  
Tirée d' Olgyay (1973, pp. 58-62)

À cet effet, la maîtrise du rôle de l'ensoleillement sur le bâtiment dans un site, la protection des ouvrants, ainsi que le rôle de la ventilation naturelle, facilitent la réalisation d'une conception bioclimatique.

### 3.3.5.4 Effet de l'ensoleillement

À la lecture du tableau des hauteurs et azimuts du soleil à Biskra (latitude  $34^{\circ}48'$ ), on constate ce qui suit :

- en hiver, les hauteurs du soleil sont basses dans le ciel, même à midi. De ce fait, les rayons solaires frappent la paroi transparente d'un bâtiment qui, s'étirant le long d'un axe Est-Ouest, expose sa plus grande façade au Sud avec un faible angle d'incidence et traversent par la suite facilement à l'intérieur. Et donc, la paroi Sud est favorisée pour l'exploitation de cette énergie qui se transforme en chaleur. Cette façade reçoit « près de trois fois plus de soleil que les façades Est et Ouest » (Edward, 2005, p. 69).
- en été, les proportions s'inversent. Les rayons solaires sont très haut dans le ciel et frappent la paroi transparente Sud du bâtiment avec un fort angle d'incidence, ce qui renvoie un grand pourcentage à l'atmosphère et peu d'énergie qui pénètre par la suite à l'intérieur sera transformé en chaleur.

Donc, la façade nord, elle, reçoit très peu de rayonnement quelle que soit la saison.

Tableau 3.4 Illustre le pourcentage du rayonnement solaire direct intercepté par une surface en fonction de l'angle d'incidence des rayons lumineux  
Tiré de Reiter et Herde (2004, p. 47)

$I(^{\circ})$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
%	100	99.6	98.5	96.5	94	90.6	86.6	81.9	76.6	70.7	64.3	57.4	50	42.3	34.2	25.8	17.4	8.7	0

On peut déduire de la figure 3.15 que la façade Sud reçoit un maximum de rayonnement direct au mois de décembre. La façade Nord ne reçoit de rayonnement qu'entre le 21 mars et le 21 septembre. La surface horizontale reçoit le rayonnement le plus intense en été, mais entre novembre et janvier, elle reçoit moins qu'une façade Sud, Sud-Est et Eud-Ouest.

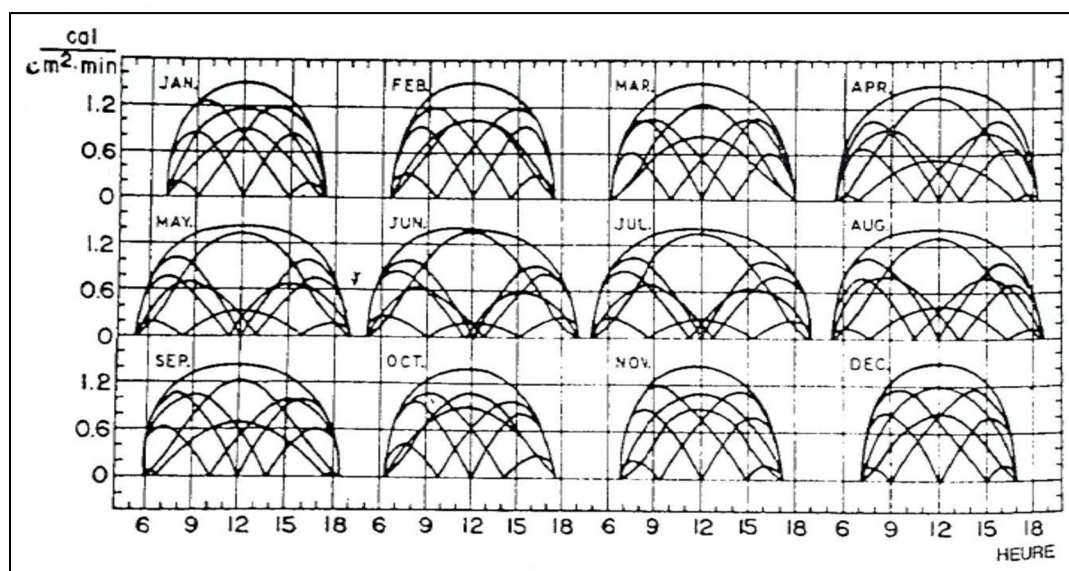


Figure 3.15 Variation de l'intensité solaire reçue sur des surfaces de différentes orientations  
Tirée de Givoni (1978, p. 224)

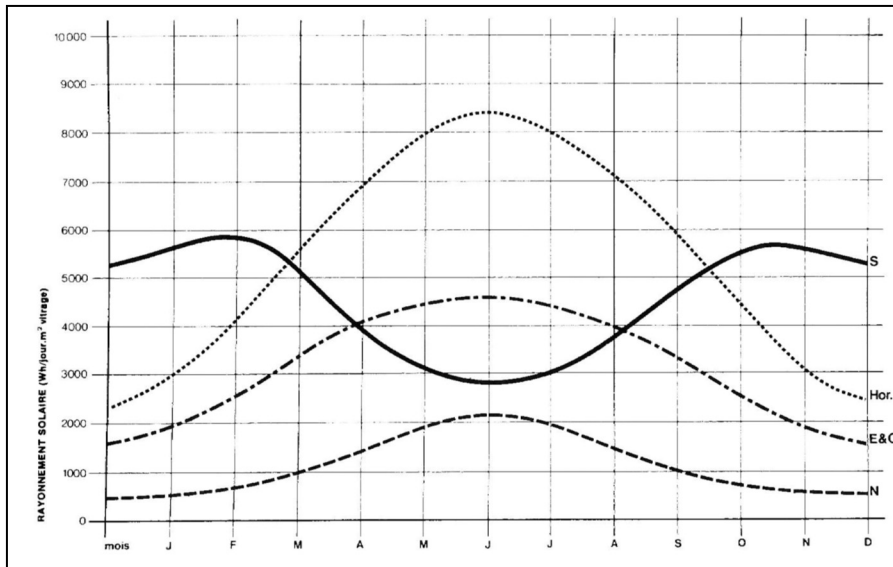


Figure 3.16 Comparaison entre fenêtres diversement orientées, les courbes représentent les valeurs d'irradiations solaires ces derniers déterminent la puissance des rayonnements interceptés par une surface, par jour clair pour une latitude 40° N et pour les orientations indiquées  
Tirée de Mazria (2005, p. 84)

Ceci illustre que l'angle d'incidence est fonction de l'implantation du bâtiment et l'orientation de ses façades sous toutes les latitudes tempérées de l'hémisphère Nord. Chose confirmée par Roger Camous et Donald Watson (1983) : La composition des murs et des toits d'un bâtiment peut donc être déterminée en fonction de leur orientation solaire afin d'obtenir les réponses thermiques désirées.

### 3.3.5.5 Le contrôle de l'ensoleillement

De nombreux architectes ont mis en œuvre des formes et objets architecturaux destinés à contrôler l'ensoleillement; cela s'est traduit en général par la façade épaisse (L. Kahn, J.L. Sert, Le Corbusier (1946)) ou par la systématisation des débords (F.L. Wright, R. Neutra, M. Breuer (1967)) et par la création de brise-soleils (Le Corbusier, O. Niemeyer (1957)). Toutes ces formes répondent plus ou moins efficacement à leur fonction. Cette efficacité dépend à la fois de la géométrie de la forme, mais aussi de l'implantation du bâtiment, de l'orientation de sa façade et de la latitude. Ces trois types de données sont indissociables dans la



détermination de la performance d'un système de protection solaire, ce qui fait qu'il est difficile, pour ne pas dire imprudent, de procéder à des généralisations associant directement forme et performance.

Les architectes d'aujourd'hui semblent avoir perdu la conscience de ce problème, et s'en remettent le plus souvent au hasard (formes utilisées tout azimut), quand ils ne s'abandonnent pas tout simplement au non-traitement du problème. Contrôler l'ensoleillement, c'est donc se donner un minimum de moyens pour vérifier que le dessin en cours correspond bien à un effet voulu: cela vaut pour toutes les formes (auvents, balcons, décrochements, loggias, patios), et pour tous les écrans solaires (lames horizontales, verticales, boîte-à-œufs, claustras).

Ce moyen repose sur deux techniques: l'informatique d'une part, et la représentation du phénomène en vue angulaire d'autre part. Opérationnel, bien que limité à des formes simples, le premier moyen ne traite que du résultat visible (ombres portées) ou numérique, mais n'apporte aucune explication sur le phénomène lui-même. Quant au second outil, il permet de dire où se trouve le soleil dans le ciel à une date et une heure données, ce qui revient à savoir quand il est en "ombre propre" et quand il est "éclairé" (et quelle énergie il reçoit alors). Enfin, il est possible de voir quand un plan est totalement ou partiellement dans l'ombre portée par un masque voisin, en fonction de la latitude et de l'orientation, que l'on peut faire varier à volonté. Ce dernier plan permet même de déterminer la forme et la dimension qu'il faut donner à un masque ou un à écran solaire, en partant d'un programme de protection solaire ou de "captage" solaire défini *a priori*.

### **3.3.5.6 Les systèmes d'occultation**

Parmi les systèmes d'occultation qui sont destinés à limiter ou à supprimer l'introduction de la lumière extérieure et à diminuer la quantité d'énergie reçue par ses surfaces, on en trouve certains qui sont fixes et maçonnées, et d'autres mobiles comme les stores, les persiennes et les volets utilisés généralement à l'extérieur des fenêtres :

- la casquette : est constituée par une avancée de surface plane au-dessus de la surface réceptrice comme les auvents, les débords de toiture, etc. L'occultation du rayonnement direct est bonne pendant l'été de l'orientation sud-est à l'orientation sud-ouest, contrairement à l'est et l'ouest où elle est très faible. En hiver, la casquette laisse passer le soleil quelle que soit l'orientation de la façade;
- le flanc : est constitué par un plan généralement vertical placé à côté de la surface réceptrice; les décrochements des façades, les retours de bâtiment constituent des exemples de flancs. Quant à sa performance, il est relativement efficace l'hiver et très peu l'été en orientation Est et Ouest;
- la loggia : est la combinaison des deux procédés, avancée d'une surface plane au-dessus de la surface réceptrice reposant sur un ou deux plans verticaux situés de part et d'autre de la surface réceptrice. La protection solaire est bonne l'été du Sud-Est au Sud-Ouest et moyenne toute l'année à l'Est et à l'Ouest.

L'auvent et la loggia constituent une excellente protection pour les surfaces vitrées orientées Sud-Est ou Sud-Ouest. Ils maintiennent en effet un ensoleillement satisfaisant l'hiver, mais ils doivent être complétés par des protections mobiles en septembre, car les apports solaires n'y sont généralement pas souhaités, alors qu'ils le sont en mars.

### **3.3.5.7 Calcul des protections pour le cas de Biskra**

Nous ferons ce calcul des protections par l'application d'une méthode plus globale, qui consiste à tracer sur la surface de réception des ombres remarquables et à trouver l'ensemble des positions du soleil qui correspondent à cette ombre. Selon Givoni (1978), les deux frères Olgyay (1973) ont suggéré une méthode qui permet de dessiner et de tester ces systèmes d'occultation qui doivent être dimensionnés pour résoudre à la fois les besoins d'efficacité de protection solaire, d'économie d'énergie, et d'éclairage naturel. Ce sont des objectifs que le concepteur doit chercher à atteindre, à l'aide de cette méthode qui repose sur les étapes suivantes:

- identifier les périodes de sur-échauffement, où l'occultation est nécessaire;
- calculer les positions solaires pendant la période où l'occultation est exigée;
- déterminer le type et la position du système d'occultation; le masque de ce système est mis en place sur l'abaque, à la même échelle que le diagramme de la course solaire;
- déterminer les dimensions du système d'occultation de manière à «couper» le soleil pendant la période de surchauffe et le laisser passer durant la période de sous-échauffement.

Cela permet de manipuler directement des "facteurs de transmission" qui s'appliquent à l'ensemble de la surface considérée, en appliquant cette méthode aux formes élémentaires telles que l'«auvent», les "joues latérales" et le "vis-à-vis", à partir desquelles il est possible de construire les diagrammes de transmission de la "loggia" ou du "patio".

- les angles d'ombre horizontaux et verticaux

Selon D.G. Stephenson, l'angle d'azimut mural de l'ombre (ou angle azimutal solaire du mur: "Horizontal Shadow Angle", HSA) est l'angle tracé sur un plan par une ligne perpendiculaire au mur et la ligne de projection des rayons solaires sur le plan horizontal. De même façon, l'angle d'élévation de l'ombre ("Vertical Shadow Angle", VSA) est tracé sur un plan vertical perpendiculaire au mur par une ligne horizontale perpendiculaire au mur et la ligne de projection des rayons solaires sur le plan vertical. Une fois que ces angles sont connus, il est très simple d'établir la délimitation entre les aires de la façade éclairées par le soleil et celles qui restent dans l'ombre et également de déterminer la répartition de ces aires à l'intérieur du bâtiment si une partie de la façade éclairée est transparente. Ces angles dépendent spécifiquement de l'heure, de la date, de la latitude et de l'orientation du mur, mais sont tout à fait indépendants de la forme ou de la position de l'écran qui produit l'ombre.

Le VSA découle du HSA et de l'angle d'élévation du soleil. On le calcule par la formule:  
3.14 (Stephenson, 2011)

$$tg\ VSA = \frac{tg\ de\ l'angle\ d'élévation}{cos\ HSA} \quad (3.14)$$

Où

$$HSA = azimuth - orientation \quad (3.15)$$

- orientation de la façade au Sud

La méthode appliquée pour déterminer les masques architecturaux s'articule sur la détermination de la zone de surchauffe sur la carte des isothermes (voir annexes); puis, sa projection sur le diagramme solaire correspond à la latitude  $34^{\circ}48'$ . La superposition de l'abaque des angles d'ombre permet d'établir un choix d'angles minimisant les surchauffes en période chaude et maximisant les gains solaires pour la période froide. Pour une orientation sud, on retiendra pour le calcul la valeur de l'angle  $VSA=60^{\circ}$ , car ceci permet de manipuler un ombrage partiel durant la période froide, en janvier et février, pour un éventuel usage du chauffage passif. Cette orientation est favorable, le soleil est au zénith. Un simple auvent de 0,57 mètre protège à 100% la paroi transparente durant les mois d'avril, mai, juin, juillet et août.

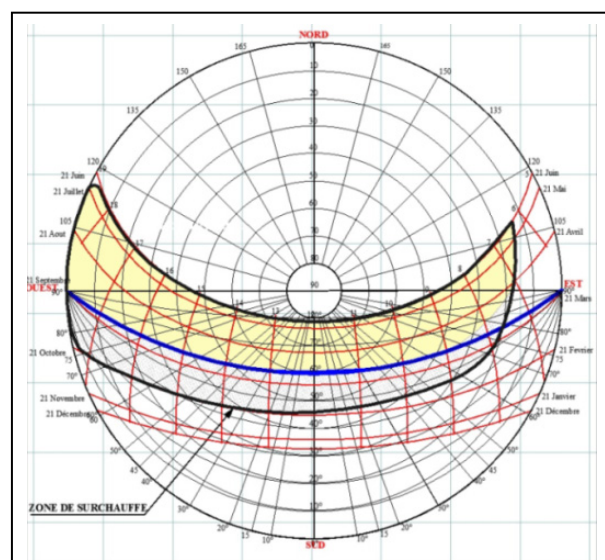


Figure 3.17 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente

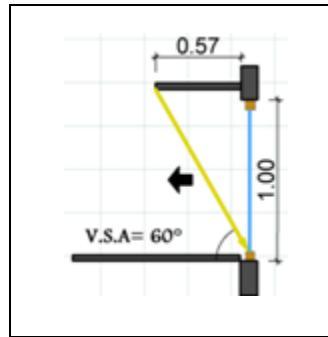


Figure 3.18 Profondeur requise d'un auvent d'une façade sud

- orientation Sud – Est

La façade orientée Sud-Est reçoit un maximum d'irradiation en hiver durant la matinée et moins en été. L'occultation de cette dernière sera favorable dans la mesure où on l'assure par l'utilisation des parois verticales, car, la matinée, le soleil est assez bas et seule l'occultation verticale peut protéger la paroi des rayonnements directs et des lames d'air horizontales pour la mi-journée. On retiendra donc, pour le calcul, les valeurs des angles  $VSA = 40^\circ$  et  $HSA = 30^\circ$ , car ceci permet de manipuler un ombrage partiel durant la période froide, en janvier et février, pour un éventuel usage du chauffage passif. Et d'assurer, donc, une protection de la paroi transparente le matin de 10 h jusqu'à midi durant les mois critiques : avril, mai, juin, juillet et août (Figure 3.19).

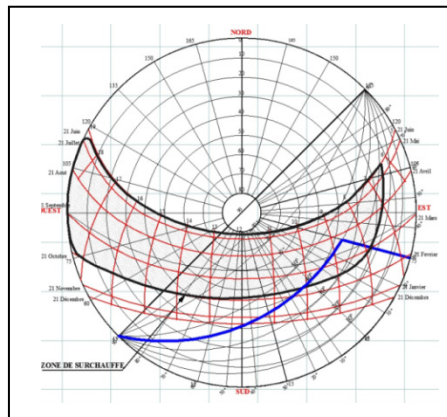


Figure 3.19 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente Sud-Est

- orientation Sud-Ouest

La façade orientée Sud-Ouest reçoit un maximum d'irradiation en hiver durant l'après-midi. La protection de cette dernière sera efficace si elle est assurée par des occultations verticales et horizontales à la fois. Car, en fin d'après-midi, le soleil est assez bas et seule une occultation verticale peut assurer la protection de la façade. Et, pour la mi-journée, l'auvent assure cette occultation. On retiendra donc pour le calcul les valeurs des angles  $VSA = 40^\circ$  et  $HSA = 25^\circ$ .

$$D_{\text{Auvent}} = H / \tan VSA^\circ = 100\text{cm} / \tan 40^\circ = 1.19\text{m}$$

$$D_{\text{occ. Vertical}} = L / \tan HSA^\circ = 100\text{cm} / \tan 25^\circ = 2.14\text{m}.$$

Les profondeurs requises sont importantes. De ce fait, l'occultation des parois transparentes orientées Sud-Ouest est difficile à réaliser.

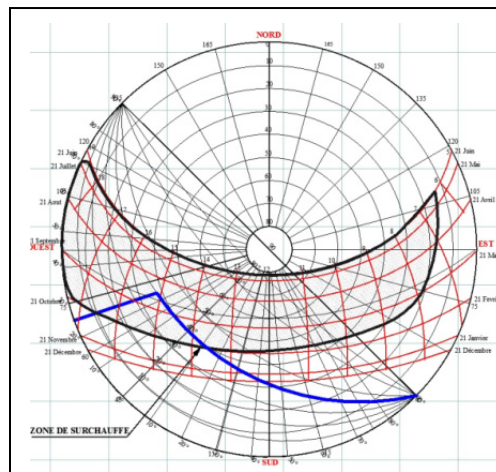


Figure 3.20 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente Sud-Ouest

- orientation de la facade à l'Est

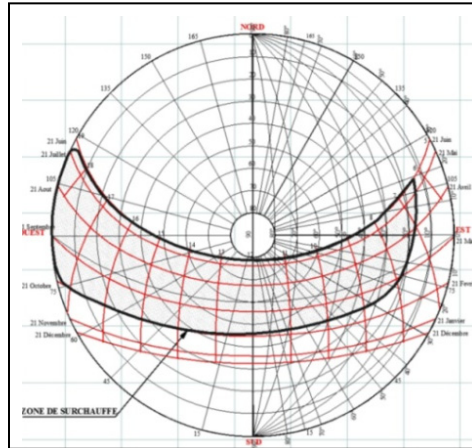


Figure 3.21 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente

- orientation de la facade à l'Ouest

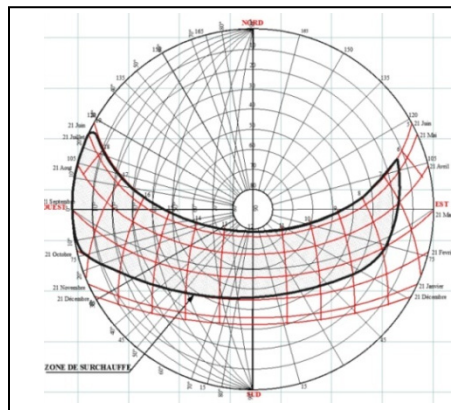


Figure 3.22 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente Ouest

Pour notre cas d'étude, l'occultation et la mise à l'ombre des ouvertures qui participent à la création du confort à l'intérieur du bâtiment dépendent donc de l'implantation du bâtiment et de l'orientation de ses façades, ainsi que de l'emplacement des ouvertures. L'optimisation de ces conditions permettrait d'améliorer l'efficacité énergétique et d'accroître le confort des occupants.

### **3.3.5.8 Le vent et la ventilation**

La conception bioclimatique se décline sous forme de stratégies, qui vont de la protection contre le vent à la façon dont on peut tirer partie de la ventilation naturelle, en passant, entre autres, par le captage solaire. Cette stratégie repose sur une bonne implantation qui permet l'exploitation du vent, par exemple, qui peut être bénéfique en été (ventilation naturelle) et préjudiciable en hiver ! Le défi, donc, à relever dans cette étude, est de trouver un compromis entre ces principes dans l'objectif de réduire les besoins énergétiques et d'améliorer le confort de l'occupant de l'habitat collectif.

### **3.3.5.9 Le vent et ses effets**

Le vent est un déplacement d'air horizontal, d'une zone de haute pression (masse d'air froide) vers une zone de basse pression (masse d'air chaud). La différence de température entre les masses d'air résulte de l'action du soleil.

Ce dernier est un facteur climatique dont on doit à la fois se protéger et tirer parti. Traditionnellement, l'homme avait construit son abri pour se protéger du vent, de même qu'il a utilisé des dispositifs pour le capter au moment nécessaire et, en particulier, dans les périodes chaudes. Le capteur à vent et la tour à vent sont des modèles qui illustrent bien cette idée, ils assurent la ventilation et le refroidissement de l'habitation.

Selon Guyot (1979), l'implantation des bâtiments et leurs formes peuvent engendrer localement, ou sur des étendues importantes, des phénomènes d'accélération avec de brusques rafales de vent, entraînant l'inconfort des usagers. À titre d'exemples :

- effet du coin : à l'angle d'un bâtiment de grande hauteur, les accélérations peuvent être élevées;
- effet de venturi;
- effet de pilotis;



- effet de rouleau.

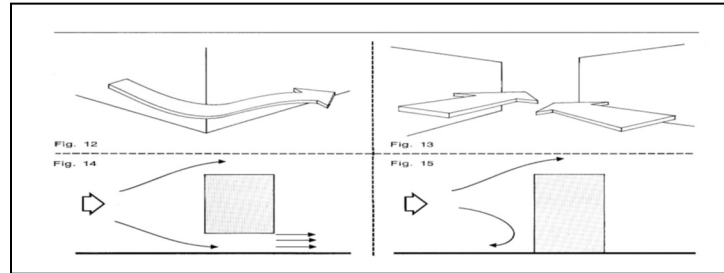


Figure 3.23 Illustration d'effets du vent sur un bâtiment  
qui présente quatre cas  
Tirée de Guyot (1979, p. 24)

De ce fait, la prise en compte de ce souci dès le début de la conception est indispensable de même que les aspects les plus importants de l'action du vent, cette prise en compte étant considérée en rapport avec l'implantation du bâtiment et l'orientation de ses murs.

### 3.3.5.10 La ventilation et ses effets

«Le premier atout d'une bonne ventilation réside dans la disposition des ouvertures les unes par rapport aux autres, en accord avec les vents dominants et le principe de convection naturelle (l'air chaud monte, «aspirant» ainsi l'air plus froid) (Izard et Alain, 1979, p. 103).

