

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

N° d'ordre :

N° de série :

MEMOIRE

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER

OPTION : HABITAT ET DEVELOPPEMENT DURABLE

Présenté par : Melle **BOUCHAALA MERIEM**

THEME

**L'AMELIORATION DU CONFORT THERMIQUE
DU LOGEMENT SOCIAL
DANS L'OPTIQUE DU DEVELOPPEMENT DURABLE**

Sous la direction de : **Dr DJEGHAR AICHA**

Jury d'examen :

Président : Dr BOUFENARA KHADIDJA

Rapporteur : Dr DJEGHAR AICHA

Examineur : Dr MENDJEL ABDELHAMID

Examineur : Dr REHAILIA HASSIB

Université Badji Mokhtar -Annaba.

Université Mentouri - Constantine.

Université Badji Mokhtar -Annaba.

Université Badji Mokhtar -Annaba.

Année universitaire 2015-2016

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

N° d'ordre :

N° de série :

MEMOIRE

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER

OPTION : HABITAT ET DEVELOPPEMENT DURABLE

Présenté par : Melle **BOUCHAALA MERIEM**

THEME

**L'AMELIORATION DU CONFORT THERMIQUE
DU LOGEMENT SOCIAL
DANS L'OPTIQUE DU DEVELOPPEMENT DURABLE**

Sous la direction de : **Dr DJEGHAR AICHA**

Jury d'examen :

Président : Dr BOUFENARA KHADIDJA

Rapporteur : Dr DJEGHAR AICHA

Examineur : Dr MENDJEL ABDELHAMID

Examineur : Dr REHAILIA HASSIB

Université Badji Mokhtar -Annaba.

Université Mentouri - Constantine.

Université Badji Mokhtar -Annaba.

Université Badji Mokhtar -Annaba.

Année universitaire 2015-2016

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant pour m'avoir donné la volonté et le courage nécessaires pour mener ce mémoire jusqu'au bout.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma grande reconnaissance à mon encadreur Mme Djeghar Aicha pour avoir accepté d'encadrer ce mémoire, pour ses conseils précieux et ses critiques constructives qui ont constitué un apport considérable au mémoire.

Mes remerciements vont également aux membres de jury Mme Boufenara, Mr Mendjel et Mr Rehailia pour l'intérêt qu'ils ont apporté à cette recherche en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent à Mme Tebbani Habiba pour ces conseils avisés, ses encouragements et surtout le temps qu'elle m'a consacré.

Mes remerciements s'adressent au directeur de la station météorologique pour son accueil bienveillant et les données climatiques qu'il a mis sous ma disposition.

Mes remerciements s'adressent également à tous mes collègues à l'office de la promotion et de la gestion immobilière de la wilaya d'El-tarf pour leur accueil bienveillant, leurs conseils avisés et les documents qu'ils ont mis sous ma disposition.

Mes remerciements s'adressent aux travailleurs de la bibliothèque centrale et celles de la bibliothèque du département pour leur patience et leur compréhension.

Un grand merci aux habitants de la cité Gharci Amara pour leur précieuse collaboration dans la prise des mesures et leur immense patience parce qu'on a du répéter les mesures plusieurs fois.

Très sincèrement et du plus profond du cœur, mes vifs remerciements et ma grande reconnaissance s'adressent surtout à ma famille : ma mère, mon père, mes sœurs Abla et Lynda et mon cher frère Mohamed Lamine. Je les remercie pour leur soutien persistant, et l'environnement très favorable qu'ils m'ont procuré afin de mener ce travail de recherche dans les meilleures conditions. Ils m'ont toujours donné la priorité et le maximum de ce qu'ils en étaient capables, et ceci m'a grandement donné la force et la détermination pour avancer et surmonter les difficultés.

Mes vifs remerciements s'adressent aussi à ma famille: mes oncles, mes tantes, mes cousins, mes cousines, et surtout à ma grande mère Larfi Houria.