- le mouvement de l'air sur le bâtiment

Lorsque le vent souffle sur un bâtiment, l'écoulement normal de l'air est perturbé et dévié sur les côtés et au-dessus du bâtiment. La pression de l'air sur les façades exposées au vent s'élève au-dessus de la valeur de la pression atmosphérique (zone de surpression) ; et, sur les façades sous le vent, la pression est réduite (zone de dépression). La toiture est aussi soumise à la dépression dans tous les cas. De cette manière, il se crée une différence de pression sur un bâtiment qui permet la ventilation.

Cette surpression n'est pas distribuée de manière uniforme sur toute la paroi exposée au vent : avec un vent perpendiculaire, la pression sur les parois latérales est plus importante.

- la ventilation

C'est la différence de pression entre deux points provoquant le mouvement de l'air. Cette différence est due, soit thermiquement à l'air chaud, le plus léger, qui s'élève et provoque un appel d'air plus froid, ou, mécaniquement, au vent qui crée des zones de surpression favorisant le mouvement d'air. Selon (Izard et Alain, 1979, p. 25), la ventilation naturelle est au service de trois fonctions qui sont nécessaires à notre bien-être:

- la ventilation assurant les conditions d'hygiène : c'est le maintien de la quantité d'air dans le bâtiment au-dessus d'un certain minimum grâce au remplacement de l'air intérieur vicié du fait de l'occupant, par de l'air frais extérieur. Elle doit être assurée sous toutes conditions climatiques;
  - la ventilation du confort thermique : il s'agit de produire le confort thermique en augmentant les pertes de chaleur du corps et en protégeant de l'inconfort dû à la moiteur de la peau;
  - la ventilation de refroidissement de la structure du bâtiment : elle concerne le refroidissement de la structure du bâtiment lorsque la température intérieure dépasse la température extérieure par échange thermique entre l'air et la paroi.
- 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» (Givoni, 1978, p. 284).

La quantité de chaleur enlevée ou ajoutée à l'espace (Q) d'après Givoni, (1978) :

$$Q = 0.32 V (t_i - t_e) \quad (3.16)$$

Où:

Q = quantité de chaleur en (W);

V = taux de ventilation en (m<sup>3</sup>/h);

0.32 = capacité calorifique volumique de l'air;

t<sub>i</sub> - t<sub>e</sub> = écart de la température moyenne extérieure et intérieure en (°C).

Selon Givoni (1978), une étude expérimentale portant sur les effets de la ventilation sur les températures de l'air intérieur et de la surface interne des parois orientées à l'Ouest, côté exposé au vent, a été entreprise au centre de recherche du bâtiment d'Haïfa.

Trois régimes de ventilation ont été testés :

- aucune ventilation jour et nuit,
- ventilation permanente jour et nuit,
- ventilation nocturne : pendant le soir et la nuit.

Les résultats observés sont mentionnés sur les deux tableaux suivants :

Tableau 3.5 Effet de la ventilation sur les températures de l'air intérieur et de la surface ouest écart par rapport à la température maximale de l'air extérieur, en °C  
Tiré de Givoni (1978, p. 286)

Couleur externe	Point mesuré	Conditions de ventilation (v.n. = ventilation nocturne v.p. = ventilation permanente)	Matériaux et épaisseurs						
			Béton 12 cm	Béton 22 cm	Béton caverneux 20 cm	Ytong 12 cm	Ytong 22 cm	Mur rideau ordinaire 7 cm	Mur rideau non isolé 16 cm
Gris	air intérieur	sans ventilation	8,0	3,3	3,5	4,6	2,2	5,8	5,1
		v.n.	7,2	1,9	1,7	3,4	0,2	4,8	3,7
		v.p.	1,0	- 0,4	- 0,3	0,5	- 0,2	0,3	0,4
	surface Ouest	effet de la v.n.	- 0,8	- 1,4	- 1,8	- 1,2	- 2	- 1,8	- 1,4
		effet de la v.p.	- 7,0	- 3,7	- 3,8	- 4,1	- 2,4	- 5,5	- 4,7
		effet de la v.p.	- 3,1	- 2,8	- 5,0	- 3,3	- 2,6	- 5,6	- 4,9
Blanc	air intérieur	sans ventilation	- 1,0	- 1,8	- 2,3	- 1,8	- 3,2	- 1,1	- 1,9
		v.n.	- 2,7	- 2,5	- 2,8	- 2,7	- 4,8	- 0,5	- 3,1
		v.p.	- 1,1	- 1,4	- 1,4	- 0,8	- 2,0	0	- 1,0
	surface Ouest	effet de la v.n.	- 1,7	- 0,7	- 0,5	- 0,9	- 1,6	0,6	- 1,2
		effet de la v.p.	- 0,1	0,4	0,9	1,0	1,2	1,1	0,9
		effet de la v.p.	- 0,8	- 1,5	- 0,3	- 0,9	- 0,5	0,8	0,9

Tableau 3.6 Effet de la ventilation sur les températures minimales de l'air intérieur et de la surface ouest écart par rapport au minimum extérieur, en °C  
Tiré de Givoni (1978, p. 287)

Couleur externe	Point mesuré	Conditions de ventilation (v.n. = ventilation nocturne v.p. = ventilation permanente)	Matériau et épaisseur						
			Béton 12 cm	Béton 22 cm	Béton caverneux 20 cm	Ytong 12 cm	Ytong 22 cm	Mur rideau ordinaire 7 cm	Mur rideau non isolé 16 cm
Gris	air intérieur	sans ventilation	2,6	4,4	4,4	2,3	4,6	2	3,4
		v.n.	1,0	2,2	1,7	1	0,4	0,8	0,9
		v.p.	0,6	1,6	1,2	0,7	0,9	0,7	0,7
	surface Ouest	effet de la v.n.	- 1,6	- 2,2	- 2,7	- 1,3	- 3,2	- 1,2	- 2,5
		effet de la v.p.	- 2,0	- 1,8	- 3,2	- 1,6	- 3,7	- 1,3	- 2,7
		effet de la v.p.	- 1,2	- 1,5	- 2,6	- 1,1	- 2,6	- 0,9	- 2
Blanc	air intérieur	sans ventilation	2,2	3,7	3,4	2,5	3,4	2,2	3,5
		v. n.	0,8	1,7	1,9	1,1	1	1,7	0,9
		v. p.	0,2	0,8	1,1	0,3	0,7	1	0,3
	surface Ouest	effet de la v. n.	- 1,4	- 2	- 1,5	- 1,4	- 2,4	- 0,5	- 2,6
		effet de la v. p.	- 2	- 2,9	- 2,3	- 2,2	- 2,7	- 1,2	- 3,2
		effet de la v. p.	- 2,4	- 2,4	- 2,2	- 2	- 2,7	- 1,7	- 3,5

On peut conclure des résultats de cette étude que :

La ventilation abaisse les températures dans tous les cas, mais à un degré bien moindre qu'avec la couleur grise. Pour les effets relatifs, la ventilation permanente et la ventilation nocturne sont aussi affectées par la couleur externe. Et l'effet quantitatif de la ventilation dépend aussi du matériau et de l'épaisseur des murs, ainsi que de leurs couleurs.

D'autres expériences ont été menées sous différentes conditions de ventilation dans plusieurs régions climatiques en Israël. Des résultats semblables vont dans le sens que l'effet de la ventilation vers la réfrigération ou l'échauffement dépend du régime du gradient des températures entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment, lorsque celui-ci n'est pas ventilé. Mais au moment de la ventilation de ce dernier, la ventilation a pour effet d'abaisser la température intérieure, lorsque celle-ci est plus élevée que celle de l'extérieur et, lorsque les conditions sont inverses, les effets sont inversés.

À partir des résultats des études de Givoni, on peut conclure que le sens et la grandeur des effets de la ventilation sur les températures intérieures, ainsi que le régime diurne souhaitable de la ventilation, dépendent de la couleur externe des murs et de la grandeur et de la protection des fenêtres.

### **3.3.5.11 Effet de l'orientation des ouvertures par rapport au vent**

D'après Givoni (1978), l'orientation des fenêtres par rapport à la direction des vents dominants a une influence considérable sur la ventilation intérieure. La principale exigence pour qu'une ventilation soit satisfaisante est de prévoir des ouvertures, aussi bien sur la façade « au vent » que sur sa face « sous vent ».

Pour la région de Biskra, dont l'implantation arbitraire des bâtiments fait subir plusieurs types de phénomènes qui influent sur le confort intérieur, les vents dominants sont du côté Nord et Nord-Ouest. 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 de chaleur à travers les parois par convection et par infiltration et diminue la température pendant la période hivernale. Les vents de sable (sirocco), eux, soufflent au moins une fois par an, en été particulièrement.

### **3.3.5.12 L'organisation spatiale**

La manière dont les logements et/ou les pièces d'une habitation se répartissent par rapport aux façades est également un point à étudier. L'orientation principale d'une pièce est déterminée principalement par ses ouvrants : la quantité d'énergie solaire totale et les horaires d'ensoleillement direct sont deux paramètres à prendre en compte.

D'une manière générale, le côté Sud d'un bâtiment est le plus précieux. Le soleil y étant au zénith l'été et le côté Sud étant bien ensoleillé l'hiver, ce dernier constitue un bon emplacement pour les pièces occupées en permanences pendant la journée, tandis que les chambres sont utilement ouvertes entre l'Est et le Sud. Le côté est bien ensoleillé le matin, agréablement chauffé en été et possède un très grand refroidissement en hiver. Tandis que le côté ou Est est présente un ensoleillement profond l'après-midi avec forte chaleur et éblouissement.

De ce fait, il convient particulièrement d'éviter l'ouverture sur l'ouest, car elle provoque des surchauffes tard dans la soirée en été. Contrairement aux locaux à faibles besoins thermiques et lumineux, ils sont rejetés vers le Nord, comme la buanderie, l'entrée, la cage d'escalier, etc. Ces espaces sont nommés espaces-tampons, car ce sont des espaces intermédiaires entre l'intérieur chauffé et l'extérieur.

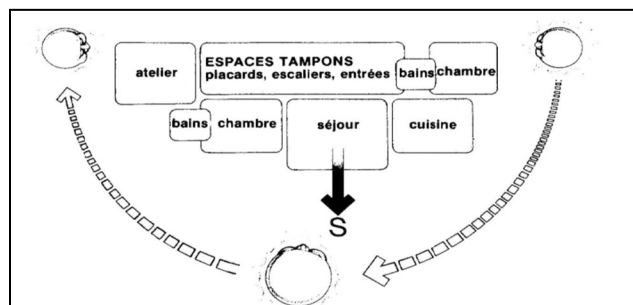


Figure 3.24 Le zoning climatique d'une habitation  
Tirée de Mazria (2005, p. 76)

### 3.3.5.13 Recherche de confort selon le type d'espace

«Les cours intérieures, les patios, sont les modérateurs naturels de température, sous des climats chauds» (Déoux et Déoux, 2004, p. 142). Dans les climats chauds tels que le climat méditerranéen, où le refroidissement est impératif, il est légitime que le logement dispose d'une extension à l'air libre, une loggia, ou autre, tout en lui assurant la protection de son intimité, chose faite par Le Corbusier dans ces unités d'habitations de Marseille et de Rezé-les-Nantes. «Ce cas n'a de sens que lorsque tout le volume contenu par l'enveloppe considérée doit nécessairement assurer un confort» (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 125).

### 3.3.5.14 L'intégration d'une loggia

«Si l'architecture du nord doit être au maximum étanche à l'air et ouvert au soleil, l'architecture du sud doit être, au contraire, perméable à l'air et fermée au soleil. Plus on monte vers le nord, plus les saisons rigoureuses sont longues, plus on ouvre le bâti vers le soleil et la lumière tout en restant à l'intérieur. Au final, on reconstitue une atmosphère complètement contrôlée, on vit dans un véritable scaphandre. Au contraire, plus on descend vers le sud, plus on doit chercher les bienfaits climatiques à l'extérieur, s'il n'est pas trop pollué, d'où le prolongement des espaces fermés par des espaces ouverts, couverts ou non» (Ravéreau, Bertaud Du Chazaud et Ravéreau, 2007, p. 131).

La loggia, dispositif d'augmentation de qualité spatiale pour vivre à l'extérieur au fil des saisons, offre également de grandes possibilités d'expression architecturale. Elle devient un prolongement temporaire de l'espace de vie au printemps et fonctionne comme un jardin en hiver et un balcon largement ventilé en été. Elle constitue un espace de rafraîchissement d'air provenant de l'extérieur, mais rafraîchi par le passage dans cet espace (couvert, ouvert et protégé des rayonnements solaires); la loggia a une profondeur étudiée et ce, pour rafraîchir l'air neuf des bâtiments en été. Ceci permet de diminuer la température des bâtiments et améliorer le confort des occupants.

«Les volumes intérieurs non habitables doivent être conçus conjointement selon les aspects géométriques et techniques, en tenant compte des connaissances qui viennent d'être développées» (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 130). Une loggia bien conçue participe activement au confort d'hiver et d'été et réduit les consommations d'énergie liées au chauffage et climatisations. Elle joue comme rôle de bien limiter les gains solaires directs entrant dans le bâtiment en protégeant les parois opaques comme les parois transparentes. De ce fait, il est d'une importance primordiale de concevoir prudemment cet espace, et de penser à la gestion des apports solaires dès la phase de conception. Le choix de l'orientation, le rapport surface-plein- vide, la taille et l'emplacement des ouvertures sur le mur de liaison et le rôle de l'occupant, sont des paramètres à étudier avec soin.

### **3.3.5.15 Échanges thermiques avec les espaces contigus**

Les échanges d'énergie avec les espaces adjacents se font à travers les éléments transparents et opaques communs. La chaleur peut être encouragée à migrer naturellement vers les pièces contiguës, en ouvrant des portes ou des fenêtres placées dans le mur mitoyen. Dans le cas où ces ouvrants sont fermés, il s'agit d'une restitution de la chaleur stockée.

Selon Fernandez et Lavigne (2009), le flux thermique qui traverse la partie contiguë traverse en série l'enveloppe extérieure de l'espace-tampon, cette dernière augmentant la résistance rencontrée par ce flux. Il en est tenu compte selon les formules suivantes :



$$\tau = \frac{H_{tp} + A q}{H_c + H_{tp} + A q} \quad (3.17)$$

$$\Delta T_1 = \tau * \Delta T \quad (3.18)$$

$$\Phi = H_c * \Delta T_1 = H_c * \tau * \Delta T \quad (3.19)$$

Où

$\tau$  : représente le coefficient de réduction de la température en (W/ m<sup>2</sup>°C);

$\Phi$  : représente le flux thermique en (W);

$H_c$ : représente la conductance de la partie contiguë en (W/°C);

$H_{tp}$ : représente la conductance de l'enveloppe extérieure de l'espace-tampon en (W/°C);

$\Delta T$  : représente écart de température entre espace habitable et espace extérieur

=  $\Delta T_1 + \Delta T_2$  en (°C);

$\Delta T_1$ : représente la différence de température entre espace habitable et espace-tampon en (°C);

$\Delta T_2$  : représente la différence de température entre espace-tampon et espace extérieur en (°C);

$q$  = débit d'air qui traverse l'espace-tampon, voulu ventilé ou à l'étanchéité imparfaite en (m<sup>2</sup>/h).

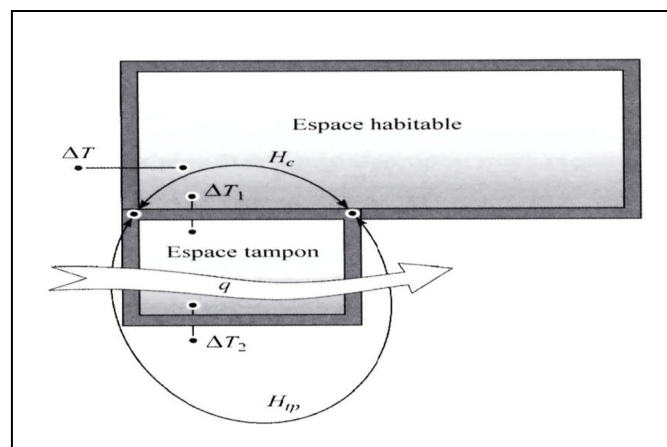


Figure 3.25 Schéma d'un espace habitable avec espace-tampon  
Tirée de Fernandez et Lavigne (2009, p. 127)

### 3.3.5.16 Le vitrage et l'emplacement des fenêtres

Les vitrages dans une construction sont une nécessité, source d'agrément, de confort et de lumière. Ils sont responsables des pertes thermiques, mais ils peuvent aussi être le point de passage d'un important apport solaire en hiver.

Mazria (2005), explique que les fenêtres disposées sans tenir compte de la qualité de chaleur qu'elles peuvent recevoir du soleil, sont souvent la source d'un déficit thermique important. À cet égard, et pour que le soleil pénètre dans toute la surface habitable, la profondeur de la pièce ne doit pas dépasser deux fois et demie la hauteur comptée à partir du plancher ; de même, la surface de la fenêtre est de l'ordre du cinquième de la surface du plancher.

Cette règle pratique conduit ainsi à un niveau d'éclairement satisfaisant dans le volume occupé et correspond aux recommandations des éclairagistes.

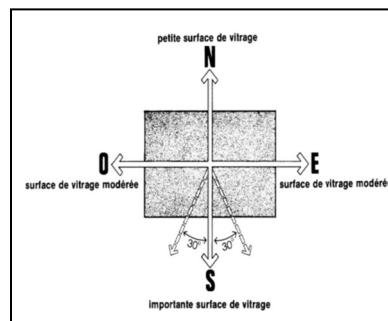


Figure 3.26 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente ouest  
Tirée de Mazria (2005, p. 82)

### 3.3.5.17 Calcul des occultations de la loggia pour le cas d'étude

En appliquant la même méthode utilisée pour la détermination des masques architecturaux, la superposition de l'abaque des angles d'ombre permet d'établir un choix d'angles réduisant les surchauffes en période chaude et maximisant les gains solaires pour le chauffage, en

période froide. Pour une orientation sud, les valeurs de  $60^\circ$  pour l'angle d'ombre horizontal HSA, et de  $40^\circ$  pour l'angle d'ombre vertical VSA sont retenues.

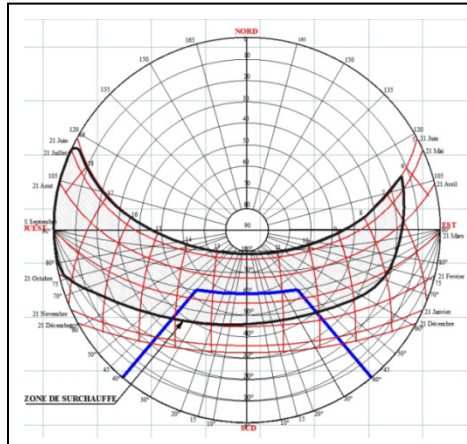


Figure 3.27 Masque d'ombre de la protection solaire de la paroi transparente Ouest

Détermination des avancées verticales (flancs) Y :

La paroi du séjour abrité par la loggia est de 3,10 m de longueur et de 2,7m de hauteur.

$$Y = 1,57 / \tan (40^\circ) = 1,89 \text{ m.}$$

Détermination de l'auvent X :

$$X = 2,70 / \tan (60^\circ) = 1,56 \text{ m.}$$

Déterminée par ce calcul, la largeur de flancs est importante. Cela est consécutif à la difficulté d'occultation d'une paroi d'une telle largeur (3.10 m), lorsqu'il s'agit d'orientations est et ouest. Néanmoins, elle est réalisable par une division du masque architectural, en lamelles verticales.

### 3.3.5.18 Les couleurs des parois extérieures

« La solution des traitements de surface utilisée par des pays méditerranéens dans les villages, théoriquement satisfaisante, est malheureusement fort rarement applicable à l'heure actuelle avec l'atmosphère poussiéreuse des villes » (Fernandez et Lavigne, 2009, p. 205).

Les couleurs ont une influence sur le comportement thermique de l'enveloppe, notamment sur les parois orientées côté Sud et Ouest, car le rayonnement solaire incident sur ces deux derniers est plus important que les autres orientations.

Selon Givoni, certaines études ont montré que l'affaiblissement maximal des températures diurnes induit par une couleur extérieure claire est beaucoup plus important que celui obtenu par l'augmentation de la résistance et de l'inertie thermique. De ce fait, les couleurs de l'enveloppe doivent être choisies en fonction de l'orientation et du coefficient d'absorption du rayonnement solaire.

Concernant l'orientation, la façade Sud sera de préférence de couleur sombre afin d'absorber le maximum du rayonnement solaire incident en hiver. Tandis qu'en été, cette façade sera protégée par des casquettes (avancées de toit) ou de la végétation pour qu'elle ne devienne pas trop chaude. Quant aux façades Est et Ouest, elles seront de couleurs claires pour réfléchir les rayons du soleil en été, période où elles sont fortement exposées. Le sol et les murs intérieurs exposés sont aussi pris en considération. Ils seront plutôt sombres pour stocker la chaleur.

De ce fait, un choix judicieux des couleurs constitue un moyen efficient pour améliorer la performance thermique d'un bâtiment.

### 3.3.6 Synthèse

«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 thermiques intérieur / extérieur. Cette double fonction place le concepteur dans l'obligation de manipuler des dispositifs architecturaux adaptés aux conditions climatiques et participe activement à l'expression architecturale de son projet» (Chatelet, Fernandez et Lavigne, 1998, pp. 16-17).

Au terme de cette étude, nous concluons en rappelant que le climat et ses paramètres constituent un facteur extérieur qui doit être pris en compte lors de la conception d'un bâtiment. Il affecte l'enceinte habitable ainsi que l'ambiance intérieure d'une manière positive ou négative selon la composition de l'enveloppe.

L'enveloppe du bâtiment est un élément intermédiaire entre l'environnement extérieur, en particulier le climat, et l'ambiance intérieure. C'est un échangeur thermique qui atténue les paramètres du climat extérieur. Si elle est bien conçue et mise en œuvre, elle permet d'énormes économies en énergie et assure des ambiances confortables et saines. Elle est l'un des aspects du travail de l'architecte qui doit lui donner son importance, généralement mal connue thermiquement par les hommes de l'art.

Enfin, on peut avancer l'idée que le choix d'une implantation d'un bâtiment, ainsi que l'orientation de ses façades, affecte l'ambiance intérieure par deux facteurs climatiques : le rayonnement solaire et la ventilation. De ce fait, il est possible d'ajuster la conception d'un bâtiment par la bonne connaissance de ces éléments abordés, de modifier les effets de l'implantation à la fois sur les conditions de ventilation et de température. Ces derniers constituent pour l'architecte la matière première pour une conception consciente de l'énergie et du confort de l'occupant.

Les résultats obtenus nous ont permis de relever que l'optimisation des dispositifs architecturaux passifs tels que l'implantation, l'orientation, l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia, et un choix judicieux des couleurs, en plus de recourir à de simples dispositifs de ventilation, constituaient un moyen efficient pour améliorer l'efficacité énergétique et permettaient d'accroître le confort des occupants de l'habitat collectif de Biskra.

Suite à cela, le prochain chapitre fera l'objet d'une étude expérimentale sur un bâtiment collectif pour tester l'impact de l'implantation de ce dernier sur la température intérieure ainsi que sur le confort thermique résultant.



## **CHAPITRE 4**

### **ÉTUDE DE CAS ET MÉTHODOLOGIE**

#### **4.1 Introduction**

Cette recherche prend comme point de départ l'ignorance du confort thermique des occupants par les concepteurs et architectes, ignorance confirmée par l'implantation arbitraire face à l'effet de l'ensoleillement et du vent et 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 dans notre cas d'étude.

#### **4.2 Objectifs**

La recherche effectuée pendant ce mémoire a pour but, d'une part, d'intégrer l'énergie solaire et d'adopter des solutions passives pour les bâtiments collectifs, et ce, dès leur conception, sous les conditions climatiques de la ville objet de l'étude, en vue d'améliorer le confort thermique de l'occupant à un moindre coût énergétique. Et, d'autre part, de concevoir des bâtiments collectifs plus performants du point de vue thermique et énergétique. Ces objectifs ont pour finalité d'être ensuite couplés à une interface professionnelle établie dans un cadre d'enrichissement et manipulable de manière conviviale par les concepteurs.

Ce présent travail vise à atteindre notre objectif essentiel, qui consiste à évaluer l'impact de l'implantation d'un bâtiment et son orientation sur le confort hygrothermique de l'occupant. De ce fait, l'étude s'est fixé comme objectif d'évaluer l'effet des radiations solaires sur la façade d'un bâtiment et son orientation.

À ce sujet, l'architecture est ainsi envisagée dans une recherche d'intelligence, en tenant compte du climat et en recherchant le confort de l'occupant et ce, sans ou avec le minimum de consommation d'énergie (qui reste un enjeu majeur) et d'installation de chauffage et/ou de climatisation. Pour ce faire, les variables suivantes sont à prendre en considération:

- l'implantation par rapport au soleil et au vent;
- la couleur et la nature des parois exposées;
- l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia.

Cela étant, l'objet de l'étude, soit l'impact de l'implantation du bâtiment sur le confort hygrothermique dans l'habitat collectif de Biskra, traite des répercussions de l'implantation du bâtiment sur les ambiances internes, notamment le confort hygrothermique (ambiance ressentie comme trop chaude ou trop froide) et la consommation énergétique.

### **4.3 Le choix de l'habitat collectif**

Le choix du thème de l'étude porte sur une typologie de l'habitat la plus répandue sur le territoire national. En effet, l'habitat collectif, à style architectural contemporain, permet une étude du type comparatif et l'analyse de plusieurs échantillons ayant initialement les mêmes caractéristiques, et dont certains ont subi des transformations dès leur acquisition, par les habitants.

### **4.4 Cas d'étude**

La ville de Biskra, en Algérie, est choisie pour sa représentativité des milieux semi-arides dans les pays du Sud. Elle se caractérise par un climat chaud et sec défavorable à l'atteinte d'un confort thermique pendant l'été. Le choix de Biskra comme cas d'étude nous permet de mesurer la perception du confort dans les bâtiments collectifs. Il s'agit d'immeubles résidentiels qui présentent un cadre bâti marqué par une implantation arbitraire, d'une forme architypique, dispersée et éclatée où on trouve des façades similaires exposant leurs baies aux conditions climatiques, alors que ces conditions peuvent être modérées par la création de microclimats agréables. Avec une orientation arbitraire des façades où le même prototype peut être soumis à diverses orientations, sans prendre en considération ni les quantités d'énergie à consommer, ni le confort thermique à l'intérieur de cet habitat collectif, sans oublier l'usage de matériaux non-adaptés aux exigences climatiques, tout cela augmente les



dépensations dont le besoin en climatisation et en chauffage sera plus important. Ces constructions sont réalisées dans l'ignorance des connaissances liées à la climatologie, au confort et au comportement thermique des matériaux de construction – à titre d'information, le même type de logements avec les mêmes matériaux de construction réalisés au Nord, est également construit au Sud.

Étant donné que la ville de Biskra consacre une grande partie de sa consommation énergétique aux seules fins de la climatisation afin de maintenir les occupants des habitations et de fonctionner dans le confort pendant les périodes chaudes, sachant qu'il faut trois à quatre fois plus d'énergie pour rafraîchir des espaces que pour les chauffer, pour ces raisons, le choix de l'expérimentation a porté sur la période la plus défavorable de l'année, soit le mois de juillet.

#### **4.5 Méthodologie de la recherche**

La méthodologie adoptée est basée essentiellement sur le processus de la recherche opérationnelle dite classique: observations, hypothèses, vérification par l'expérimentation et l'investigation, résultats, comparaisons et recommandations. Elle nous permet de déterminer les éléments influents de l'enveloppe du bâtiment. Face à ces éléments, le concepteur peut alors proposer des solutions bioclimatiques adaptées.

Comme première étape de la vérification des hypothèses, on effectuera une analyse bioclimatique approfondie basée sur les techniques d'analyse bioclimatique classiques, telles que les psychromètres et les abaques, dont on peut convertir les résultats quantitatifs obtenus en graphiques pour mieux comprendre les comportements des espaces étudiés, pour ensuite les comparer avec le confort thermique perçu par les occupants.

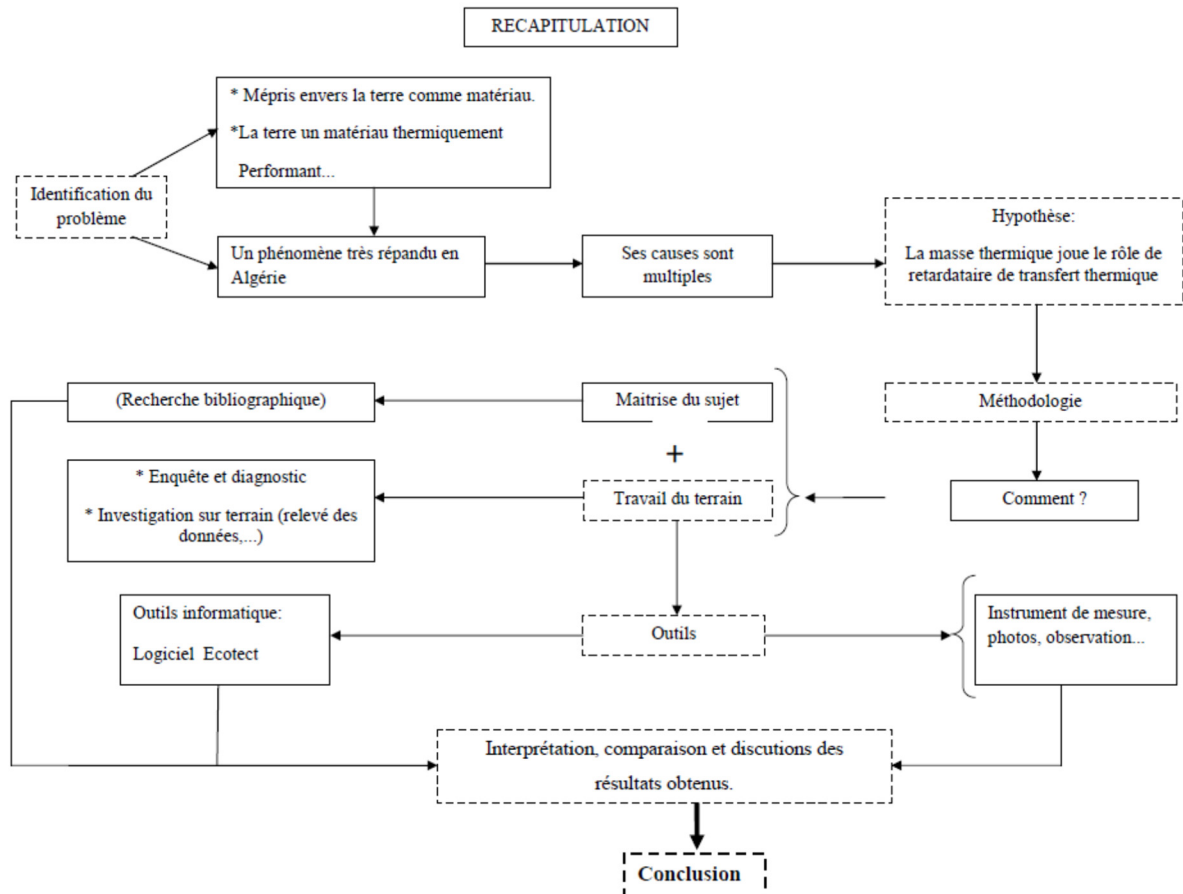
Dans la première partie, les techniques usuelles de l'analyse bioclimatique (diagrammes et indices thermiques) sont utilisées à la base des psychromètres classiques.

Dans la deuxième partie, une méthode expérimentale est utilisée pour étudier la performance thermique. Pour cela, la technique utilisée est la technique expérimentale à travers les mesures in situ. Pour ce faire, nous avons fait appel à des échantillons de bâtiments sur le même site et qui présentent la même conception architecturale, mais diffèrent uniquement dans leur implantation ainsi que dans l'orientation de leurs façades.

Les appareils de mesure utilisés à savoir : Les thermographes, les hygrographes, les thermocouples et les thermomètres ordinaires ont permis d'enregistrer la température intérieure, l'humidité relative intérieure ainsi que l'échange de chaleur entre le bâtiment et son environnement. Une autre station a aussi été installée afin d'obtenir en tout temps la température extérieure ambiante et le taux d'humidité relative dans l'air. Ces valeurs permettront d'évaluer l'influence de l'orientation sur la température intérieure ambiante. Ces appareils de mesures, étalonnés pendant vingt-quatre heures auprès des services de la station météorologique de la ville de Biskra, permettront à cette campagne de mesures de se tenir sur une durée de vingt- quatre heures.

Une approche comparative sera adoptée afin d'analyser les résultats. Des mesures enregistrées vont permettre le traitement des informations obtenues et la validation des résultats de l'expérience comparative entre les différents scénarios.

Cependant, pour atteindre les objectifs de cette recherche, le passage à la simulation à l'aide d'un logiciel informatique est la finalité que vise cette étude. Cette simulation permettra de valider les résultats précédents et présentera une étude de plusieurs variantes d'implantation d'un bâtiment permettant la recherche de l'impact de différents paramètres sur le confort hygrothermique, tels que la variation de l'implantation par rapport au soleil et au vent, la couleur et la nature des parois exposées et l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia. Cette étude permettra de tirer les paramètres optimaux pour améliorer les conditions du confort et ainsi, faire ressortir en dernier lieu les stratégies à adopter pour tels types de bâtiments collectifs de la ville de Biskra.



#### 4.6 Présentation du logement d'étude

Il s'agit de trois bâtiments collectifs ayant la même conception architecturale. Ils sont représentés par la figure 4.1.

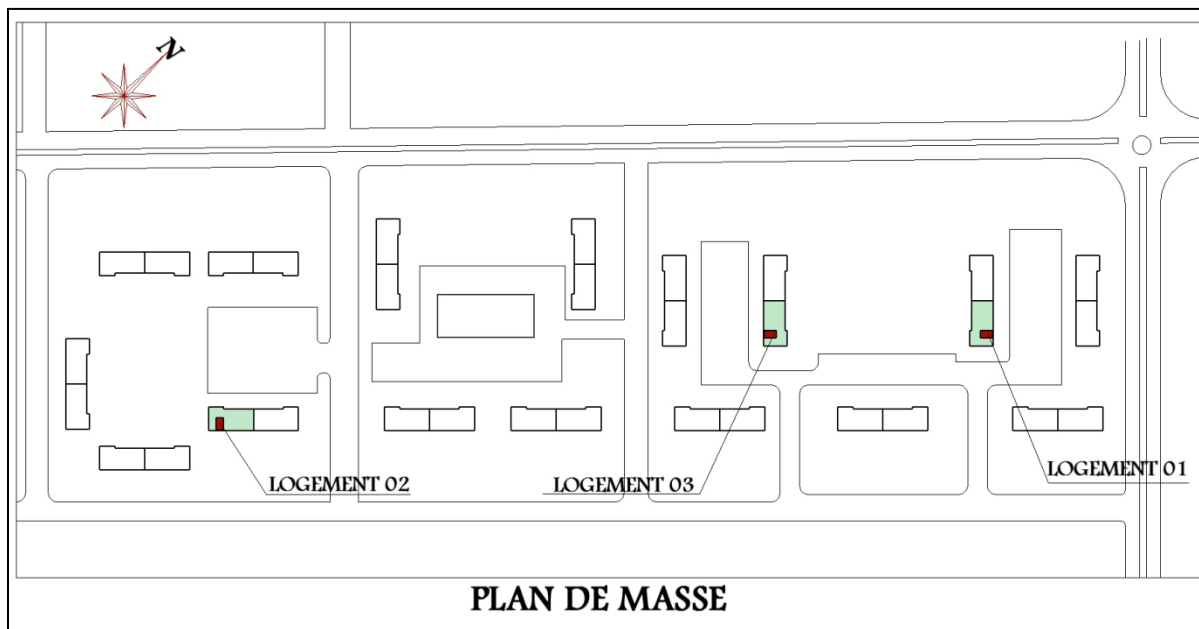


Figure 4.1 Plan de masse du site objet de l'étude El-Aalia, Biskra

Le système constructif est préfabriqué : une structure porteuse par refend porteur et dalle pleine. Les dimensions des séjours sont : 5.25 m \* 3.20 m avec une hauteur sous plafond de 2.98 m. La taille de l'ouverture, qui est en menuiserie de bois avec un vitrage simple de 3 mm est de 1.20 m\*1.20 m. La distribution spatiale du logement est représentée par la figure 4.2.

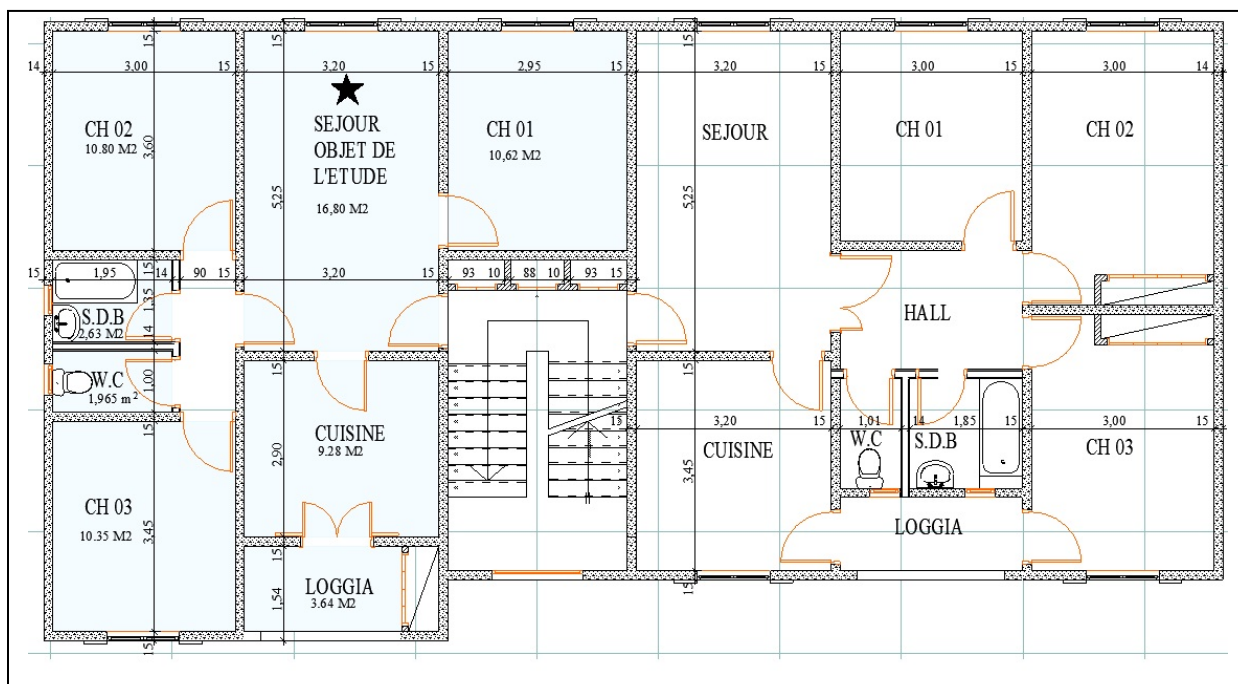


Figure 4.2 Plan du logement étudié

#### 4.7 Conditions de déroulement des mesures

Les mesures se sont effectuées pendant la période estivale, et plus précisément en date du 5 juillet 2011. Une enquête a été faite auprès des ménages et il a été constaté ce qui suit :

##### 4.7.1 Séjour orienté Nord-Est "60°"

Le séjour est utilisé juste pour les tâches ménagères de 8 heures jusqu'à 10 heures. La fenêtre est fermée toute la matinée, de 9 heures jusqu'à 15 heures, avec comme simple protection des rayons solaires, une toile de couleur beige ; puis, le vitrage sera ouvert à partir de 15 heures. Le rideau sera retiré pour le refroidissement nocturne de 18 heures jusqu'à 22 heures ; au-delà, le rideau est à nouveau fermé. La fenêtre ne possède pas de persiennes en bois ou de protection par les éléments de la façade. Il est intéressant de noter que la porte qui donne sur le couloir reste ouverte.

#### **4.7.2 Séjour orienté Sud-Est"150°"**

Le séjour est utilisé uniquement dans l'après-midi à partir de 14 heures et le soir, à 22 heures. Le vitrage de la fenêtre du séjour est fermé dans la matinée de 9 heures jusqu'à 16 heures, avec comme simple protection des rayons solaire, une toile opaque de couleur rouge. Le vitrage est rarement ouvert par manque de persiennes ; il ne l'est qu'à partir de 16 heures. Le rideau est tiré de 8 heures jusqu'à 9 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 heures. À partir de 18 heures, il 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.

#### **4.7.3 Séjour orienté Sud-Ouest"240°"**

Le séjour est utilisé souvent. Il est occupé par trois personnes. Le vitrage de la fenêtre du séjour, fermé à partir de 10 heures jusqu'à 20 heures, a, comme simple protection des rayons solaire, une toile légèrement transparente de couleur beige. Le vitrage sera ouvert toute la soirée à partir de 20 heures. Le rideau reste ouvert de 8 heures jusqu'à 11 heures, à partir de 11 heures, il sera fermé jusqu'à 20 heures, puis retiré jusqu'à minuit, où il sera ensuite fermé avec la fermeture des vitrages. La porte qui donne sur le couloir reste ouverte.

### **4.8 Interprétation des résultats**

Une étude détaillée des variations des températures intérieures, températures surfaciques intérieures, de l'humidité relative et des températures extérieures sera élaborée dans le but de déterminer l'orientation la plus favorable et afin d'évaluer le degré de satisfaction des besoins de confort des usagers. Une lecture comparative sera faite avec des limites de confort calculées pour la température neutre de la ville de Biskra, ainsi que pour l'humidité relative. Pour ces dernières, et selon l'analyse bioclimatique de la ville objet de l'étude et Capderou (1985), Biskra se situe dans la zone D, dont la température neutre varie de 22.00°C à 28°C et l'humidité relative varie de 19 % à 65 %.

#### 4.8.1 Étude de l'humidité

##### 4.8.1.1 Cas du séjour orienté Nord-Est "60°"

L'étude de l'humidité relative à l'intérieur du séjour (Figure 4.3), révèle que cette dernière marque une stabilité durant le jour comparée à celle de l'extérieur. Un écart de 5,5% est enregistré, avec un maximum de 35,5% à 6 heures et un minimum de 30 % à 18 heures.

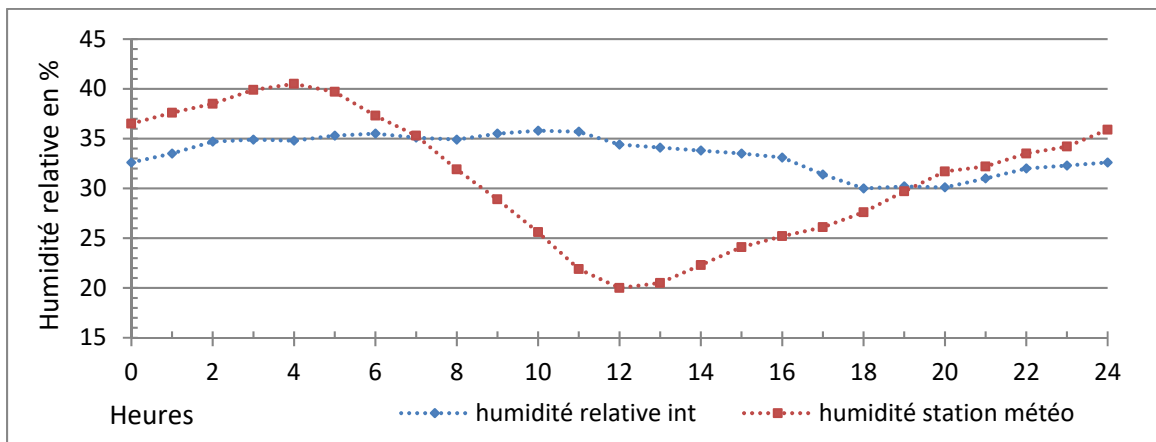


Figure 4.3 Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure du séjour orientation Nord-Est

##### 4.8.1.2 Cas du séjour orienté Sud-Est "150°"

L'étude de l'humidité relative à l'intérieur du séjour (Figure 4.4), révèle que cette dernière marque aussi une stabilité durant le jour comparée à celle de l'extérieur. Un écart de 7,8% est enregistré, avec un maximum de 39,2% à 9 heures et un minimum de 31,4 % à 21 heures.

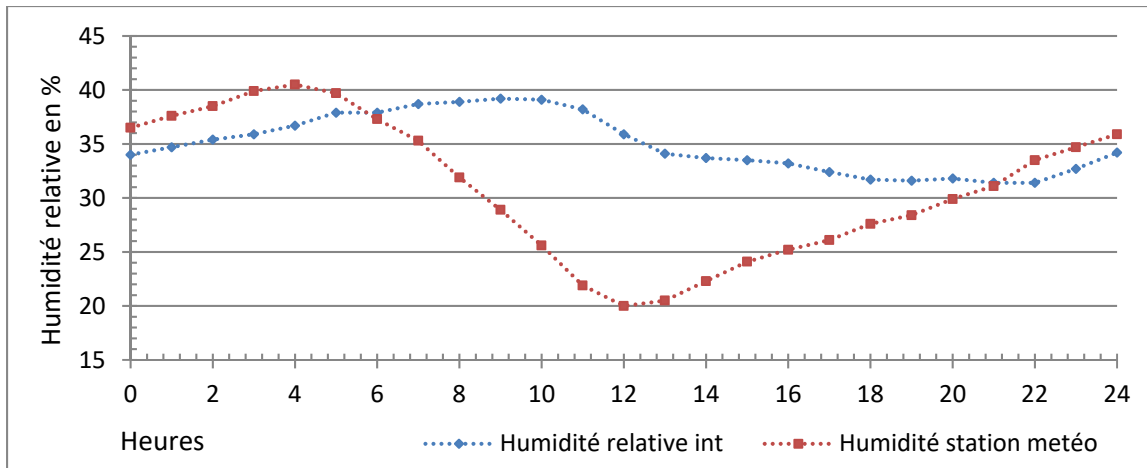


Figure 4.4 Variation de l'humidité relative intérieure et l'extérieure du séjour orientation Sud- Est

En conclusion, nous pouvons dire de ce qui précède de l'analyse des figures de l'humidité relative intérieure des différentes orientations, que l'équilibre hygrométrique à l'intérieur est assuré, en référence à la plage de la zone de confort qui varie de 19 % à 65 %, d'une part, par l'inertie de la paroi en gardant un faible écart de l'humidité, et d'autre part, par l'uniformité de la température ambiante, sans oublier l'usage du chauffage qui a un effet non négligeable dans l'équilibre hygrométrique en hiver.

## 4.8.2 Étude des températures

### 4.8.2.1 Cas du séjour orienté Nord-Est "60°"

Les fluctuations des températures intérieures ambiantes et des températures surfaciques intérieures sont faibles, ce qui est illustré par la figure 4.5. D'après ce diagramme, cela est causé par le fait que la façade reçoit les quantités d'énergie les plus importantes le matin, soit de 410 Wh/m<sup>2</sup> de 6 heures à 8 heures, moment où les températures sont plus fraîches. D'autre part, le séjour objet de l'étude est maintenu fermé de 9 heures jusqu'à 15 heures et la fenêtre, protégée par un rideau de couleur beige qui fait se réfléchir les rayons solaires.



Les conditions auxquelles le séjour est soumis entraînent une légère augmentation des températures intérieures ambiantes et surfaciques. La valeur maximale de la température moyenne intérieure est de 29,9°C. Cette dernière est atteinte à 18 heures, alors que la température moyenne extérieure atteint son maximum de 44°C à 14 heures.