Enfin, je dédie ce mémoire à la mémoire de mon cher oncle Bouchaala Laarbi que dieu lui accorde sa sainte miséricorde et l'accueille en son vaste paradis.

الملخص

دمج الكفاءة الطاقوية في مختلف القطاعات الاقتصادية و الاجتماعية ضروري نظرا لتسارع وتيرة الاحترار المناخي ونضوب الموارد الطاقوية غير المتجددة. يستحق قطاع البناء أن يكون الأكثر استهدافا لأنه أكبر مستهلك للطاقة بحصة بلغت 40.34%. جزء من هذه الطاقة يستهلك للتدفئة و تكييف الهواء للتعويض عن عدم وجود الراحة الحرارية الناتج عن التصميم غير المناسب لخصائص المناخ المحلي.

سكان السكنات الاجتماعية هم أول الضحايا لهذا الوضع، الأجهزة الرديئة التي يستخدمونها تستهلك الكثير من الطاقة لتوفير القليل من الراحة الحرارية والمصاريف المخصصة لتسديد الفواتير نقثل جزءا هاما من دخلهم الضعيف. كذلك، منح سكنات اجتماعية غير مريحة يتعارض مع التنمية المستدامة، لأنه بالإضافة إلى التكلفة الاقتصادية و البيئية، هذه السكنات تهمل حق السكان في الاستفادة من الراحة الحرارية بتكلفة مناسبة لدخلهم الضعيف.

تحسين الراحة الحرارية في السكن الاجتماعي يتطلب تطبيق المنهج البيومناخي القائم على أساس ملائمة تصميم المبنى مع خصائص المناخ المحلي. في هذا الإطار، فإن الهدف من هذه المذكرة هو المساهمة في تحسين الراحة الحرارية في السكنات الاجتماعية من خلال التوجه الصحيح وملائمة خصائص الغلاف مع المناخ المحلي.

أجريت قياسات لدرجة الحرارة خارج و داخل أربعة سكنات عمومية إيجارية ذات توجهات مختلفة تقع في مدينة القالة بهدف اختبار تأثير التوجه إلى الشمس على تغيرات درجة الحرارة الداخلية. استكملت هذه القياسات بالمحاكاة الحرارية لتحديد التوجه الأمثل للراحة الحرارية. إضافة إلى ذلك تم تفسير المعطيات المناخية للطرف باستعمال الرسم البياني البيومناخي لتحديد خصائص الغلاف الملائمة لمناخ هذه المنطقة.

تؤكد النتائج تأثير التوجه إلى الشمس على تغيرات درجات الحرارة في الداخل، وتشير إلى أن التوجه الأمثل للراحة الحرارية هو التوجه الجنوبي. الحفاظ على الراحة الحرارية في السكن الاجتماعي المبني في الطرف يتطلب تصميم غلاف يسمح بالتدفئة الشمسية في الشتاء، و الجمع بين التهوية الطبيعية الدائمة و الحماية الفعالة من أشعة الشمس في الصيف.

الكلمات المفتاحية : الكفاءة الطاقوية، الراحة الحرارية، السكن الاجتماعي، التنمية المستدامة، التوجه، غلاف المبنى، المناخ.

Résumé

L'intégration de l'efficacité énergétique dans les différents secteurs économiques et sociaux est une nécessité en raison de l'accélération du réchauffement climatique et la raréfaction des ressources énergétiques non renouvelables. Le secteur du bâtiment mérite d'être le plus visé parce qu'il est le plus gros consommateur d'énergie avec une part de 40,34%. Une partie de cette énergie est consommée pour le chauffage et la climatisation afin de compenser le manque de confort thermique engendré par une conception inadaptée aux caractéristiques du climat local.

Les habitants des logements sociaux sont les premières victimes de cette situation, les équipements précaires qu'ils utilisent consomment beaucoup d'énergie pour peu de confort thermique, et les dépenses consacrées au paiement des factures constituent une part importante de leur faible revenu. Par ailleurs, l'attribution de logements sociaux inconfortables est en opposition avec le développement durable parce qu'en plus de leur coût économique et environnemental, ces logements négligent le droit des habitants de bénéficier du confort thermique avec un coût adapté à leur faible revenu.