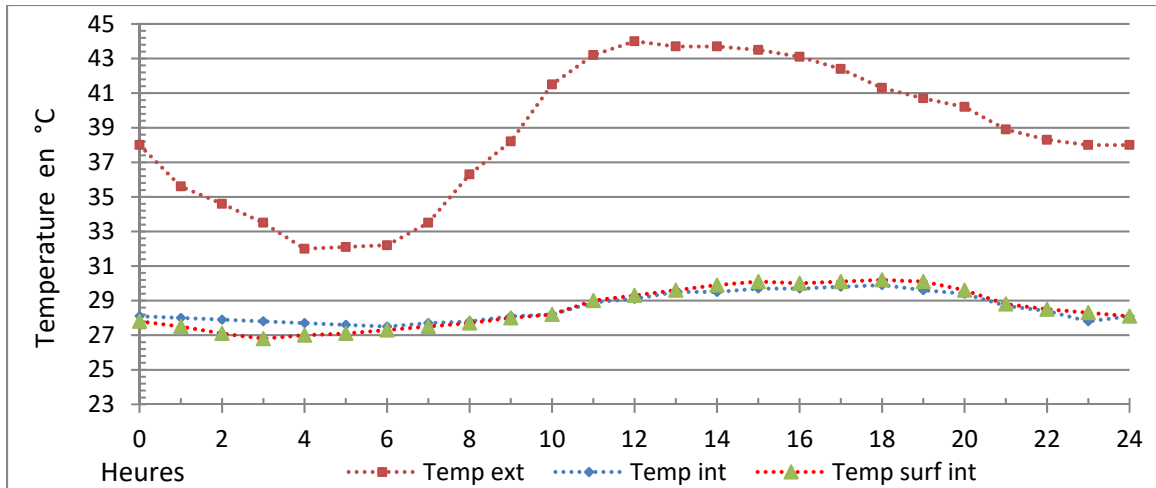


Figure 4.5 Variation de la température intérieure, surfacique intérieure et extérieure orientation Nord-Est

Tandis que, comme la figure 4.3 permet de le constater, l'humidité relative interne atteint son minimum qui est de 30% à 18 heures, ce qui correspond à la température ambiante maximale à la même heure qui est de 29,9°C. L'humidité extérieure est de 20% à 12 heures. Par contre, l'humidité maximum interne est de 35,8 % et est atteinte à 10 heures, celle extérieure est de 40,5% et est enregistrée à 4 heures.

En outre, cette orientation permet la diminution des écarts entre la température maximale intérieure et la température minimale intérieure au niveau du séjour, c'est-à-dire l'amointrissement des fluctuations de température dans l'espace étudié.

En conclusion, nous pouvons dire que la température ambiante interne et surfacique interne sont ainsi davantage liées par un processus de rayonnement. Cependant, l'évolution de la température ambiante intérieure suit celle des températures surfaciques.

#### 4.8.2.2 Cas du séjour orienté Sud-Est "150°"

La figure 4.6 illustre que la température intérieure atteint la valeur minimale de 28,10 °C à 10 heures, alors que la température extérieure atteint la valeur minimale de 32°C à 4 heures. Donc, le temps de déphasage est de 6 heures.

D'autre part, le maximum de la température intérieure est de 30,8°C, enregistré à 18 heures, alors que celui de la température extérieure est de 40°C, atteint à 12 heures au moment où le soleil est le plus haut dans le ciel, et frappe le séjour avec une intensité maximale de 500 Wh/m<sup>2</sup> à 8 heures. Cette dernière sera restituée plus tard après 6 heures vers l'intérieur. Ce qui explique l'inertie de la paroi qui emmagasine la chaleur et le déphasage de la paroi.

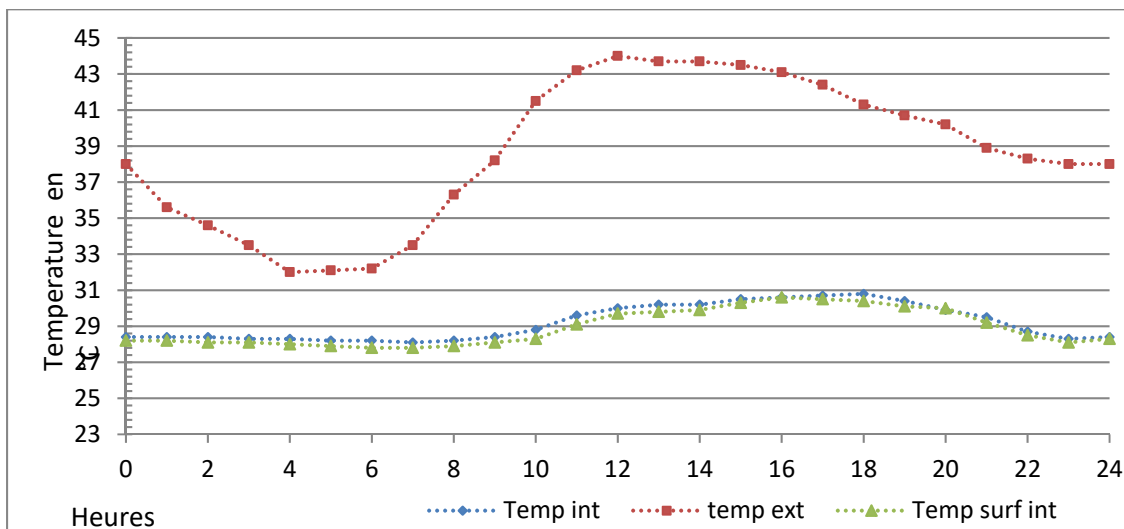


Figure 4.6 Variation de la température intérieure, surfacique intérieure et extérieure orientation Sud-Est

Tandis que la figure 4.4 permet de constater que le minimum d'humidité relative interne est de 31,40%, atteint à 22 heures, celui de l'extérieur est de 24,17%, atteint à 12 heures. Tandis que le maximum interne est de 53,22 % et est atteint à 6 heures, celui de l'extérieur est de 20% et est enregistré à 12 heures. Les valeurs hautes de l'humidité intérieure marquent l'utilisation de l'espace, surtout la nuit.

Ainsi, cette orientation permet la diminution des écarts entre la température maximale intérieure et la température minimale intérieure au niveau du séjour, c'est-à-dire l'amointrissement des fluctuations de température dans l'espace étudié.

À cet effet, nous pouvons déduire que la température de l'air et la température de la surface de la paroi sont liées par un processus de rayonnement. Cependant, l'évolution de la température ambiante intérieure suit celle des températures surfaciques.

#### **4.8.2.3 Cas du séjour orienté Sud-Ouest "240°"**

Le graphe 4.7 ci-dessous fait ressortir que la température intérieure atteint sa valeur maximale de 31,20°C à 19 heures et sa valeur minimale de 26,5°C à 6 heures; ainsi, que l'évolution de la courbe des températures moyennes intérieurs et des températures surfaciques intérieures du séjour suit celle des températures extérieures.

À partir de minuit jusqu'à 10 heures, la courbe de la température intérieure évolue lentement le matin, où les températures intérieures varie entre 27°C et 28,20°C. Cela peut s'expliquer par les radiations solaires réfléchies des surfaces proches, par l'orientation de la rue qui fait canaliser l'air chaud et par le manque de végétation qui fait augmenter les températures. Puis, la courbe évolue rapidement à partir de 10 heures, pour atteindre sa valeur maximale de 31,20°C à 19 heures. Cela revient donc à l'effet de l'orientation qui bénéficie de la plus forte radiation solaire intense qui atteint 2005 Wh/m<sup>2</sup> à 15 heures. Ces rayons ont une incidence très faible qui fait que ces derniers pénètrent plus profond à l'intérieur.

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.

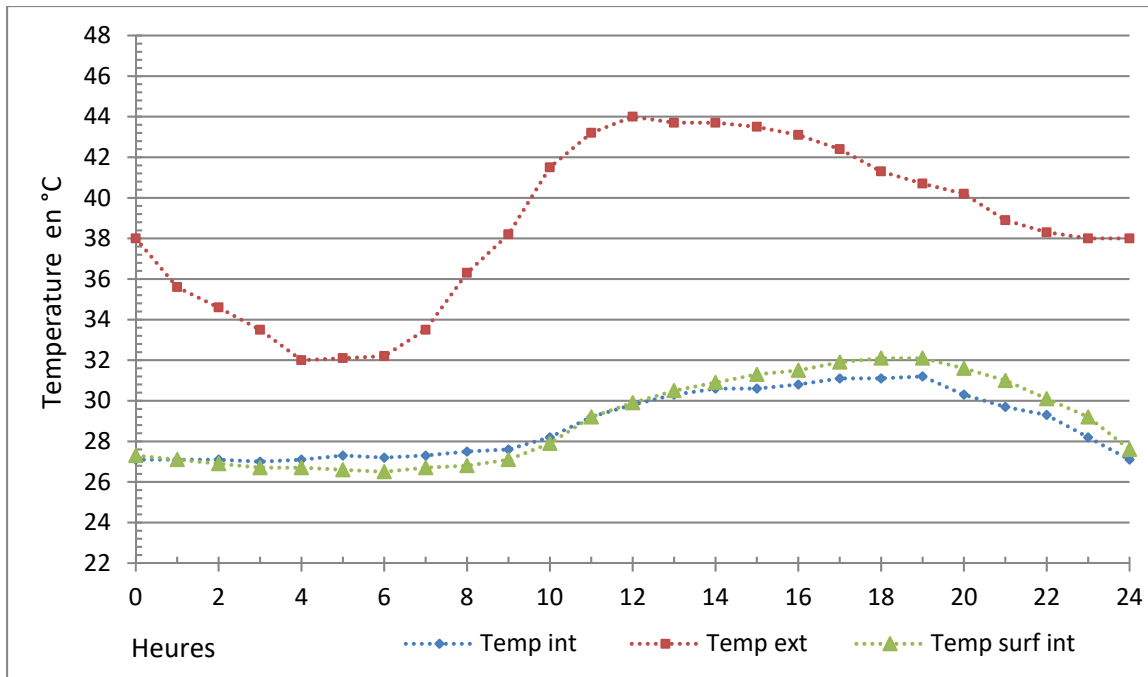


Figure 4.7 Variation de la température intérieure, surfacique intérieure et extérieure orientation Sud-Ouest

Contrairement aux orientations Nord-Est et Sud-Est, cette orientation a démontré que les fluctuations de température dans l'espace étudié sont importantes, c'est-à-dire elle participe à diminuer ou à augmenter les échanges de chaleur entre le séjour et son environnement.

Ces comparaisons, bien qu'elles ne peuvent nous permettre de connaître les causes des variations exactes constatées dans l'étude de cas, permettent de connaître les variations initiales des implantations et de l'orientation des façades des bâtiments objets de l'étude.

#### 4.8.2.4 Comparaison des températures intérieures et extérieures des différentes orientations

Le graphe de la figure 4.8 présente la comparaison des résultats des trois études de cas de figure, au niveau de la fluctuation de la température des séjours. L'orientation Nord-Est présente des températures moyennes intérieures plus basses que celles des températures moyennes intérieures du séjour orienté Sud-Est. Ainsi, tel que mentionné, le degré

d'exposition des deux façades dont la durée d'ensoleillement est différente, a pour effet de diminuer les températures des séjours étudiés.

Toutefois, la première orientation reçoit le soleil tôt le matin, de 6 heures jusqu'à 10 heures, pour une durée de 4 heures, donc, durant les moments où les températures sont encore fraîches, elle reçoit alors une quantité d'énergie égale à  $2850 \text{ W/m}^2$ . Mais la deuxième orientation reçoit le soleil d'été de 6 heures jusqu'à 14 heures avec une durée plus longue de 7h30 minutes, durée qui coïncide avec les températures de l'air plus élevées, surtout à partir de 12 heures. Elle reçoit alors une quantité d'énergie de  $2230 \text{ W/m}^2$ .

Et pour les mêmes raisons, c'est l'orientation Sud-Ouest qui présente des fluctuations de la température bien marquées sur deux intervalles de temps, dont le premier, qui s'étale de 8 heures du matin à 12 heures, présente des températures plus basses que celles des deux autres orientations précédentes. Tout comme pour la température moyenne intérieure du séjour orienté Nord-est, elle reste inférieure à la température moyenne intérieure du séjour orienté Sud-Est de  $0,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La température moyenne interne de la façade Sud-Ouest, qui reste inférieure à celle des deux autres orientations de  $1,3^{\circ}\text{C}$  durant la période matinale, s'explique par l'absence totale de radiations solaires sur cette façade. Cependant, le deuxième intervalle de l'après-midi, qui s'étale de 12 heures à 18 heures, présente des températures plus hautes, avec une température moyenne intérieure du séjour orienté Sud-ouest qui augmente de  $1,2^{\circ}\text{C}$  entre 12 heures et 18 heures par rapport aux deux autres orientations Nord-Est et Sud-Est. Ce qui nous donne une augmentation légère respective de l'ordre de  $1,03^{\circ}\text{C}$  pour l'orientation Nord-Est et de  $1,07^{\circ}\text{C}$  pour l'orientation Sud-Est. Cela est causé par le fait du degré d'exposition de la façade qui reçoit les quantités d'énergie les plus importantes de  $3230 \text{ W/m}^2$ .

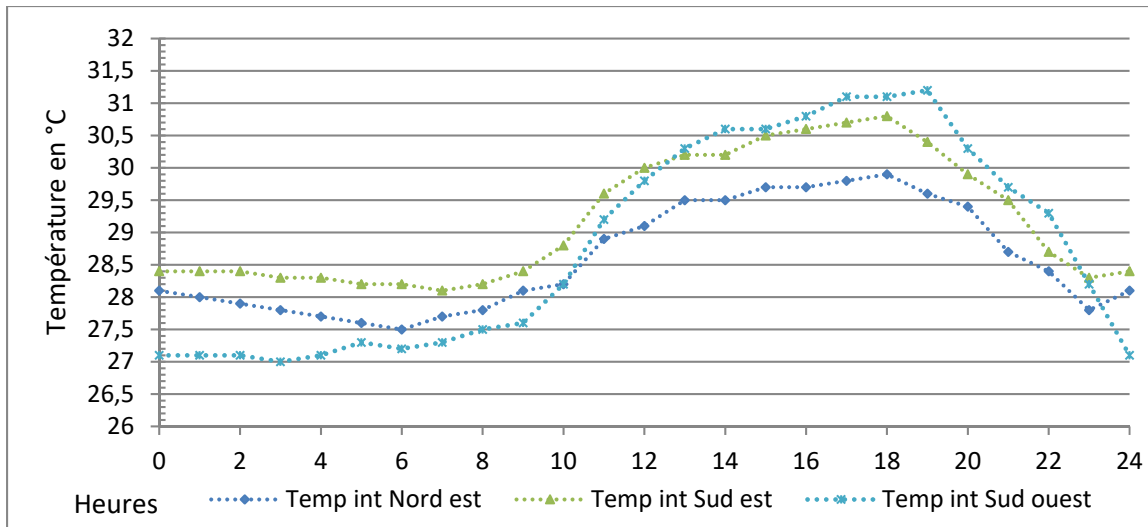


Figure 4.8 Comparaison de la variation de la température intérieure des trois orientations

#### 4.9 Évaluation de la performance thermique des séjours objet de l'étude

Les résultats obtenus de l'étude de cas de figure ont permis de constater que ce transfert de chaleur trouve son origine dans les écarts des températures. Il est obtenu chaque fois qu'une variation de la puissance incidente de la radiation solaire sur la paroi verticale et la transmission par rayonnement direct à travers la fenêtre se présentera au sein de la paroi. Le flux de chaleur représente l'entrée et la sortie de chaleur par la paroi verticale opaque ou transparente vers l'intérieur du bâtiment. La performance énergétique, qui est ce flux de chaleur, est donc directement reliée à cette paroi.

Pour l'évaluation du confort à l'intérieur, on a effectué une comparaison des températures intérieures mesurées des différentes orientations avec des limites de confort calculées de la température neutre de la ville de Biskra, ainsi que l'humidité relative.

La figure 4.9 illustre ce que peut apporter l'implantation d'un bâtiment et l'orientation de ses façades à l'usager en matière de confort :

- cas du Nord-Est : la température moyenne intérieure du séjour reste inférieure à la température moyenne extérieure. La courbe de ses valeurs se situe à l'extérieur de la zone de confort. Elle reste supérieure à la limite supérieure de confort, de 10 heures jusqu'à 23 heures, avec un écart maximal de  $1,90^{\circ}\text{C}$  à 18 heures et un écart minimal de  $0,10^{\circ}\text{C}$  à 9 heures. Mais elle reste au dessus de la limite inférieure du confort pour laquelle elle présente un écart maximal de  $6,1^{\circ}\text{C}$  à 24 heures. Et, par conséquent, elle est très proche de la limite supérieure de confort, ce qui fait de cet espace un espace confortable, surtout dans la matinée, ceci étant dû à l'absence de radiations intenses pour cette orientation.
- cas du Sud-Est : la courbe de la température moyenne intérieure du séjour reste au-dessus des limites de confort durant les 24 heures, marquant un écart maximal de  $2,8^{\circ}\text{C}$  à 18 heures et un écart minimal de  $0,80^{\circ}\text{C}$  à 10 heures, pour la limite supérieure de la zone de confort. La courbe de ces températures s'approche plus de la limite supérieure de confort de 23 heures jusqu'à 10 heures avec un écart maximum de  $0,80^{\circ}\text{C}$  à 10 heures et un écart minimum de  $0,10^{\circ}\text{C}$  à 7 heures. L'espace est donc jugé inconfortable le jour et acceptable la nuit.
- cas du Sud-Ouest : la température intérieure du séjour présente, avec la limite supérieure de confort, un écart maximal de  $3,10^{\circ}\text{C}$  à 19 heures, 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 solaires sur la façade orientée vers l'ouest, ce qui explique l'utilisation de la climatisation à ce moment. Entre minuit et 10 heures, la température se situe dans la zone de confort avec un écart maximal de  $1^{\circ}\text{C}$  à 3 heures. Cette orientation a enregistré une température maximale et minimale presque toujours supérieure aux maximums et minimums de la température ambiante,

comparée à d'autres orientations. Ainsi, de grands écarts sont mesurés entre la température maximale et minimale du séjour pour une journée donnée.

Nous pouvons dire que le séjour orienté Nord-Est reste le plus confortable pendant cette période d'été. Et que l'orientation Sud-Ouest reste la plus inconfortable et à éviter durant cette période.

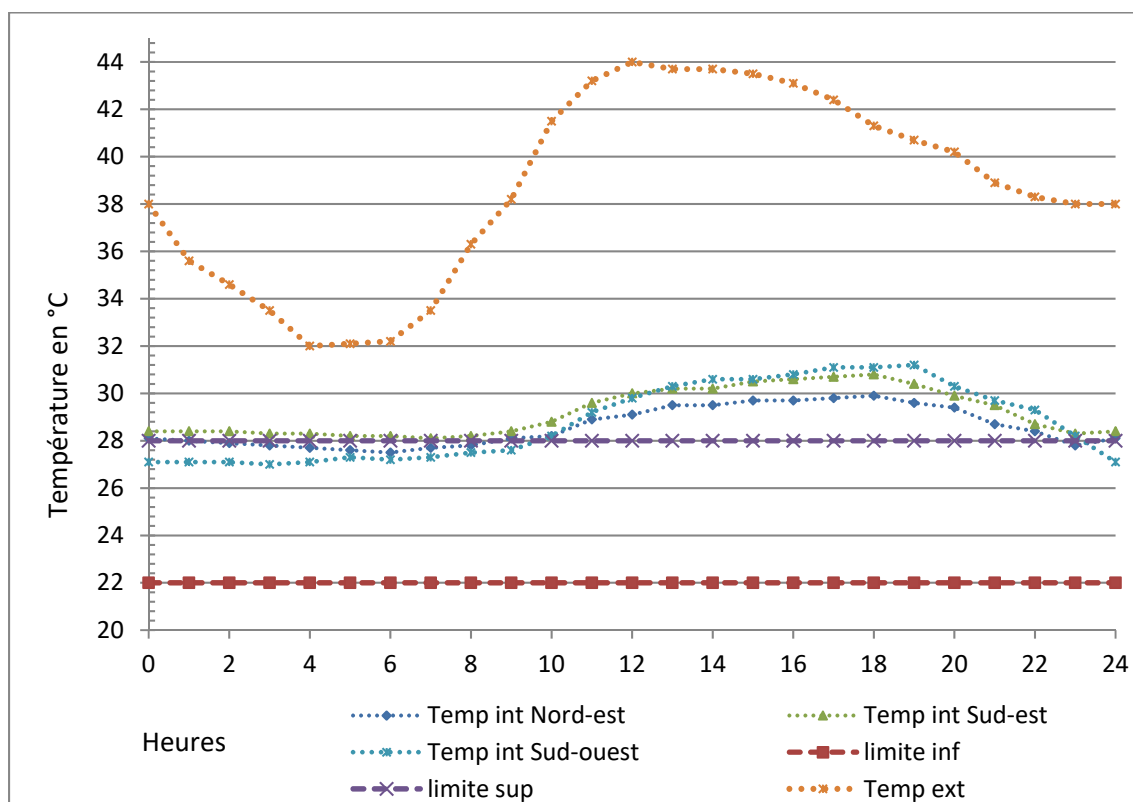


Figure 4.9 Comparaison des températures intérieures et extérieures des trois orientations avec les limites de confort

#### 4.10 Synthèse

De ce chapitre, il ressort que l'impact de l'implantation d'un bâtiment et l'orientation de ses façades est perceptible dans la création du confort hygrothermique intérieur, dépendant beaucoup du degré d'exposition de la façade (étant donné que cette dernière échange la



chaleur accumulée avec l'ambiance intérieure) au rayonnement solaire direct, qui influe directement sur l'élévation de la température intérieure.

En ce qui concerne la température ambiante intérieure, des fluctuations quotidiennes maximales mesurées ont été enregistrées pour l'orientation sud-ouest. Ces fluctuations de température sont subies par le fait que la façade est directement exposée à la radiation solaire et, sur une durée de six heures au long de la journée, cette dernière accumule de l'énergie, ce qui fait augmenter sa température, induisant des stress à l'intérieur du séjour.

Ainsi, nous pouvons dire que la température intérieure ambiante est donc largement influencée par la puissance de la radiation solaire tombant sur la paroi verticale et la température extérieure. Tout cela dépend étroitement de l'effet de l'orientation de la façade. Et que la performance énergétique (quantité de chaleur traversant la paroi) est donc directement reliée à cet élément.

De ce fait, l'orientation Nord-Est et Sud-Est restent les plus confortables durant la période estivale par rapport à celle de Sud-Ouest. Cette dernière est à éviter durant la période estivale parce qu'elle génère d'importantes surchauffes en été par la quantité des radiations solaires directes transmises à travers l'ouverture et la paroi.

Dans le but de valider les résultats et afin de déterminer l'orientation la plus favorable durant les deux périodes estivale et hivernale, on procède, dans le chapitre suivant, à une simulation à l'aide du programme informatique (ECOTECT TM), afin d'évaluer la performance thermique des séjours étudiés, ainsi que la possibilité d'améliorer leur performance suivant les différents angles d'orientation et les dispositions architecturales.



## **CHAPITRE 5**

### **SIMULATION**

#### **5.1 Introduction**

Avant de passer aux applications proprement dites, il est utile de présenter l'ensemble logiciel, car cela permet de valider les options fondamentales, d'exploiter et d'optimiser les choix des solutions bioclimatiques adaptées et de synthétiser le travail exposé dans les chapitres précédents. Ce chapitre expose ensuite les applications. Viennent par la suite la présentation des résultats concernant la recherche de l'impact des différents paramètres sur le confort hygrothermique, tels que la variation de l'implantation du bâtiment et l'orientation de ses façades par rapport au soleil et au vent, la couleur et la nature des parois exposées et l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia.

#### **5.2 Présentation de l'ensemble logiciel**

Autodesk® Ecotect™ Analysis est un outil complet de conception, depuis la phase d'avant-projet jusqu'à celle de détail, offre un large éventail de fonctionnalités de simulation et d'analyse de l'énergie des bâtiments qui peut améliorer les performances des bâtiments et des nouveaux projets de bâtiments. Les calculs s'effectuent tout d'abord par simulation thermique du bâtiment. Ce dernier est modélisé en différentes zones thermiques. Une analyse modale est appliquée à chacune des zones, puis les zones sont couplées. Cette méthode permet de réduire le temps de calcul lors de la simulation. La simulation du bâtiment se fait avec un pas de temps pouvant aller de 1 heure à 15 minutes. Les calculs de notre modèle se font sur une base annuelle, mensuelle, quotidienne et horaire, en utilisant une base de données d'informations météorologiques de la ville objet de l'étude et donnent les profils de températures de chaque zone de bâtiment, ainsi que les besoins de chauffages et de climatisation.

Les données sont ensuite écrites sur un fichier-texte en utilisant le format Microsoft Excel Sheet. Ce fichier-texte sera ensuite exploité pour visualiser et simuler les performances du bâtiment dans son environnement.

La simulation d'analyse s'effectue selon certaines hypothèses, qui, pour les applications présentées ci-dessous, sont les suivantes :

- le transfert de chaleur par conduction à travers l'enveloppe et les effets de stockages calorifiques dans la masse du bâtiment;
- les gains dûs 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.

### **5.3 Découpage du logement objet de l'étude en zones thermiques**

Pour simplifier, on peut considérer les zones suivantes : 0 : Extérieur; 1 : Chambre 1; 2 : Séjour; 3 : Chambre 2; 4 : Cuisine; 5 : Chambre 3; 6 : WC; 7 : SDB; 8 : Couloir et 9 : Espace commun.

La cloison entre les deux zones peut être modélisée avec 20 cm de béton, ainsi que les planchers intermédiaires. On peut négliger pour simplifier les espaces non-chauffés.

### **5.4 Simulation thermique**

Les caractéristiques des matériaux et de l'enveloppe du bâtiment sont saisies par l'utilisateur ou depuis une bibliothèque préexistante, suivi de l'introduction du fichier Weather Data de la

ville de Biskra, ainsi que des différents scénarios de la pratique de l'espace. Une analyse de comportement thermique est effectuée à l'aide du logiciel Ecotect TM. Cette dernière analyse a été effectuée sans système de climatisation et de chauffage. Et, selon l'objectif de la recherche, on s'est limité à :

- l'évaluation de la température de l'ambiance intérieure de la zone d'études;
- l'impact de l'orientation du bâtiment sur la température de l'ambiance intérieure;
- les quantités de radiations solaires absorbées suivant de multiples orientations pour la période estivale;
- les quantités de radiations solaires absorbées suivant de multiples orientations pour la période hivernale;
- l'évaluation des besoins de climatisation pour la période estivale;
- l'évaluation des besoins de chauffage pour la période hivernale.

En conclusion, dans le but de chercher l'orientation optimale, une évaluation de différentes orientations a été effectuée en pivotant l'axe de l'orientation suivant un angle de  $15^\circ$  à partir du Nord. Et afin de répondre à l'objectif principal de cette recherche, on assume que toute chaleur qui entre ou sort du séjour doit être compensé par la même quantité d'énergie de climatisation et de chauffage. On obtient la quantité d'énergie nécessaire des différentes orientations par le besoin en climatisation et en chauffage pour garder la température stable à l'intérieur du séjour, ainsi que pour la zone de confort.

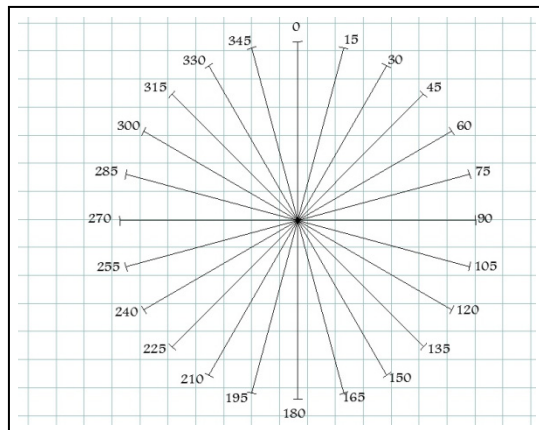


Figure 5.1 Les angles des différentes orientations simulées

## 5.5 Comparaison entre températures mesurées et calculées par Ecotect TM

### 5.5.1 Période estivale

#### 5.5.1.1 Séjour orienté Nord-Est "60°"

Les résultats de simulation font apparaître une correspondance entre les courbes des températures mesurées et celles simulées. Les courbes de la figure 5.2 sont des exemples de comparaison de l'élévation de la performance thermique en fonction des heures de la journée en ce qui concerne les résultats des températures intérieures obtenues par simulation par rapport à celles mesurées. Cette dernière illustre les résultats suivants :

- la courbe des températures intérieures simulées suit celle des températures extérieures. Cependant, même la température nocturne est inférieure à celle de l'extérieur. Cet écart est égal à 10,20°C;
- la figure 5.2 permet de constater un léger écart entre les températures intérieures simulées et celles mesurées, pendant la nuit. Mais les deux courbes s'atténuent progressivement et les températures finissent par s'égaliser. Cela peut s'expliquer 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;

- il est intéressant de noter que d'après la figure 5.2, il a été relevé pour les courbes de température intérieure calculée et celles de température extérieure, que la température intérieure la plus élevée est enregistrée à 15 heures et est de 30,50°C, alors que la température extérieure atteint 44°C à 14 heures, soit un décalage de 1 heure de temps.

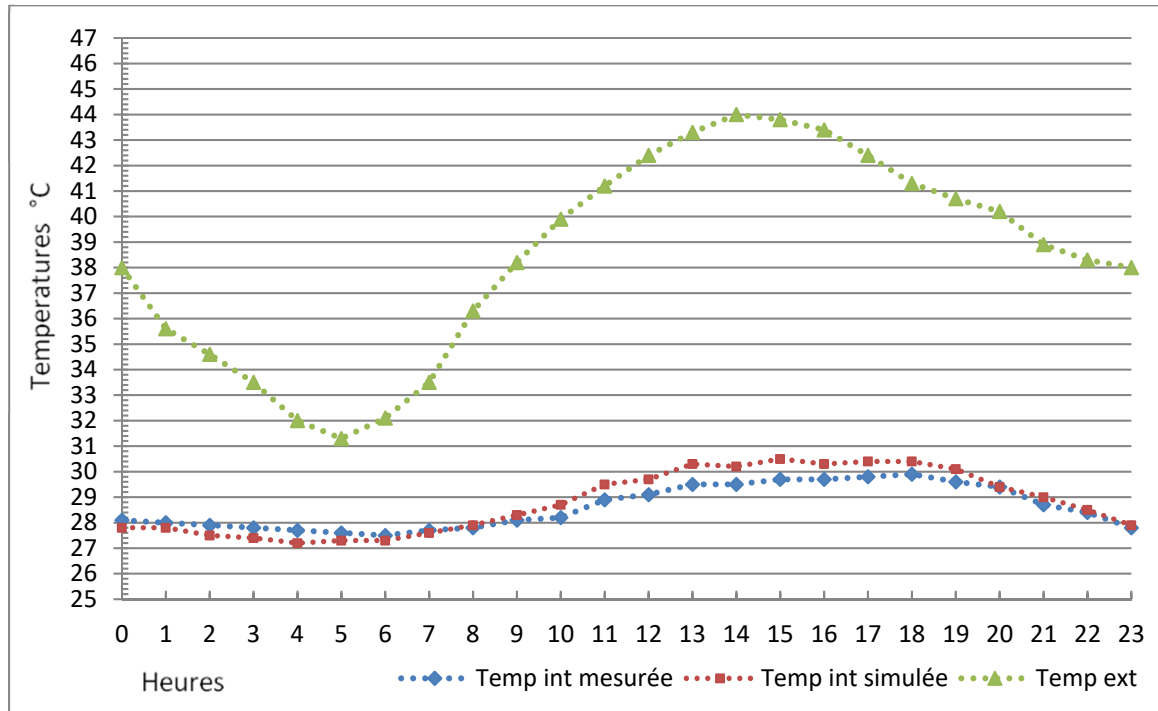


Figure 5.2 Comparaison des températures mesurées et simulées pour l'orientation Nord-Est

### 5.5.1.2 Séjour orienté Sud-Est''150°''

En simulant le bâtiment dans telle configuration, on peut s'attendre à ce que soit amplifié ce qui a été observé. Selon l'analyse des courbes des températures intérieures obtenues par simulation, il a été relevé une élévation de la performance thermique en fonction des heures de la journée du cas mesuré. Le graphe 5.3 nous a permis de constater que l'écart de températures intérieures obtenues par mesure est moins élevé que celui des températures obtenues par simulation, pendant la nuit. Ce phénomène peut être justifié par l'intervention de l'utilisateur par le biais de la ventilation et le refroidissement de l'espace.

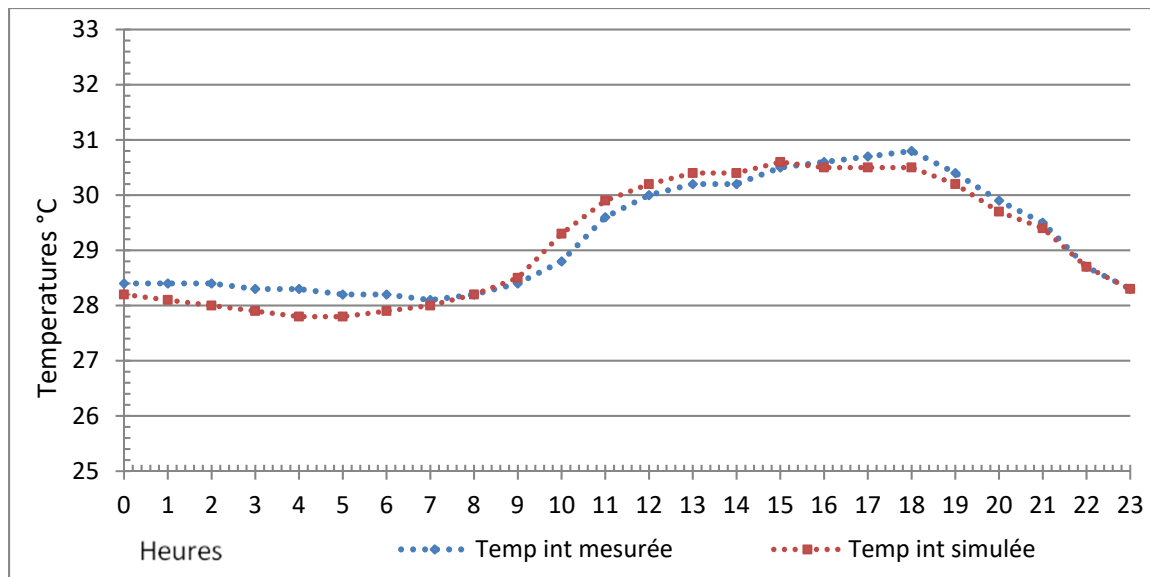


Figure 5.3 Comparaison des températures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-Est

### 5.5.1.3 Séjour orienté Sud-Ouest "240°"

Pour la simulation du cas de figure, et suivant la figure 5.4, il a été constaté une élévation dans les températures intérieures simulées par rapport à celles mesurées de minuit jusqu'à 10 heures. Ce phénomène peut être expliqué par l'intervention de l'utilisateur par le biais de la ventilation et le refroidissement, par la création de la ventilation transversale par l'ouverture des portes et fenêtres des deux côtés de façades, et aussi par les différents scénarios des orientations précédentes.



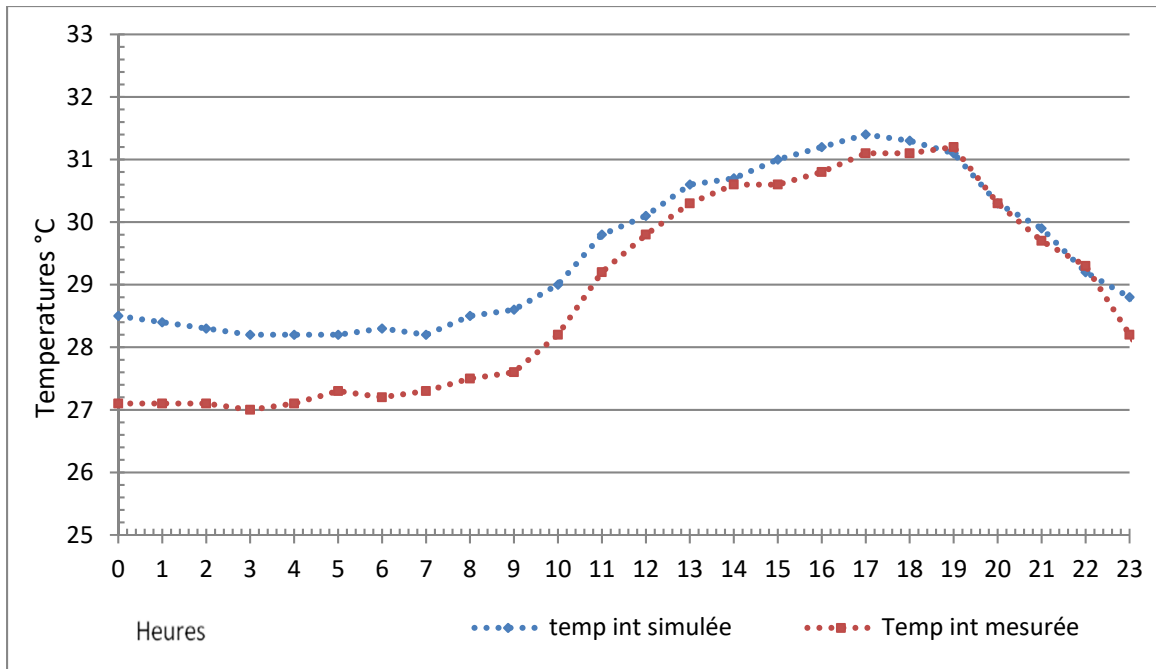


Figure 5.4 Comparaison des températures mesurées et simulées pour l'orientation Sud-Ouest

En conclusion, nous pouvons dire que la comparaison des courbes de températures simulées et mesurées n'indique pas une grande différence entre les valeurs. Comme c'est indiqué dans les figures 5.2, 5.3 et 5.4, l'écart ne dépasse pas 1.4°C pour toutes les orientations. Cet écart peut être expliqué par l'intervention de l'utilisateur dans l'ouverture de la fenêtre pour la ventilation du bâtiment qui a subi des déperditions plus importantes. Ce qui permet de valider l'interprétation des mesures sur site.

Vus les rapprochements des courbes des températures simulées et mesurées, on pourra conclure que les résultats des prédictions du programme de calcul par Ecotect TM sont fiables et validés par les mesures. Il est aussi intéressant de noter que l'ensemble des températures simulées et mesurées sont supérieures à la température de la zone de confort de la ville de Biskra et, par conséquent, le confort thermique n'est pas assuré.

Dans cette configuration, pour améliorer le confort thermique du séjour objet de l'étude, dans un premiers temps, plusieurs tentatives de variations de la paroi extérieure concernant l'orientation seront effectuées. De plus, le calcul des besoins en chauffage et en climatisation

suivant les angles d'orientations sera effectué. Par la suite, une série de variations seront mentionnées, telles que l'orientation, l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia, la couleur et la nature des parois exposées et ce, pour connaître l'incidence du choix de tels dispositifs architecturaux.

Cette méthode permet de prendre en compte les caractéristiques du site, l'implantation du bâtiment et son orientation par rapport au soleil et au vent, les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment et l'architecture intérieure du bâtiment.

#### **5.5.1.4 Comparaison des trois orientations**

Les résultats de la simulation sont illustrés par les diagrammes des figures 5.5 et 5.6. Les courbes des différentes orientations relatives aux quantités d'énergie absorbées par les parois, se rapprochent la nuit, en été, de 22 heures à 5 heures du matin et en hiver, de 17 heures à 7 heures du matin; cela est dû à l'absence des apports solaires. Et, pendant le jour, on constate la relation qui relie la quantité d'énergie absorbée ou reçue par la paroi à l'augmentation ou à la diminution de la température intérieure suivant l'orientation.

Il est à noter que les plus grandes températures sont enregistrées en été, surtout pour l'orientation Sud-Ouest qui absorbe des quantités de chaleur l'après midi et qui participe à cette augmentation après restitution vers l'intérieur. Contrairement à la paroi Sud-Est, qui absorbe une quantité de chaleur moins importante, ce qui s'explique par le fait que le soleil, à ce moment, est haut dans le ciel. En hiver, la paroi Sud-Est reçoit des quantités d'énergie plus importantes que les deux autres orientations.

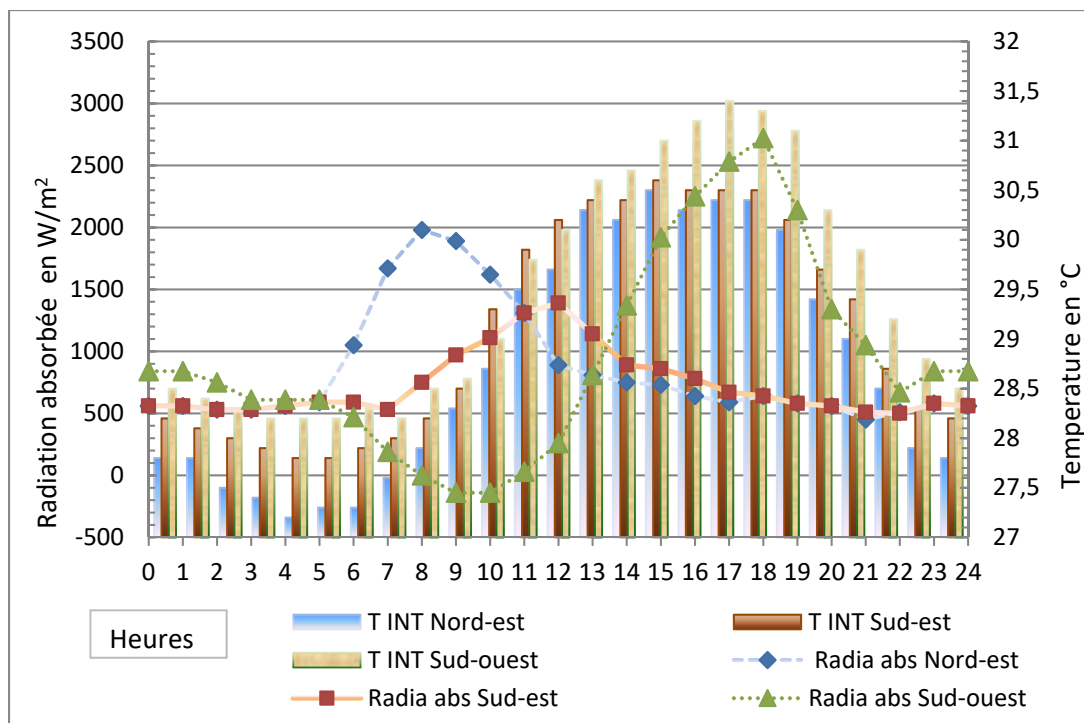


Figure 5.5 Comparaison des températures internes des trois orientations et quantité d'énergie absorbée pendant la période estivale

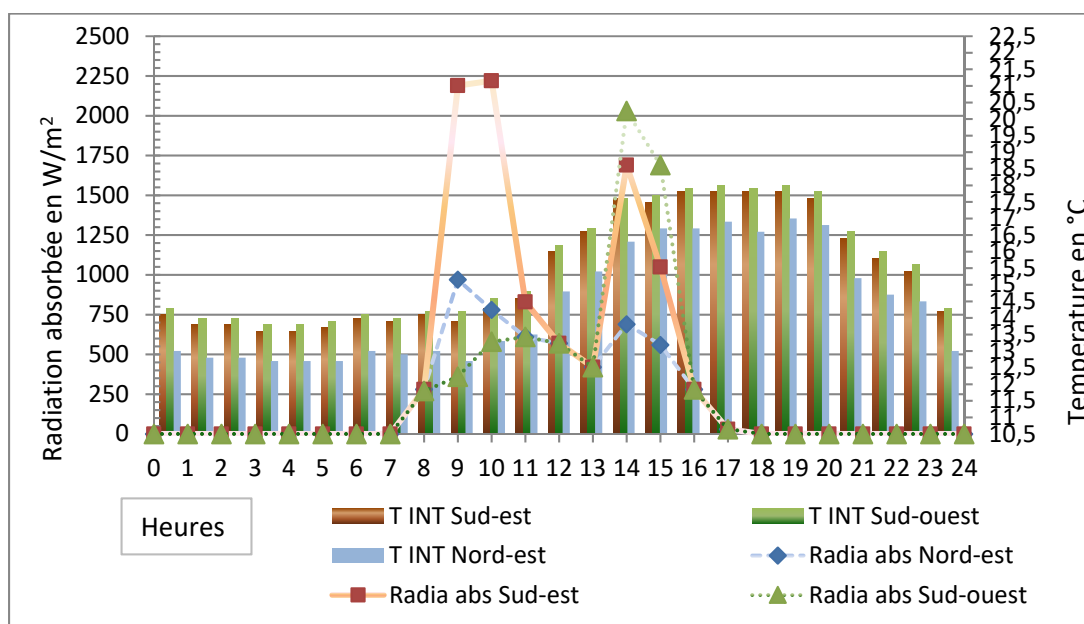


Figure 5.6 Comparaison des températures internes des trois orientations et quantité d'énergie absorbée pendant la période hivernale

### 5.5.2 Effet de l'orientation

Dans cette simulation, nous avons testé l'effet de l'orientation de la façade principale du séjour sous différentes orientations. L'analyse des résultats, présentés dans la figure 5.7, illustre l'effet de l'orientation de la paroi extérieure sur les ambiances intérieures durant la période estivale. D'après les diagrammes, l'influence de la prise en compte du changement d'orientation, qui est surtout perceptible dans le cas des orientations semi-cardinales Sud-Est, Nord-Est et Sud-Ouest, est plus importante. Par exemple, alors que l'orientation Nord a permis un abaissement de la température de  $0,5^{\circ}\text{C}$  par rapport à l'orientation Sud, l'écart entre la mauvaise orientation et la meilleure est de  $2^{\circ}\text{C}$ .

D'autre part, les orientations Nord et Sud pour la période d'été sont considérées, a priori, les plus favorables, contrairement à l'orientation Ouest et Est qui sont à éviter, vues les hausses des températures enregistrées durant vingt quatre-heures.