L'amélioration du confort thermique dans les logements sociaux exige l'application de la démarche bioclimatique qui repose sur l'adaptation de la conception du bâtiment aux caractéristiques du climat local. Dans ce cadre, l'objectif de ce mémoire est la contribution à l'amélioration du confort thermique dans les logements sociaux à travers leur orientation adéquate et l'adaptation des caractéristiques de leur enveloppe au climat local.

Des mesures de températures ont été effectuées à l'extérieur et à l'intérieur de quatre logements publics locatifs de différentes orientations situés à la ville d'El-kala afin de vérifier l'effet de l'orientation par rapport au soleil sur les variations de la température intérieure. Ces mesures ont été complétées par la simulation thermique en vue de déterminer l'orientation optimale pour le confort thermique. Par ailleurs, les données climatiques d'El-tarf ont été interprétées par le diagramme bioclimatique afin de déterminer les caractéristiques de l'enveloppe adaptées au climat de cette région.

Les résultats confirment l'effet de l'orientation par rapport au soleil sur les variations de la température intérieure et indiquent que l'orientation optimale pour le confort thermique est l'orientation sud. Pour le maintien du confort thermique dans les logements sociaux construits à El-tarf, la conception de l'enveloppe doit permettre le chauffage solaire passif en hiver, et la combinaison d'une ventilation naturelle permanente et d'une protection solaire efficace en été.

Mots clés: efficacité énergétique, confort thermique, logement social, développement durable, orientation, enveloppe du bâtiment, climat.

Summary

The integration of energetic efficiency in various economic and social sectors is a necessity due to the acceleration of global warming and the depletion of non renewable energy resources. The building sector deserves to be the most targeted because he is the biggest consumer of energy with a share of 40.34%. Part of this energy is used for heating and air conditioning to compensate the lack of thermal comfort produced by improper design with the characteristics of the local climate.

Residents of social housing are the first victims of this situation, precarious equipments that they use consume a lot of energy for little thermal comfort, and spending on the payment of energy bills is an important part of their low income. Furthermore, The allocation of uncomfortable social housing is in opposition to the sustainable development because in addition to their economic and environmental cost, these units overlook the right of residents to benefit from thermal comfort with a cost tailored to their low income.

Improving thermal comfort in social housing requires the application of the bioclimatic approach based on the adaption of the building design to the local climate characteristics. In this context, the objective of this thesis is the contribution to the improvement of thermal comfort in social housing through their proper orientation and the adaptation of the characteristics of their envelope to the local climate.

Temperature measurements were carried outside and inside four public rental housing in different directions located in the town of El Kala in order to verify the effect of the orientation to the sun on changes the indoor temperature. These measures were completed by thermal simulation to determine the optimum orientation for thermal comfort. Furthermore, climate data of El-tarf were interpreted by the bioclimatic chart to determine the envelope characteristics adapted to the local climate of this region.

The results confirm the effect of the orientation to the sun on the variations in the indoor temperature and indicate that the optimum orientation for thermal comfort is south orientation. To maintain thermal comfort in social housing built in El-tarf, the envelope design must allow solar heating in winter, and the combination of a permanent natural ventilation and effective sun protection in summer.

Keywords: energetic efficiency, thermal comfort, social housing, sustainable development, orientation, building envelope, climate.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	i
Résumé en arabe	ii
Résumé en français	iii
Résumé en anglais	iv
Table des matières	v
Liste des figures	x
Liste des photos	xiii
Liste des tableaux	xiv

INTRODUCTION GENERALE 1

I- Introduction	1
II- Problématique	3
III- Hypothèse.....	5
IV- Objectifs	5
V- Méthode d'approche.....	5
VI- Contraintes rencontrées	7
VII- Structure du mémoire	7

PREMIERE PARTIE

L'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE LOGEMENT SOCIAL: UNE CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT DURABLE