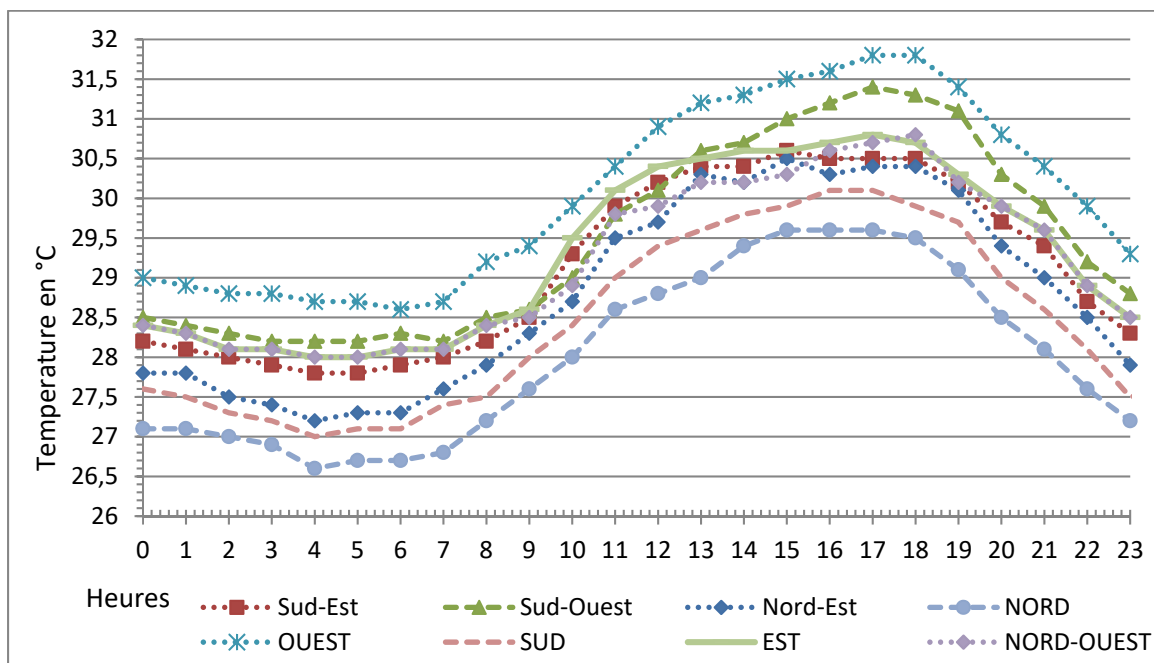


Figure 5.7 Comparaison des températures intérieures simulées des différentes orientations pour la période d'été

La figure 5.8 permet de constater durant la période d'hiver, l'impact de l'orientation qui reste perceptible surtout pour les orientations semi-cardinales. L'orientation Sud Est considérée, a priori, la plus favorable et enregistre les températures les plus élevées. Cela s'explique par le fait que de fortes quantités d'énergie sont absorbées par la paroi et la fenêtre. Quant aux autres orientations Sud-Est et Sud-Ouest, elles sont moins favorables que l'orientation Sud, les températures étant inférieures à celles du Sud à cause de la course du soleil. Donc, elles sont moins exposées. Cependant, les orientations Nord, Nord-Est et Nord-Ouest sont à éviter durant cette période vue les basses températures qui influent sur le degré de confort intérieur.

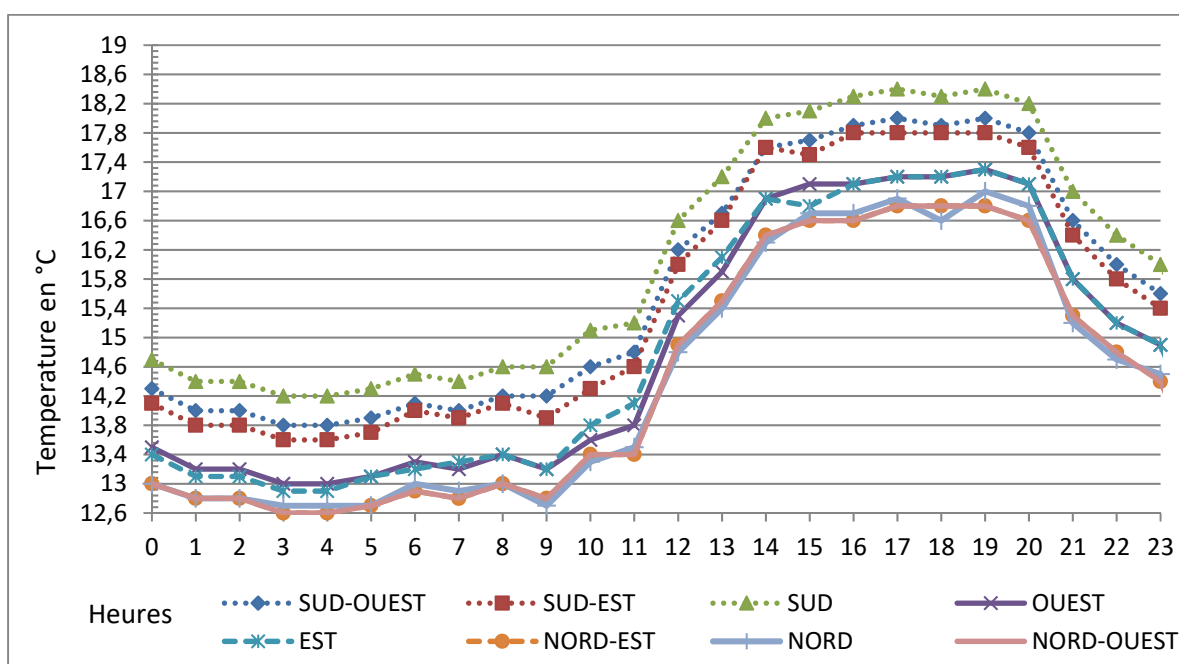


Figure 5.8 Comparaison des températures intérieures simulées des différentes orientations pendant la période d'hiver

En conclusion, nous pouvons dire que les résultats de la simulation, représentés graphiquement, illustrent qu'il est possible de connaître l'influence de l'orientation et traduisent l'amélioration sensible des conditions de confort obtenu, à savoir la diminution des températures aux heures chaudes, ce qui apparaît nettement sur les courbes des graphes 6.7 et 6.8.

### 5.5.3 L'orientation optimale

Il a été démontré par l'étude théorique que l'orientation la plus favorable pour la ville de Biskra est celle où les bâtiments seraient exposés suivant l'axe Nord- Sud. Cependant, à l'aide du logiciel, on a pu faire pivoter le cas d'étude sur un angle de 15° (Figure 5.1) à partir du Nord pour arriver, enfin, à rechercher l'orientation optimale, en tenant compte de l'apport solaire important pour l'hiver et pour minimiser les gains énergétiques en été.

La figure 5.9 permet de constater les radiations solaires absorbées par une paroi pour différentes orientations, où les orientations du 165° Est au 195° Ouest bénéficient des apports énergétiques les moins importants en été après le plein Nord. Contrairement aux orientations Est et Ouest, qui elle présentent les apports solaires les plus importants.

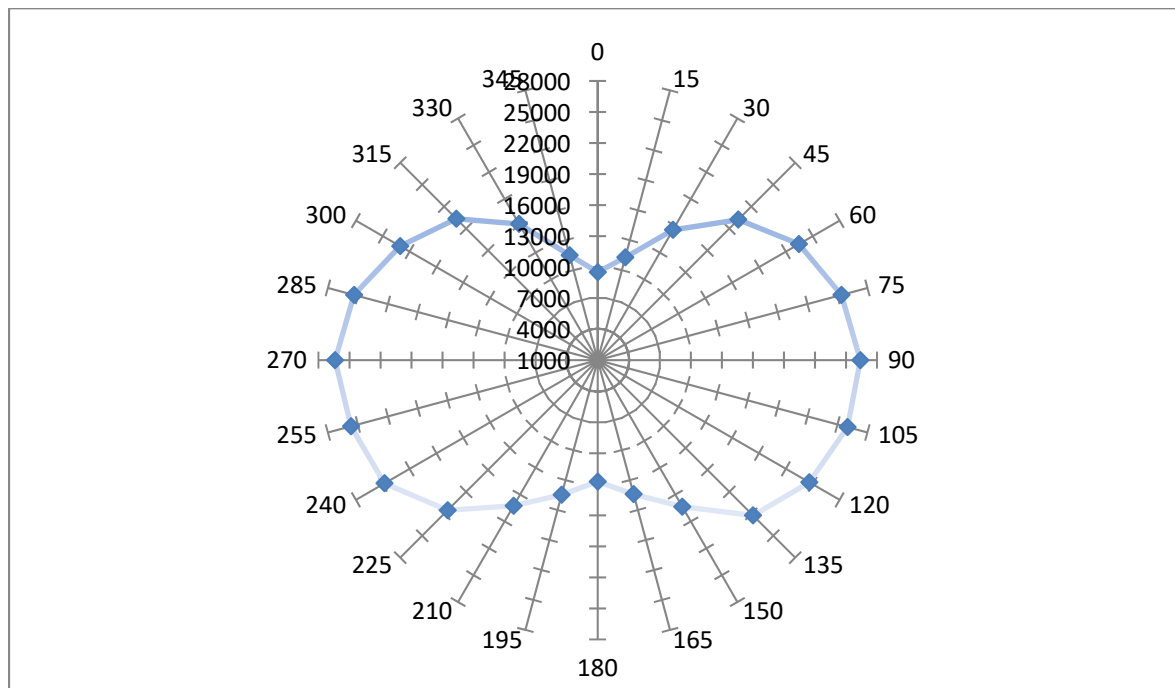


Figure 5.9 Total des radiations solaires absorbées en W/m<sup>2</sup> suivant l'orientation par le mur extérieur pendant la période estivale

La figure 5.10 illustre les radiations solaires pour des journées moyennement éclairées (ciel à dégagement moyen) absorbées par la paroi pour différentes orientations, où les orientations du 150° Est au 195° Ouest bénéficient des apports énergétiques les plus importants.

De ce fait, l'orientation optimale est celle qui s'adapte au climat local. Elle permet de profiter des apports solaires, au mieux, de réduire les besoins en chauffage et en climatisation. C'est faire le compromis entre les deux situations.

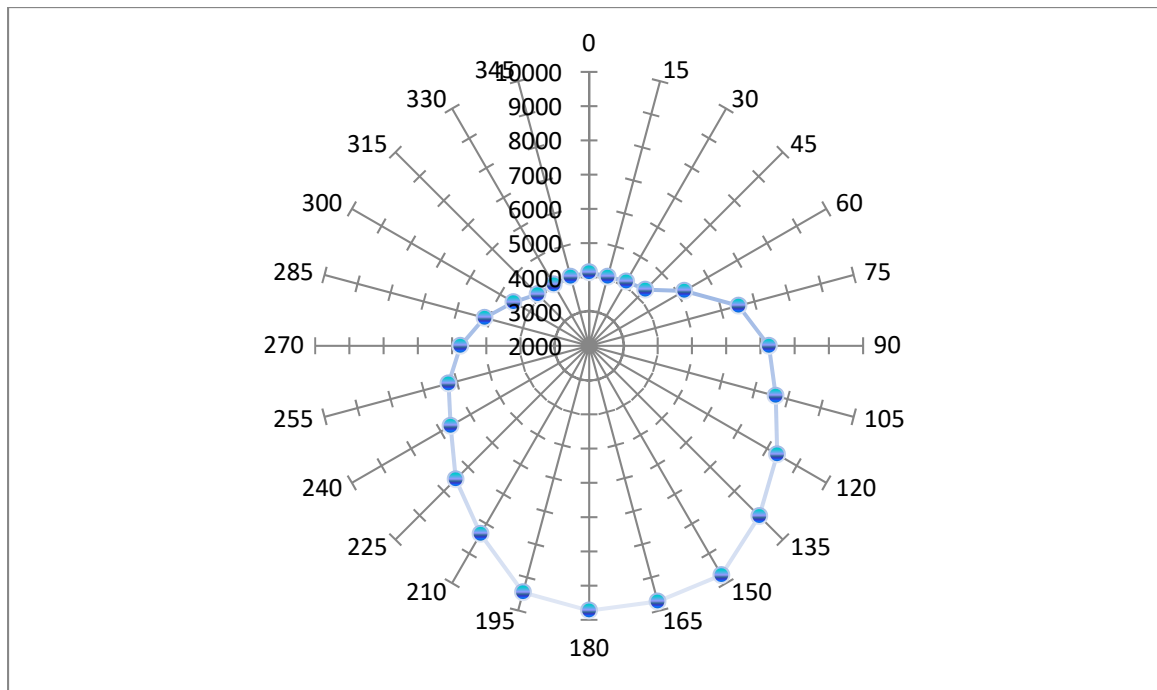


Figure 5.10 Total des radiations solaires absorbées en  $\text{W/m}^2$  suivant l'orientation par le mur extérieur pendant la période hivernale

Et pour aller plus loin dans notre simulation et répondre à l'objectif principal de cette recherche, on assume que la température à l'intérieur du séjour doit être gardée constante et à l'intérieur de la zone de confort et ce, pour assurer le confort des usagers. Toute chaleur qui entre ou sort du séjour doit être compensée par la même quantité d'énergie de climatisation et de chauffage. On obtient la quantité d'énergie nécessaire, qui est le besoin en climatisation et en chauffage pour garder cette dernière température stable à l'intérieur du séjour. Tout en

comparant, par exemple, ces besoins de climatisation et ceux de chauffage entre les différentes orientations des cas de figure.

## **5.6 Besoins en énergie pour la climatisation suivant l'orientation**

La période estivale est caractérisée par les plus hautes températures et l'ensoleillement maximal. Contrairement à la période hivernale qui elle, est caractérisée par des températures légèrement plus basses et des heures d'ensoleillement plus courtes.

La figure 5.11 illustre que les besoins énergétiques pour la climatisation sont 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, contrairement aux orientations Sud, Nord, ainsi que les orientations du 165° Est au 195° Ouest, qui présentent une consommation très réduite par rapport à d'autres orientations. La consommation énergétique pour la climatisation est appréciable, surtout pour les orientations Ouest, pour la quelle elle est plus élevée que pour celle de l'Est, ce qui explique, par les mêmes raisons, la coïncidence des taux de radiations solaires absorbées avec les hautes températures. Ce qui fait que les orientations Ouest sont à éviter durant la période d'été.



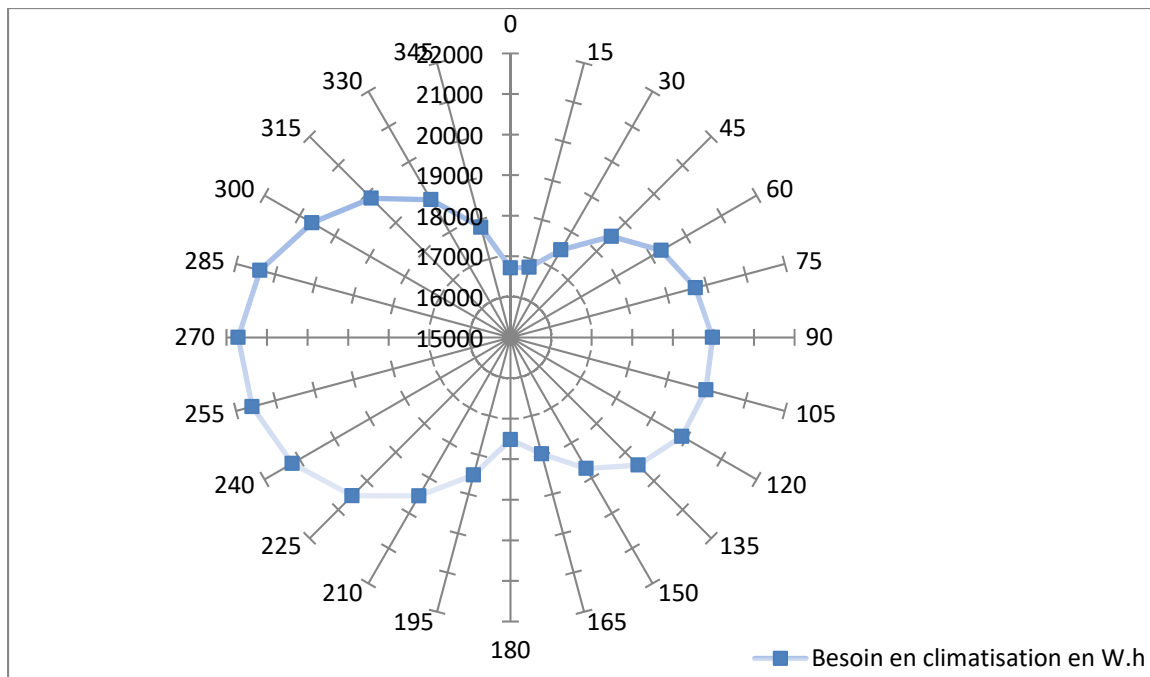


Figure 5.11 Besoin en climatisation suivant l'orientation pour une journée en période estivale

## 5.7 Besoins en énergie pour le chauffage suivant l'orientation

La figure 5.12 illustre que les besoins énergétiques pour le chauffage sont 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, contrairement à l'orientation sud et les orientations du 150° Est au 195° 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 consomme peu d'énergie et se concrétise par l'orientation Sud.

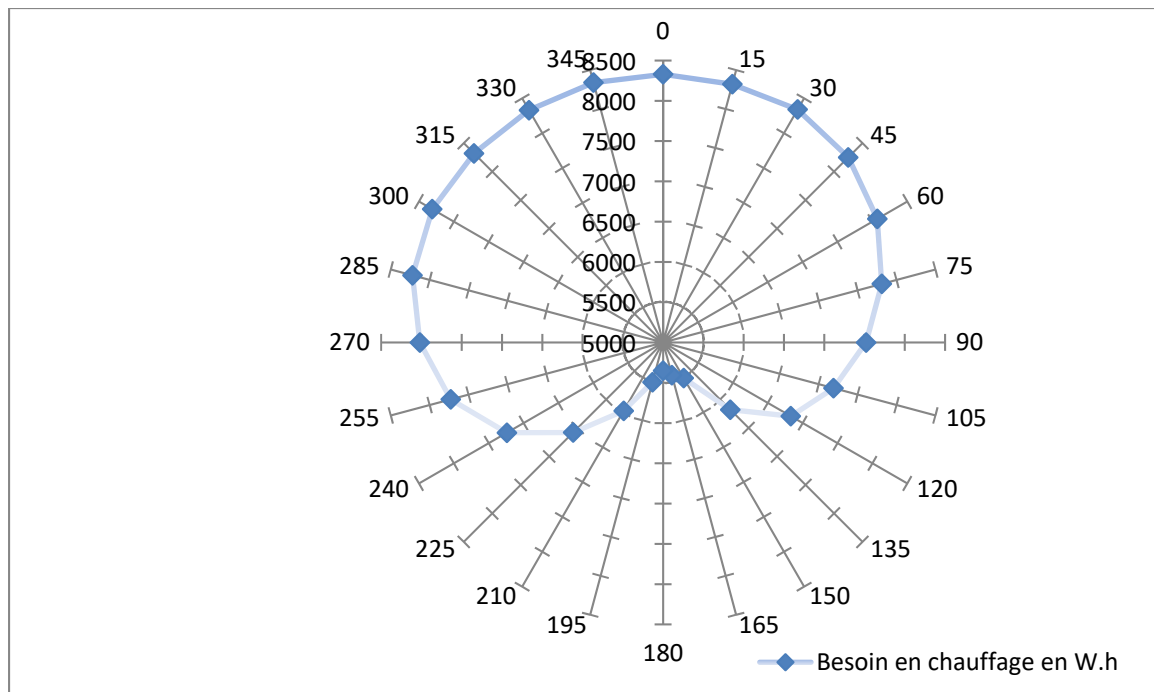


Figure 5.12 Besoin en chauffage suivant l'orientation pour une journée en période hivernale

En conclusion, nous pouvons dire que les résultats de la simulation, représentés graphiquement, permettent de constater que les besoins de chauffage et de climatisation sont fonction de l'orientation et que l'orientation Sud représente le dixième de la consommation pour le chauffage par rapport à l'orientation Nord et le huitième par rapport à l'orientation Ouest. De même, l'ambiance intérieure du séjour objet de l'étude dépend étroitement de l'effet de cette orientation, car ces besoins jouent un rôle prépondérant dans la création du confort à l'intérieur, été comme hiver.

Les figures 5.11 et 5.12 présentent la consommation d'énergie moyenne de climatisation et de chauffage nécessaire pour garder la température constante à l'intérieur du séjour pour une journée.

## 5.8 Effet de la couleur

Les différentes simulations effectuées durant la période d'été sur trois orientations, Est, Sud et Ouest en changeant le coefficient d'absorption :

R : 1 relatif à la couleur sombre;

R : 0.549 relatif à la couleur moyenne ;

R : 0 relatif à la couleur claire;

ont permis de conclure, comme les graphes 5.13, 5.14 et 5.15 ont montré, que les couleurs claires réduisent les températures intérieures. Par exemple, pour l'orientation Est, la température peut atteindre une valeur maximale de 31,4°C pour une couleur sombre à 17 heures, alors que pour une couleur moyenne, la température intérieure atteint la valeur de 30,8°C, soit un écart de 0,6°C, et, pour une couleur claire, elle n'atteint que 30,2°C, soit un écart de 1,2°C.

Pour l'orientation Ouest, l'écart entre la couleur sombre et la couleur claire est de l'ordre de 2°C, ce qui est assez appréciable. Au contraire, pour l'orientation Sud, l'écart n'est pas assez important entre une couleur sombre, moyenne et claire. Elle n'excède pas 0,3°C entre la couleur sombre et claire et est de 0,15 °C entre les deux couleurs moyenne et claire.

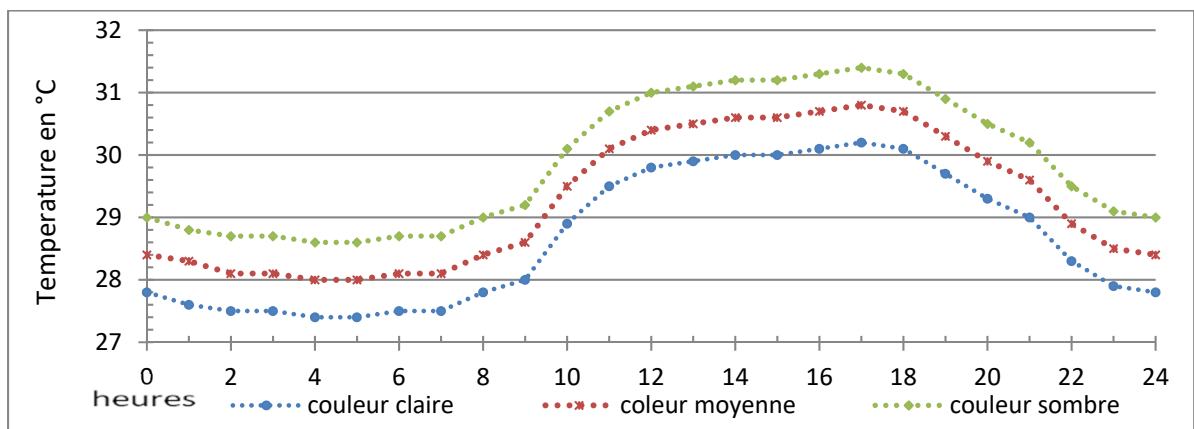


Figure 5.13 Effet de la couleur sur la température intérieure orientation Est

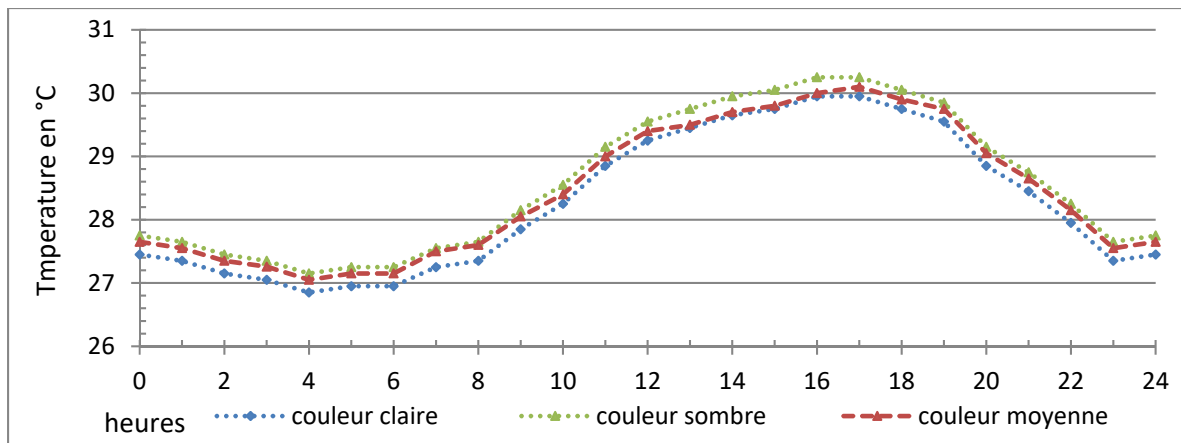


Figure 5.14 Effet de la couleur sur la température intérieure orientation Sud

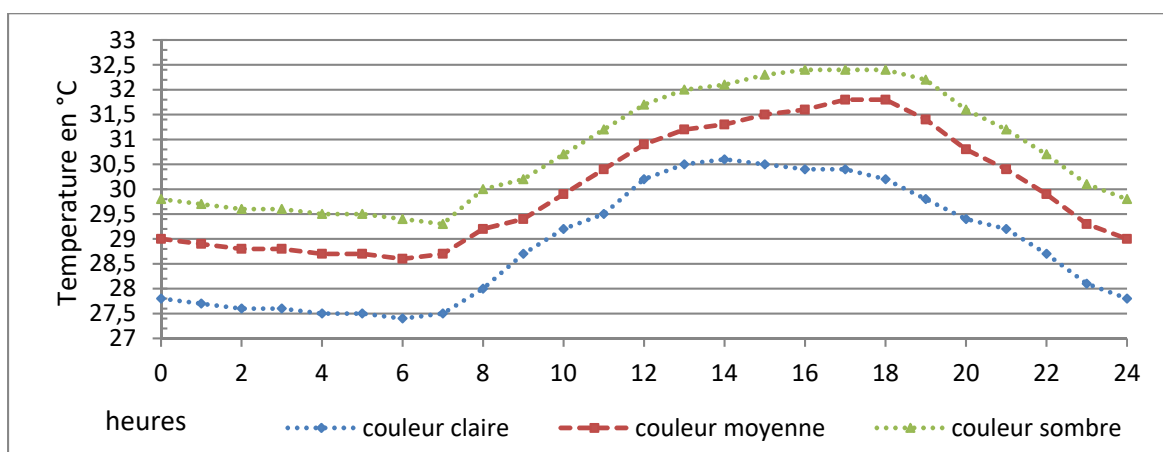


Figure 5.15 Effet de la couleur sur la température intérieure orientation Ouest

En conclusion, nous pouvons dire que les couleurs externes claires contribuent à diminuer les températures intérieures et que l'effet de ces dernières sur la température intérieure est le plus perceptible pour les orientations qui bénéficient d'un apport solaire le plus important, comme la consommation énergétique du séjour.

### 5.9 Effet de l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia

D'après la figure 5.16 et avec cette géométrie, les performances de protections solaires en été et de valorisation des apports solaires en hiver sont voisines de celles obtenues avec les casquettes.

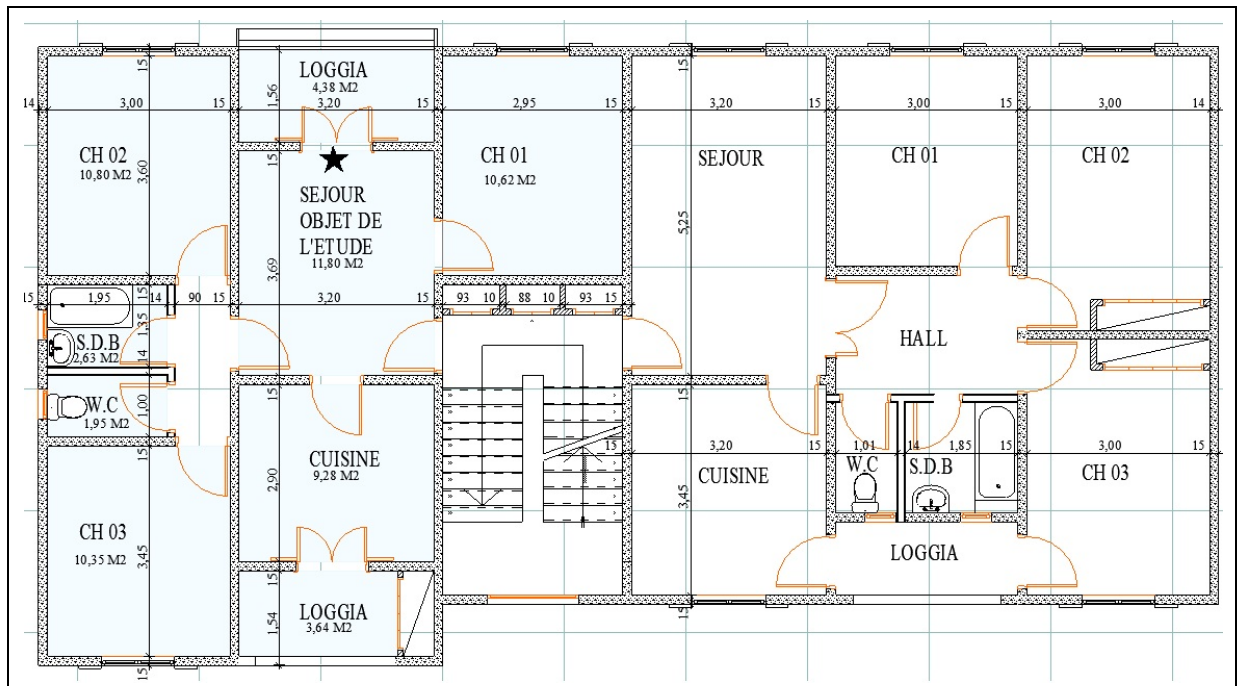


Figure 5.16 Protection solaire pour le séjour objet de l'étude par l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia

La simulation des deux types de séjours étudiés a permis de comparer l'effet de l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia sur la diminution des températures internes. Par exemple, la figure 5.17 illustre que pour un séjour orienté au Sud dont la loggia n'est pas intégrée, la température maximale peut atteindre à 30,1°C à 16 heures et 17 heures sous l'effet des gains de chaleur qui proviennent principalement de la radiation solaire absorbée par la paroi et la fenêtre. Avec l'intégration du dispositif d'ombrage tel que la loggia (figure 5.17), l'abaissement de la température est très net et atteint 28,20°C. Cet effet est perceptible surtout entre 10 heures et 19 heures. Cela peut s'expliquer par la différence des températures enregistrées dans les deux cas simulés et l'écart qui est de l'ordre de 1,9°C à ces heures-là.

Au-delà de 19 heures et jusqu'à 24 heures, l'écart est de  $1.3^{\circ}\text{C}$ , ce qui peut être causé par l'absence du rayonnement solaire direct, mais la présence des rayonnements diffus.

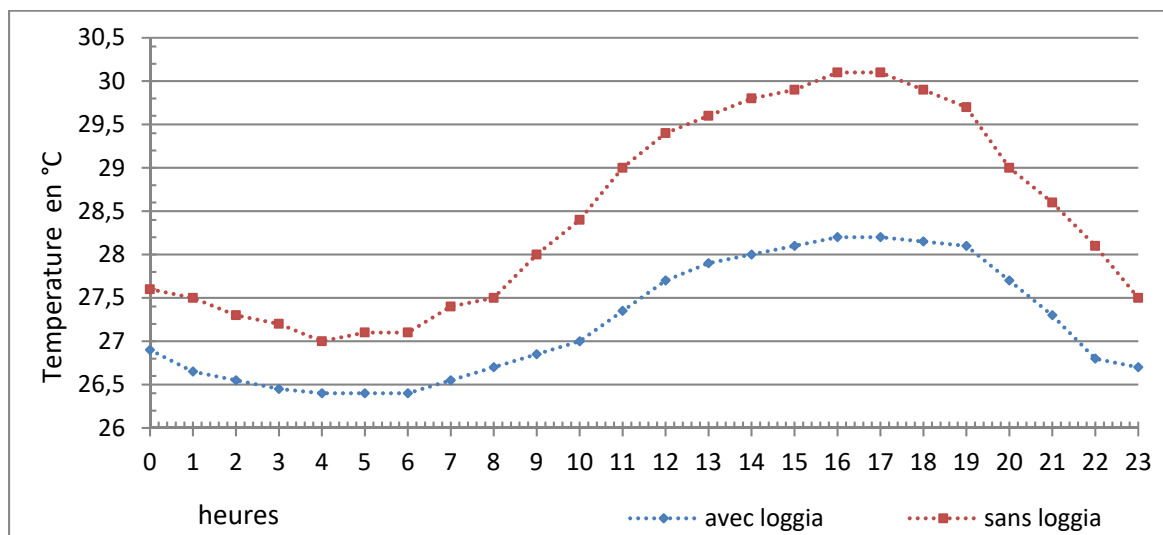


Figure 5.17 Effet d'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia sur la température intérieure orientation Sud

Les figures 5.17, 5.18, 5.19 et 5.20 présentent les résultats en termes de température moyenne simulée au niveau des deux types de séjours étudiés. Ainsi, cette diminution est plus appréciable pour l'orientation Sud et celle du Sud-Est, avec un écart de  $1,1^{\circ}\text{C}$ , mais elle sera moins perceptible pour les orientations Est et Ouest, où l'abaissement est de l'ordre de  $0,8^{\circ}\text{C}$ .

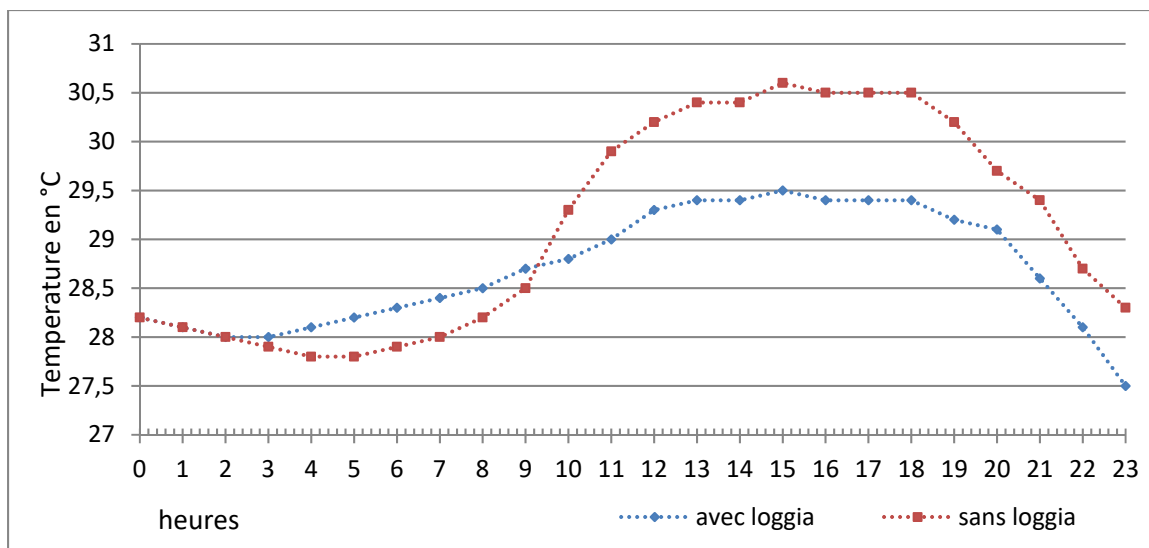


Figure 5.18 Effet d'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia sur la température intérieure orientation Sud-Est

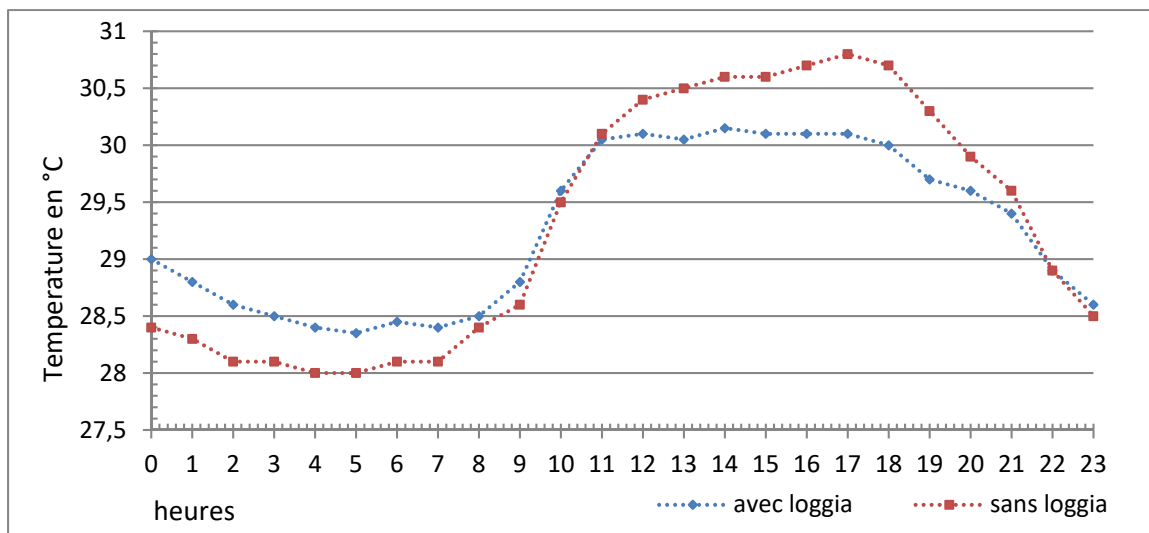


Figure 5.19 Effet d'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia sur la température intérieure orientation Est

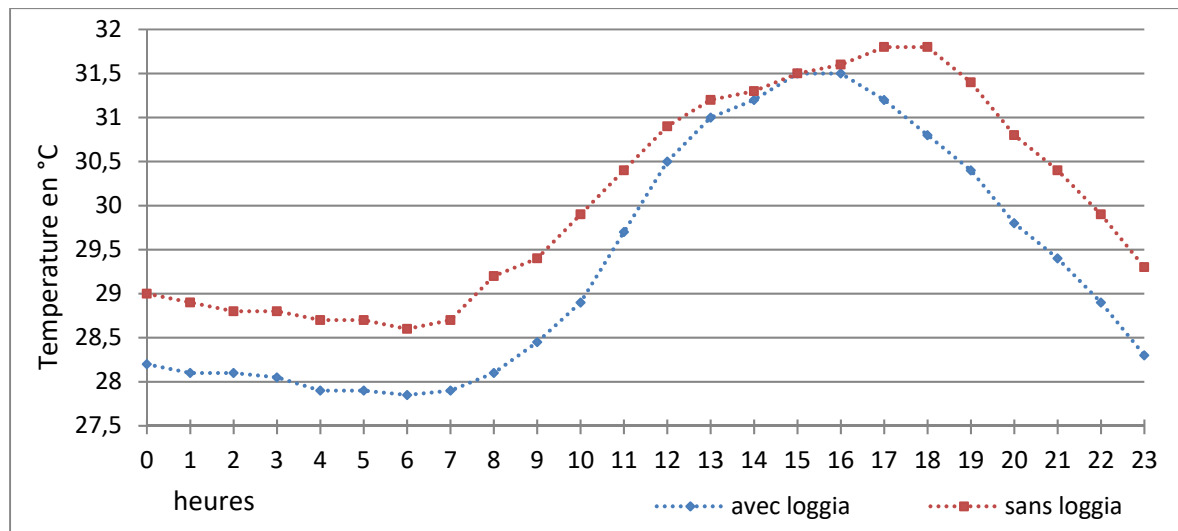


Figure 5.20 Effet d'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia sur la température intérieure orientation Ouest

En conclusion, il est intéressant de noter, d'après la simulation précédente, l'importance de l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia qui joue un rôle prépondérant pour minimiser les gains directs des rayons solaires dans l'abaissement de la température intérieure, ainsi que dans la consommation énergétique.

## 5.10 Synthèse

Cet exercice permet de valider les causes de la variation de la température intérieure des séjours étudiés, qui est largement influencée par la puissance incidente solaire et les flux de chaleur qui pénètrent l'enveloppe opaque ou transparente d'un bâtiment.

Ainsi, basé sur la simulation, l'orientation Sud a réduit la demande moyenne en énergie de chauffage du dixième par rapport à l'orientation Nord et du huitième par rapport aux orientations Ouest. Cela a permis de déterminer l'orientation optimale, qui est celle du Sud et celles obtenues en déviant l'axe de l'orientation à 15° Est et à 15° Ouest pour ce type de climat.



Nous avons vu aussi que le choix de la couleur claire des parois extérieures, ainsi que l'ajout de l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia, a pour effet important de diminuer durant les mois les plus chauds, les flux de chaleur entrant par la paroi protégée, ainsi que de limiter légèrement les flux sortants pendant les mois frais. Ces diminutions entraînent, par le fait même, une réduction de la consommation énergétique du bâtiment et, ultimement, une réduction des dépenses reliées à la conservation de conditions de température stable à l'intérieur du bâtiment.

Ainsi, cette simulation permet de montrer que l'implantation d'un bâtiment et l'orientation de ses façades sont des composantes qui influent sur le confort hygrothermique, l'été comme l'hiver, ainsi que sur la consommation énergétique d'un bâtiment. Et que la température intérieure est influencée par l'implantation et l'orientation d'un bâtiment par rapport aux rayonnements solaires et au vent, par la couleur extérieure des parois, l'intégration d'un dispositif d'ombrage et la gestion de l'espace.



## CONCLUSION

L'étude montre que l'implantation d'un bâtiment et l'orientation de ses façades est une composante qui influence le confort hygrothermique été comme hiver, ainsi que la consommation énergétique d'un bâtiment collectif à Biskra, étude qui, jusqu'à ce jour, n'avait pas encore été réalisée. Pour atteindre cet objectif, une méthode expérimentale proposée a été développée pour étudier la performance thermique d'un bâtiment collectif et vérifier l'impact réel du climat de la ville, objet de l'étude, sur ce dernier suivant les différents angles d'orientation. Cette étude a porté sur la période la plus défavorable de l'année, qui est le mois de juillet, sachant qu'il faut trois à quatre fois plus d'énergie pour rafraîchir des espaces que pour les chauffer.

L'étude des résultats de cette expérimentation démontre que l'équilibre hygrométrique à l'intérieur des séjours est assuré pour la période estivale comparée à la plage de la zone de confort et que l'humidité relative est quasiment constante et proches des conditions de confort hygrothermique intérieur. De plus, les résultats montrent l'importance du degré d'exposition de la paroi verticale 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'intérieur pendant la période d'été. Donc, l'ambiance intérieure de chaque séjour dépend étroitement de l'effet de l'orientation du bâtiment.

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 de la direction de la brise d'été. Le séjour orienté Sud-Ouest présente des températures plus élevées de par son orientation qui bénéficie des apports solaires directs les plus importants, surtout l'après midi, ainsi que des fluctuations maximales enregistrées qui coïncident avec les hautes températures de l'air extérieur et l'effet du vent chaud qui fait augmenter la pénétration de l'air chaud par infiltration.

De ce fait, les résultats ont démontré combien la variation de la température intérieure de ces séjours est largement influencée par la puissante incidence solaire, le degré d'exposition des parois opaques ou transparentes d'un bâtiment aux rayons solaires, au vent et la gestion de l'espace, et ce, pour la période estivale. Tout cela dépend de l'effet de l'implantation du bâtiment et de l'orientation de ses façades. La performance énergétique (quantité de chaleur traversant la paroi) est donc directement reliée à cet élément.

Dans cette configuration, pour valider les résultats de l'expérimentation, proposer les solutions les plus intéressantes, ainsi que des dispositifs architecturaux adéquats au climat en question, il est jugé utile d'avoir recours à un outil informatique par le biais du logiciel Ecotect TM, afin d'améliorer les températures intérieures suivant l'implantation du bâtiment et l'orientation de ses façades, ainsi que l'efficacité énergétique. Aussi, ça affirme l'efficacité et l'utilité des mesures in situ, en plus de leur facilité d'utilisation.

En comparant ces résultats avec les limites de la plage de la zone de confort, notamment celles des températures de la ville de Biskra d'après Humphrey et Capderou (Capderou, 1985), on constate que les différentes implantations et orientations des façades correspondantes sont loin d'atteindre les températures de confort. Ces dernières dépendent de nombreux critères dont : l'orientation de la façade, le contrôle de l'ensoleillement, la couleur externe de la façade et l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia. Ce couplage permet même de pouvoir réduire les besoins énergétiques d'un bâtiment en climatisation et en chauffage, ainsi que les fluctuations quotidiennes maximales enregistrées et assure une bonne distribution de la chaleur dans les espaces en toute saison.

Ce travail s'appuie sur la démarche climatique qui cherche à composer avec le climat. Elle considère que l'enveloppe bâtie n'est plus simplement une frontière du domaine habitable, mais devient un élément souple chargé de transformer le climat extérieur fluctuant et inconfortable en un climat intérieur agréable. Les résultats de la simulation ont prouvé que l'implantation de cette enveloppe influe sur le degré de besoin énergétique pour satisfaire le confort minimal intérieur, été comme hiver.

Aussi, ces résultats ont démontré la relation qui lie la quantité d'énergie absorbée par la paroi à la température intérieure, qui dépend étroitement de l'orientation. Cependant, l'orientation idéale est évidemment le Sud pour ce type de climat, orientation qui a fourni les meilleurs résultats. Par contre, les orientations Nord, Est et Ouest sont à éviter. Comparé à cette dernière, l'étude des résultats montre que les orientations celles qu'en déviant l'axe à 15° Est et à 15° Ouest fait perdre moins de 5 % des apports solaires. Les orientations Sud-Est et Sud-Ouest sont plus pénalisantes et atteint jusqu'à 15 % des apports solaires. Quant à l'Est ou à l'Ouest, le déficit se situe à 45 %, ce qui est du même ordre de grandeur que les résultats de Givoni.

Par ailleurs, la couleur de la façade a un effet sur son degré d'échauffement. 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 bénéficient des apports solaires les plus importants. Les couleurs foncées 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 de la surchauffe, l'hiver comme l'été, donc, un intérêt particulier doit être porté à sa protection. Les résultats montrent que la protection et la mise à l'ombre des parois participent à la création du confort à l'intérieur du séjour et dépend de l'orientation de la paroi ainsi que de la position des ouvertures. De ce fait, il est intéressant de noter l'importance de l'intégration d'un dispositif d'ombrage tel que la loggia, qui joue un rôle prépondérant pour minimiser les gains directs des rayons solaires dans l'abaissement de la température intérieure, ainsi que la consommation énergétique.

La validation des résultats de simulation avec des données expérimentales démontre une corrélation dans tous les cas avec une erreur de  $\pm 5\%$ .

Finalement, les résultats présentés répondent à l'objectif principal de cette recherche et sont appuyés par la comparaison avec des études similaires mentionnées dans les chapitres précédents.

## RECOMMANDATIONS

La présente recherche est, une proposition technologique sous expérimentation propose, plusieurs thèmes prolongeant cette dernière. Compte tenu de ce qui précède, plusieurs études devront être élaborées afin d'examiner la performance thermique des bâtiments collectifs sous les conditions climatiques de leurs différentes régions.

À ce sujet, il est intéressant que chaque région, ville, direction de l'urbanisme et de la construction de chaque wilaya dispose d'un cahier des charges. Ce cahier des charges devra constituer un support technique qui provoque la question d'intégration des constructions aux conditions climatiques des régions.

Les directions de l'urbanisme et de la construction de chaque wilaya doivent créer un nouveau service, soit service de l'énergie et de la construction, dont le rôle est d'introduire la question d'intégration et d'exploitation de l'énergie solaire passive dans le bâtiment collectif, notamment par le biais d'élaborer un cahier des charges spécifique à chaque région qui est surtout associée aux techniques de construction qui permettent des économies d'énergie pour le chauffage, la climatisation et l'éclairage.

Les architectes, les bureaux d'études doivent impliquer et engagé dans une réflexion pour solutionner la problématique de l'inadaptation climatique des constructions, aussi au développement de l'efficacité énergétique, au maintien du confort intérieur et de favoriser le développement de nouveaux sites et de régénérer les anciens sites de la ville, ainsi de changer la mentalité des promoteurs et adopter les stratégies d'efficacité énergétique.

Enfin, l'objectif d'avoir un bâtiment autonome, ce bâtiment est une construction énergétiquement indépendante du réseau de distribution d'électricité.





## ANNEXE I

### ANALYSE BIOCLIMATIQUE MÉTHODE DE STEEVE SZOCKOLAY

La méthode de S. Szocolay consiste à définir les zones de contrôle potentiel, projetées par étapes sur le diagramme psychrométrique.