Introduction de la première partie	9
--	---

PREMIER CHAPITRE

DEVELOPPEMENT DURABLE

ET EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE BATIMENT

Introduction	11
1. Le développement durable : seule option pour la protection de l'environnement ..	11
1.1. Définition du développement durable	12
1.2. Genèse du développement durable	13
2. L'efficacité énergétique dans le bâtiment : une condition essentielle à la concrétisation du développement durable	14

2.1. Le rapport entre le développement durable et l'efficacité énergétique	14
2.2. La consommation de l'énergie en Algérie	17
2.3. Les intérêts de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment	19
2.4. Les mesures appropriées à l'amélioration du confort thermique pour réduire la consommation de l'énergie dans le bâtiment	19
Conclusion.....	22

DEUXIEME CHAPITRE

CLIMAT ET CONFORT THERMIQUE

Introduction	23
1. Eléments de climatologie	23
1.1. Notions sur le climat	23
1.1.1. Le rayonnement solaire	24
1.1.2. La température de l'air	26
1.1.3. Le vent	26
1.1.4. L'humidité de l'air	27
1.2. Notions sur le microclimat	27
1.2.1. La nature du sol	28
1.2.2. L'altitude et le relief	29
1.2.3. Le climat en milieu urbain	29
1.3. Ensoleillement	31
1.3.1. La détermination de la position du soleil	31
1.3.2. Le diagramme solaire polaire	32
2. Confort thermique	34
2.1. Paramètres déterminants le confort thermique	34
2.1.1. La température de l'air ambiant	34
2.1.2. La température des parois	34
2.1.3. L'humidité relative de l'air	34
2.1.4. Le mouvement de l'air	35
2.1.5. Le métabolisme énergétique humain	35
2.1.6. Les vêtements	35
2.1.7. Les facteurs psychologiques et culturels.....	35
2.2. Les outils d'aide à la conception bioclimatique	36
2.2.1. Le diagramme bioclimatique du bâtiment	36
2.2.2. Les tables de Mahoney	38
Conclusion.....	39

TROISIEME CHAPITRE
LES EFFETS DE L'ORIENTATION DU BATIMENT
SUR LE CONFORT THERMIQUE

Introduction	40
1. Considérations climatologiques affectant le choix de l'orientation	41
2. Ensoleillement des façades	41
2.1. Intensité du rayonnement solaire sur une surface	41
2.2. Effet de l'orientation d'une surface sur l'intensité du rayonnement solaire reçu	42
2.3. Conditions de l'efficience de l'ensoleillement	43
2.3.1. Rôle des couleurs des surfaces externes	43
2.3.2. Rôle des propriétés thermiques des matériaux de construction	44
2.3.3. Rôle des protections solaires	45
2.4. L'inertie thermique	45
2.5. L'isolation thermique	46
2.5.1. Modes de déperditions de chaleur	46
2.5.2. Nature de l'isolant	46
2.5.3. Emplacement de l'isolant	47
2.5.4. Cas particulier des ponts thermiques	48
2.6. Les protections solaires	49
2.6.1. Les protections solaires fixes	49
2.6.2. Les protections solaires réglables	50
2.6.3. Les éléments architecturaux	51
2.6.4. La végétation	51
2.6.5. L'indicateur d'occultation solaire	52
3. Vent et ventilation naturelle	53
3.1. Définition et rôle du vent et de la ventilation	53
3.2. Mécanismes physiques de la ventilation	54
3.2.1. Le thermosiphon	54
3.2.2. La force du vent	55
3.3. Maitrise de la distribution de la vitesse de l'air à l'intérieur	55
3.4. La ventilation nocturne	57
4. La disposition des pièces selon leurs besoins thermiques	57
Conclusion	58

QUATRIEME CHAPITRE
LE LOGEMENT SOCIAL:
UN LEVIER POUR L'EFFICACITE ENERGETIQUE

Introduction	60
1. L'état de l'efficacité énergétique dans le logement	60
1.1. Cadre réglementaire et législatif de l'efficacité énergétique	60