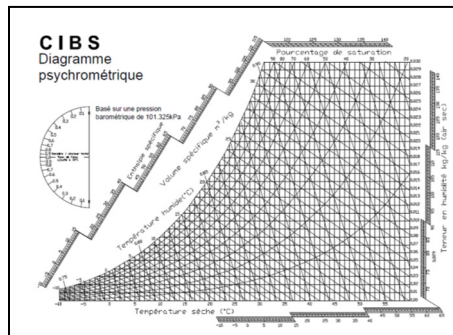


Figure-A I-1 Diagramme psychrométrique  
Tirée S. Szocolay, (1979)

#### La zone de confort

Définie par son point neutre, obtenu par l'intersection de la température neutre et l'humidité relative portée à 50% d'humidité relative. Cette zone est délimitée par quatre points de températures humides où :

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times T_m)$$

$$T_m = \sum \frac{t_m}{12}$$

Les points 1 et 2 sont portés à la ligne d'humidité absolue 12 g / Kg avec :

$$T_1 = T_n + (A_{hn} - 12) \times 0.025 \times (T_n - 14) - 2 \quad (A_{hn} : \text{l'humidité absolue du point de neutralité})$$

$$T_2 = T_1 + 4$$

Les points 3 et 4 sont portés à la ligne d'humidité absolue 4 g / Kg avec :

$$T_3 = T_1 + 0.2 \times (T_1 - 14)$$

$$T_4 = T_2 + 0.2 \times (T_2 - 14)$$

### La zone de contrôle potentiel pour les périodes froides

C'est la zone de chauffage passif, délimitée par un seul point de la température humide portée à la courbe de saturation  $HB = 100\%$  où :

$$T5 = T_n + 0.36 - 0.0025 \times H_v$$

( $H_v$  représente la moyenne journalière totale d'irradiations solaires en  $Wh/m^2$  d'une surface verticale sud pour le mois le plus froid).

### La zone de contrôle potentiel pour les périodes chaudes

- zone d'effet de masse

La détermination de la variation moyenne de la température pour le mois le plus chaud ( $dT_m$ ) permet d'obtenir le premier point de cette zone.

$$dT_m = T_{moy .max} - T_{moy .min.}$$

Les autres points qui délimitent cette zone sont :

$$T6 = T2 + 0.5 (dT_m) \text{ situé à la ligne d'humidité absolue qui correspond à } 12g/ Kg,$$

$$T7 = T6 - 0.05 (T6 - 14) \text{ correspond à la ligne } 14g/ Kg \text{ d'humidité absolue,}$$

$$T8 = T6 - 0.2 (T6 - 14) \text{ correspond à la ligne } 4g/ Kg \text{ d'humidité absolue,}$$

La limite d'humidité la plus élevée correspond à la courbe d'HR du premier point de la zone de confort.

- zone d'effet de masse avec ventilation nocturne

$$T9 = T2 + 0.8 (dT_m) \text{ le point correspond à la ligne } 12g/ Kg \text{ d'humidité absolue,}$$

$$T10 = T9 - 0.05 (T9 - 14) \text{ le point correspond à la ligne } 14g/ Kg \text{ d'humidité absolue,}$$

$$T11 = T9 - 0.05 (T9 - 14) \text{ le point correspond à la ligne } 4g/ Kg \text{ d'humidité absolue.}$$

- zone de ventilation naturelle – mouvement d'air sur la surface de peau

Pour 1m/s:  $T_{12} = T_2 + 5$  le point correspond à la ligne d'humidité absolue 12g/ Kg,

Pour 1.5m/s:  $T_{12} = T_2 + 6.5$  le point correspond à la ligne 12g/ Kg d'humidité absolue,

Pour 1m/s :  $T_{13} = T_{12} + 0.1 (T_{12} - 14)$  le point correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité absolue,

Pour 1.5 m/s :  $T_{13} = T_{12} + 0.1 (T_{12} - 14)$  le point correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité

Absolue,

$T_{14} = T_1$  mais le point sera localisé sur la courbe 90 % d'humidité relative,

$T_{15} = T_{12} - 0.18 (T_{12} - 14)$  le point sera localisé sur la courbe 90 % d'humidité relative.

- zone de refroidissement évaporatif direct

Délimitée par un seul point où la température-limite la plus élevée qui délimite cette zone est:

$$T_{16} = T_n + 12$$

Les limites supérieures et inférieures de cette zone sont tracées à partir des lignes de températures humides du deuxième et troisième point de la zone de confort.

- zone de refroidissement évaporatif indirect

Délimitée par un seul point où la limite supérieure de cette zone correspond à la ligne 14g/Kg d'humidité absolue où :

$$T_{17} = T_n + 15$$

### **Représentation des conditions climatiques qui prévalent**

Chaque mois est représenté par une ligne dessinée entre deux points :

- la température moyenne maximale mensuelle avec l'humidité relative minimale,
- la température moyenne minimale maximale avec l'humidité relative maximale.

## ANNEXE II

### ANALYSE BIOCLIMATIQUE METHODE DE MAHONNEY

Tableau -A II-1

Table 1

Location	BISKRA
Longitude	5° 44'
Latitude	34° 48'
Altitude	81.00m

Air temperature: °C

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	High	AMT
Monthley mean max.	16,9	19,1	23,6	26,8	31,4	37,1	41	39,6	33,9	29,2	21,8	17,4	40,96	23,92
Monthly mean min.	6,88	7,83	11,39	15,06	20,06	24,81	27,76	27,72	23,26	18,02	11,85	7,71	6,88	34,08
Monthly mean range	10,06	11,31	12,21	11,78	11,33	12,29	13,2	11,89	10,64	11,16	9,96	9,65	Low	AMR

Relative humidity %

Monthly mean max.a.m.	79,10	69,50	63,80	52,70	51,80	46,20	41,50	46,30	58,60	64,90	73,30	79,30
Monthly mean min.p.m.	39,00	29,40	24,90	20,70	20,60	17,60	16,00	17,80	25,70	29,80	36,10	40,50
Average	59,05	49,45	44,35	36,7	36,2	31,9	28,75	32,05	42,15	47,35	54,7	59,9
Humidity groupe	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3	3

Humidity groupe:	1	if average RH:	below 30%
	2		30-50%
	3		50-70%
	4		above 70%

Rain and wind

													Total
Rainfall mm	28,1	5,2	16,6	22,8	9,93	4,33	0,38	4,07	8,53	10,1	18,6	14,5	143,2
Wind prevailing	4,51	4,6	4,76	6,24	6	4,98	4,32	4,13	4,5	4,17	4,57	4,48	
Windsecondary													
	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	

Confort limits

Humidity group		AMT Over 20°C		AMT 15-20°		AMT below 15	
		Day	Night	Day	Night	Day	Night
1	2	26-34	17-25	23-32	4-23	21-30	12-21
3	4	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
		23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
		22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

TABLE 2

## Diagnosis

AMT

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Monthly mean max	16,94	19,14	23,6	26,84	31,39	37,1	40,96	39,61	33,9	29,18	21,81	17,36
Day comfort. Upper	29	31	31	31	31	31	34	31	31	31	29	29
Day comfort: lower	23	25	25	25	25	25	26	25	25	25	23	23
Monthly mean min	6,88	7,83	11,39	15,06	20,06	24,81	27,76	27,72	23,26	18,02	11,85	7,71
Night comfort. Upper	23	24	24	24	24	24	25	24	24	24	23	23
Night comfort. Lower	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Thermal stress. Day	C	C	C	O	H	H	H	H	H	O	C	C
Thermal stress. Night	C	C	C	C	O	H	H	H	O	O	C	C

23,92

## Indicators

Total

Humid: H1 totals													0
H2													0
H3													0
Arid: A1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			10
A2					X	X	X	X	X				5
A3	X	X	X								X	X	5

## Applicable when

	Indicator	Thermal stress	Rainfall	Humidity group	Monthly
Meaning	mean range				
	Day	Night			
Air movement essential	H1	H		4	
		H		2;3	Less than 10°C
Air movement desirable	H2	O		4	
Rain protection necessary	H3			Over 200mm	
Thermal capacity necessary	A1			1-2-3	more than 10°C
		H		1.2	
Out door sleeping desirable	A2	H	O	1.2	more than 10°C
Protection from cold	A3	C			

TABLE 3

## Recommended specifications

Indicator to tals from table 2					
H1	H2		A1		A3
0	0		10		5

			0-10			X	1	Orientation north and south(long axis east-west)
			11,12		5-12		2	Compact courtyard planning
					0-4			
11-12							3	Open spacing for breeze penetration
2-10							4	As 3. but protection from hot and cold wind
0,1							5	Compact layout of estates
3-12							6	Rooms single banked, permanent provision air movement
			0-5					
1,2			6-12			X	7	Double banked rooms, temporary provisions for air movement
0	2-12						8	No air movement requirement
	0,1							
			0,1		0		9	Large openings 40-80%
			11,12		0,1		10	Very small openings 10-20%
Anyother conditions						X	11	Medium openings 20-40%
			0-2				12	Light walls, short time-lag
			3-12			X	13	Heavy external and internal walls



		0-5				14	Light, insulated roofs	177
		6-12			X	15	Heavy roofs, over 8th time-lag	
					X	16	Space for out-door sleeping required	
						17	Protection from heavy rain necessary	
		0,1		0		1	Large	
				1-12		2	Medium	
		2-5						
		6-10				3	Small	
		11,12		0-3		4	Verysmall	
				4-12	X	5	Medium	
3-12							In north and south walls at body height on windward side	
		0-5						
		6-12		X			As above, openings also in internal walls	
0	2-12							
				0-2			Exclude direct sunlight	
							Provide protection from rain	
		0-2					Light, low thermal capacity	
		3-12		X			Heavy, over 8h time-lag	
10-12		0-2					Light, reflective surface, cavity	
		3-12					Light, well insulated	
0,9		0-5						
		6-12		X			Heavy, over 8h time-lag	
				X			Space for out-door sleeping	
							Adequate rain water drainage	



## ANNEXE III

### ASPECT GÉOMÉTRIQUE DU SOLEIL

- le calcul d'après Marsh. A, 2003 :

Altitude solaire :  $h$

Calcul de l'angle horaire :  $\omega$

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

Calcul de l'altitude courante :

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

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

Azimut solaire :  $A$

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

Azimut =  $\arccos ([\cos (\text{Latitude}) * \sin(\text{Déclinaison}) -$

$\cos (\text{Déclinaison}) * \sin(\text{Latitude}) * \cos (\text{Angle horaire})] / \cos (h))$

- isotherme de Biskra :

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 équivalente aux heures synoptique :

Sur le diagramme (hourly temperature calculator), Figure AIII.1, 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 :

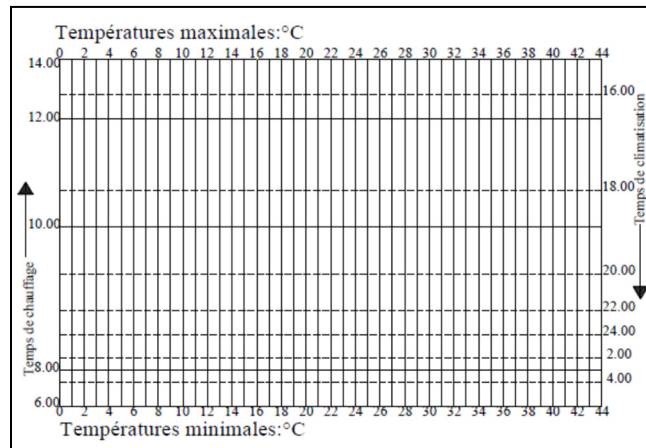


Figure-A III-1 Calculatrice des températures horaires  
Tirée S. Szocolay, (1979)

- dessin de l'isotherme :

Sur le graphe qui comporte les mois en abscisse, et les heures en ordonnées, on met les températures équivalentes aux heures synoptiques. Ensuite, à l'aide d'une ligne, on relie les points de mêmes températures (5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C.)

On obtient l'isotherme qui nous permet de déterminer les différentes zones de surchauffe, de confort, de chauffe, en fonction des tranches horaires et des mois.

Tableau-A III-1 Données météorologique mensuelles de Biskra (1990-2000)  
Relevées à la station météorologique de Biskra

		Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
températures	Températures Moyennes max °c	17.04	19.50	23.60	26.77	31.04	37.02	40.81	39.54	33.89	29.14	21.77	17.51
	Températures Moyennes min °c	7.1	8.0	11.3	15.0	20.0	24.7	27.6	27.8	23.3	18.0	11.9	7.8
	Températures Moyennes annuelle °c	8.28	13.54	17.41	20.92	26.30	31.54	34.41	34.08	28.96	22.81	16.54	12.28
humidité	Humidité relative moyenne max %	79.1	69.5	63.8	52.7	51.8	46.2	41.5	46.3	58.6	64.9	73.3	79.3
	Humidité relative moyenne MIN %	39	29.4	24.9	20.7	20.6	17.6	16	17.8	25.7	29.8	36.1	40.5
	Humidité relative moyenne annuelle %	59.3	47.9	41.9	38.1	33.1	28.8	26	29.6	39.6	46.5	53.5	60.8
vent	Vent moyen m/s	4.51	4.60	4.76	6.24	6.00	4.98	4.32	4.13	4.50	4.17	4.57	4.48
preci	Précipitations mm	28.09	5.20	16.60	22.83	9.93	4.33	0.38	4.07	8.53	10.14	18.60	14.53
	INSOLATION (En Heures)	221.89	259.78	286.11	294.00	324.11	349.44	357.89	325.89	273.11	262.33	220.22	223.22

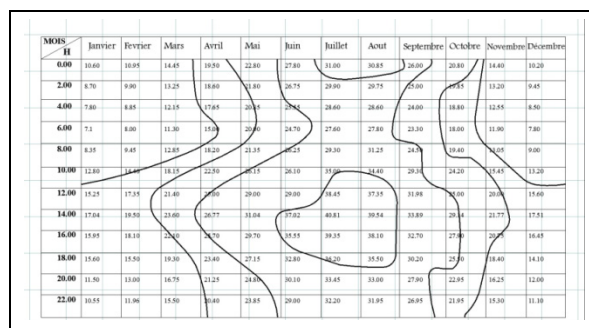


Figure A 5.2 Courbes d'égal température sur le  
tableau des températures horaires de Biskra  
Tirée S. Szocolay, (1979)

- 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.

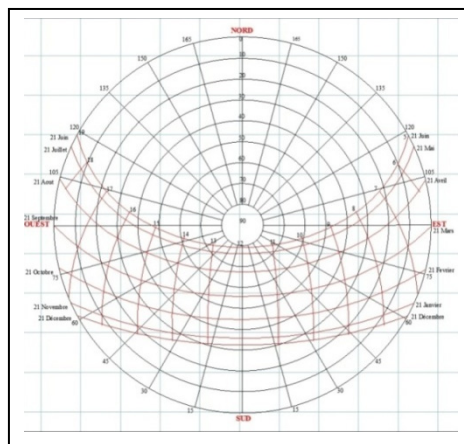


Figure 5.3 Diagramme polaire de Biskra

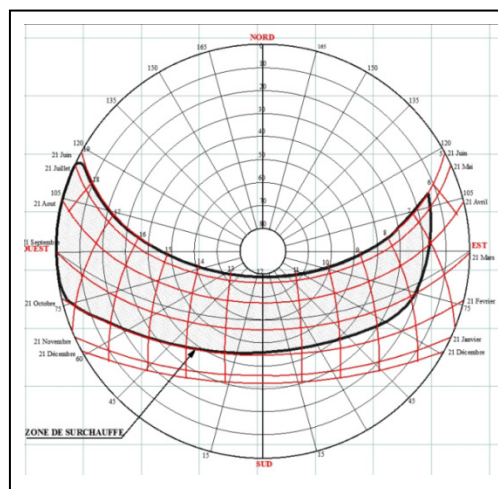


Figure 5.4 Présentation de la zone de surchauffe  
en noir

## BIBLIOGRAPHIE

- Aghrab, N. 2000. « Le climat ». In *Conférence IBPSA France 2000 – Sofia Antipolis*. (Oct. 2000), p. 26-27.
- Alexandroff, G, et J-M. Alexandroff. 1982. *Architectures et climats : soleil et énergies naturelles dans l'habitat*. Coll. « Architectures ». Paris: Berger-Levrault, 379 p.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1997. *ASHRAE Handbook Fundamentals*, I-P (inch-pound). Atlanta, GA: ASHRAE.
- Beguin, D. 2011. « Énergie solaire ». En ligne. < <http://www.scribd.com/doc/3874692/Guide-de-ecoconstruction> >.
- Bernard, J. . 2004. *Énergie solaire ; calculs et optimisation* (2004), Ellipses Édition Marketing Coll. « TECHNOSUP les filieres technologiques des enseignants superieurs ». Paris, 252 p.
- Bessemoulin, P, et J. Oliveri. 2011. « Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette = Solar radiation and its ultraviolet component ». *Météorologie* n° 31, p. 42-59.
- Capderou, M. (Ed). 1985. *Atlas solaire de l'Algérie énergétique* (15 juin 1985), Tome 2 V 2, OPU Alger n: 2075-10-85. Alger, 399 p.
- Chatelet, A, P Fernandez et P. Lavigne. 1998. *Architecture climatique une contribution au developpement durable*, 2. Coll. « Architectures ». Paris: ÉDISUD, 154 p.
- Chitour, Ch-E. (Ed). 1994. *L'énergie – les enjeux de l'an 2000* (1994), 1. Alger: Office des Publications Universitaires.
- Davoust, P. 2011. « Aridité ». En ligne. < <http://www.ecosociosystemes.fr/aridite.html> >. Consulté le 05 juin 2011.
- Déoux, S, et P. Déoux. 2004. *Le guide de l'habitat sain : habitat, qualité, santé pour bâtir une santé durable*, 2e éd. rev. et augm. Andorre: Medieco, 537 p.
- Depecker, P. 1989. « Qualité thermique des ambiances [réd. par Patrick Depecker] ». En ligne. Paris: Agence française pour la maîtrise de l'énergie, 67 p. < <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb354548944> >.
- Dessus, B, et F. Pharabod. 2002. *L'énergie solaire*, 2e éd. mise à jour. Coll. « Que sais-je? ; 1294 ». Paris: Presses universitaires de France, 127 p.
- Dib, M-N. 1993. *Recommandations architecturales, Alger*. Alger: Enag-Edition, 135 p.

- Durand-Dastés, F. 2011. « Climatologie ». En ligne. < <http://www.universalis.fr/encyclopedie/climatologie/1-les-echelles-du-climat/> >. Consulté le 05 février 2011.
- Edward, M. 2005. *Le guide de la maison solaire*. Marseille: Parenthèses, 339 p.
- Evans, J- M. 2007. « The comfort triangles : a new toll for bioclimatic design thesis submitted in partial fulfillment of the requirements of the award of Doctor of Philosophy ». En ligne. < [http://scholar.google.ca/scholar?q=The+comfort+triangles:+a+new+tool+for+bioclimatic+design&hl=fr&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](http://scholar.google.ca/scholar?q=The+comfort+triangles:+a+new+tool+for+bioclimatic+design&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar) >. Consulté le 10 février 2011.
- Fauconnier, R. 1992. « L'action de l'humidité de l'air sur la santé dans les bâtiments tertiaires ». *Chauffage, ventilation, conditionnement*, vol. 68, n° 10, p. 57-62.
- Fernandez, P, et P. Lavigne (239). 2009. *Concevoir des bâtiments bioclimatiques : fondements & méthodes*. Paris: Moniteur, 430 p.
- Galeou, A., F. Grivel et v. Candas. 1989. *le confort thermique aspects physiologiques et psychosensoriels*. PCA-89803, 113 p.
- Givoni, B. 1978. *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris: Editions du Moniteur, 460 p.
- Guyot, G. 1999. *Climatologie de l'environnement : cours et exercices corrigés*, 2e éd. Coll. « Sciences SUP ». Paris: Dunod, 525 p.
- Izard, J-L, et G. Alain. 1979. *Archi bio = Architecture bioclimatique* Roquevaire, France: Editions Parentheses, 131 p.
- Jancovici, J-M. 2011. « Le réchauffement climatique : réponse à quelques questions élémentaires ». En ligne. < <http://www.x-environnement.org/> >. Consulté le 22 mai 2011.
- Lavigne, P., P. Brejon et Pierre Fernandez. 1994. *Architecture climatique : une contribution au développement durable*, Tome 1. Aix-en-Provence, France: Edisud, 191 p.
- Liébard, A, J-P Ménard et P. Piro. 2007. *Le grand livre de l'habitat solaire : 110 réalisations en France : le développement durable à la portée de tous*. Paris: Observer : Moniteur, viii, 248 p.
- Liébard, A., et H. André. 2005. *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Paris: Observer ; Editions le Moniteur, 368 p.



- Ministère de l'énergies et des mines. 2009. *Consommation énergétique finale de l'Algérie : Chiffres clés Année 2007*. Coll. « Consommation énergétique ». Alger: APRUE, 12 p. < <http://www.aprue.org.dz/documents/PUBLICATION%20CONSOMMATION%20ENERG%C3%89TIQUE%20FINALE%202007.pdf> >. Consulté le 28 février 2011.
- Olgyay, V, et A. Olgyay. 1963. *Design with climate : bioclimatic approach to architectural regionalism. Some chapters based on cooperative research with Aladar Olgyay*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 190 p.
- Olgyay, V, et A. Olgyay. 1973. *Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism some chapters based on cooperative research with aladar olgyay*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 190 p.
- Picon, A, P Potié et R. Baudouï. 2003. *André Ravéreau : l'atelier du désert*. Marseille: Parenthèses, 186 p.
- Ravéreau, A, V Bertaud Du Chazaud et M. Ravéreau. 2007. *Du local à l'universel*. Coll. « Librairie de l'architecture et de la ville ». Paris: Éditions du Linteau, 153 p.
- Reiter, S, et H. André de. 2004. *L'éclairage naturel des bâtiments*. [Louvain-la-Neuve, Belgique]: Presses universitaires de Louvain, 80 p.
- Richard, B. . 2011. « Économie d'énergie - innovation - Québec ». En ligne. Québec, 76 p. < <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs48878> >. Consulté le 19 février 2011.
- Roulet, C-A. 2008. *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments*, 2e éd. mise à jour et complétée. Lausanne: Presses Polytechniques Romande, 362 p.
- Scheer, M. 2011. « Résolution 974 (1991) relative aux sources d'énergie renouvelables et à l'hydrogène solaire ». texte adopté par la Commission Permanente, agissant au nom de l'Assemblée, le 25 novembre 1991. En ligne. Québec: Assemblée parlementaire. < <http://assembly.coe.int/Documents/AdoptedText/ta91/fres974.htm> >. Consulté le 19 février 2011.
- Stephenson, D-G. . 2011. « CBD-59-F. Principes d'installation des écrans pare-soleil ». En ligne. Publication de l'IRC-CNRC. < [www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/idp/irc/dcc/digest-construction-59.html](http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/idp/irc/dcc/digest-construction-59.html) >. Consulté le 25 février 2011.
- Tareb, K. 2011. « Intégration Architecturale ». En ligne. < <http://new-learn.info/learn/> >. Consulté le 02 janvier 2011.
- Université catholique de Louvain. 2011. « 27th International conference on Passive and Low Energy ArchitectureHome ». En ligne. < <http://www.energieplus-lesite.be/> >. Consulté le 03 avril 2011.

- Vaillant, J- R. 1978. *Utilisations et promesses de l'énergie solaire*, 2e. Coll. « Collection du B.C.E.O.M. ». Paris: Eyrolles, 502 p.
- Valin, Murel, Coralie Hancock et Philippe Testard-Vaillant. décembre 2007. « La maison XXI<sup>e</sup> siècle. 2, Construire ». *Science et Vie : Hors Série*, n° 241, p. 44-91.
- Watson, D, R Camous et L. Kenneth. 1983. *L'habitat bioclimatique de la conception à la construction*. Coll. « Catalogue des techniques : de la conception à la réalisation. ». Montréal: L'Étincelle, 188 p.
- Watson, D. 1979. *Le livre des maisons solaires trad. de l'américain par roger camous*. Montréal: Editions l'Étincelle, 263 p.
- Wines, J, et P. Jodidio. 2008. *L'Architecture verte*. Cologne (Allemagne): Taschen, 240 p.