1.1.1. Les lois	60
1.1.2. Les documents techniques réglementaires (DTR)	63
1.2. Aperçu sur les politiques du logement	63
2. Le logement social et l'efficacité énergétique	67
2.1. Définition du logement social et ses formules.....	67
2.2. Les intérêts de l'efficacité énergétique dans le logement social	68
3. ECOBAT : un programme pilote de logements sociaux économes en énergie	69
Conclusion	72
Conclusion de la première partie	74

DEUXIEME PARTIE

LES MESURES BIOCLIMATIQUES APPROPRIÉES POUR LE MAINTIEN DU CONFORT THERMIQUE DANS LES LOGEMENTS SOCIAUX CONSTRUITS A EL-TARF

Introduction de la deuxième partie	76
--	----

CINQUIEME CHAPITRE DESCRIPTION DU CAS D'ETUDE ET DE LA METHODOLOGIE ADOPTEE

Introduction.....	77
1. Description du cas d'étude	77
2. Description de la méthodologie adoptée	84
2.1. Rappel de la problématique et de l'hypothèse	84
2.2. Méthodologie	85
2.3. Moyens utilisés	85
2.4. Déroulement des mesures	87
2.5. Déroulement de la simulation	88
Conclusion	91

SIXIEME CHAPITRE ANALYSE DE L'EFFET DE L'ORIENTAION SUR LE CONFORT THERMIQUE

Introduction	92
1. Mesures des températures	92
1.1. La période d'été	92

1.1.1. Le séjour orienté au Nord-Est	93
1.1.2. Le séjour orienté au Nord-Ouest	94
1.1.3. Le séjour orienté au Sud-Est	95
1.1.4. Le séjour orienté au Sud-Ouest	96
1.2. La période d'hiver	97
1.2.1. Le séjour orienté au Nord-Ouest	97
1.2.2. Le séjour orienté au Sud-Est	99
1.2.3. Le séjour orienté au Sud-Ouest	100
1.3. L'évaluation du confort thermique dans les logements étudiés	101
2. Simulation	101
2.1. L'effet de l'orientation sur la température intérieure	101
2.1.1. La période d'été	101
2.1.2. La période d'hiver	103
2.2. L'effet de l'orientation sur la quantité du rayonnement solaire absorbé	104
Conclusion	105

SEPTIEME CHAPITRE

DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DE L'ENVELOPPE ADAPTEES AU CLIMAT D'EL-TARF

Introduction	107
1. Présentation de la région d'El-tarf	107
1.1. Situation de la wilaya d'El-tarf	107
1.2. Analyse des données climatiques	109
1.3. Analyse microclimatique	112
2. Identification des mesures bioclimatiques adaptées au climat d'El-tarf	115
2.1. Mesures bioclimatiques recommandées par les tables de Mahoney	115
2.2. Mesures bioclimatiques recommandées par le diagramme bioclimatique .	120
2.3. Etude de l'ensoleillement et dimensionnement des protections solaires	125
Conclusion	132
Conclusion de la deuxième partie	133
CONCLUSION GENERALE	135
BIBLIOGRAPHIE	141
ANNEXE 1: Extrait du cahier des charges relatif au concours national d'architecture pour 70 logements publics locatifs à haute performance énergétique à S'haoula	I
ANNEXE 2: Calcul des coordonnées solaires	IX

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Schéma des trois piliers du développement durable	13
Figure I.2: L'évolution de la production d'énergie primaire [1970-2030]	15
Figure I.3: Répartition de la consommation d'énergie finale selon les secteurs d'activité.....	17
Figure I.4: Répartition de la consommation d'électricité entre les différents secteurs d'activité	17
Figure I.5: Répartition de la consommation des produits gazeux entre les différents secteurs d'activité	18
Figure I.6: Répartition de la consommation d'énergie finale dans le secteur résidentiel	18
Figure I.7 : Stratégie du chaud pour la saison froide	21
Figure I.8 : Stratégie du froid pour la saison chaude	21
Figure II.1: La composition spectrale du rayonnement solaire	24
Figure II.2: La modification du rayonnement solaire intercepté par l'atmosphère terrestre	25
Figure II.3: La couche d'air traversée détermine l'intensité du rayonnement direct	25
Figure II.4: Une rose des vents pour un lieu donné	27
Figure II.5: Les brises de mer et de terre	29
Figure II.6: Représentation d'un profil de température type d'îlot de chaleur urbain	30
Figure II.7: Azimut et hauteur du soleil	32
Figure II.8. Le diagramme de la course solaire montrant l'azimut et la hauteur du soleil et leurs relations avec la déclinaison et le temps solaire	33
Figure II.9: Le diagramme bioclimatique	37
Figure III.1: Puissance solaire reçue en hiver et en été, selon la position de la façade	43
Figure III.2: Localisations des principaux ponts thermiques	48
Figure III.3: Des protections solaires fixes	50
Figure III.4: Des protections solaires réglables	50
Figure III.5: Comportement d'une protection solaire par rapport à la chaleur selon sa position	51

Figure III.6: L'indicateur d'occultation	52
Figure III.7: L'angle d'occultation horizontal (HSA) et l'angle d'occultation vertical (VSA)	53
Figure III.8: L'effet thermosiphon dans un bâtiment à plusieurs niveaux	54
Figure III.9: La concrétisation d'une cheminée pour augmenter la hauteur h de l'effet thermosiphon	54
Figure III.10: La variation de la charge motrice de l'effet thermosiphon dans chaque niveau avec la variation des hauteurs h des cheminées	54
Figure III.11: Répartition des variations de pression autour d'un bâtiment selon la direction du vent	55
Figure III.12: Exemples d'écoulement des flux d'air dans divers volumes	56
Figure III.13: Exemples d'écoulement dans diverses conditions d'ouvertures	56
Figure III. 14: Disposition des pièces selon leurs besoins thermiques dans des plans d'une maison solaire type.	58
Figure IV.1: La répartition des 600 logements à haute performance énergétique sur les différentes zones climatiques du pays	70
Figure V.1: La situation de la cité Gharci Amara	78
Figure V.2: Le plan de masse des 300 logements choisis pour l'étude.....	80
Figure V.3: Plan du 1 ^{er} étage.....	81
Figure V .4: La disposition des séjours étudiés dans l'ilot N°5	83
Figure V.5: L'orientation des séjours (A) et (C) par rapport à la course du soleil.....	83
Figure V. 6: L'orientation des séjours (B) et (D) par rapport à la course du soleil....	84
Figure V. 7: L'interface du logiciel ECOTECT v.5.5.....	86
Figure V. 8: La modélisation des pièces du bâtiment étudié dans le logiciel en zones thermiques.....	88
Figure V.9: Vues sur le bâtiment modélisé dans le logiciel.....	89
Figure VI .1: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Nord-Est par rapport à la limite supérieure du confort. Le 31 Aout 2015	93
Figure VI.2: Les variations de la température à l'extérieur et l'intérieur du séjour orienté au Nord-Ouest par rapport à la limite supérieure du confort. Le 31 Aout 2015	94
Figure VI.3: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Est par rapport à la limite supérieure du confort.	

Le 12 Septembre 2015	95
Figure VI.4: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Ouest par rapport à la limite supérieure du confort.	
Le 12 Septembre 2015	96
Figure VI.5: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Nord-Ouest par rapport à la limite inférieure du confort.	
Le 26 Janvier 2016	98
Figure VI.6: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Est par rapport à la limite inférieure du confort.	
Le 26 Janvier 2016	99
Figure VI.7: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Ouest par rapport à la limite inférieure du confort.	
Journée du 20 Février 2016	100
Figure VI.8: Variation de la température intérieure en fonction de l'orientation durant la période estivale. Journée du 19 Aout	102
Figure VI.9: Variation de la température intérieure en fonction de l'orientation durant la période hivernale. Journée du 16 Janvier	103
Figure VI.10: La quantité du rayonnement solaire absorbé selon l'orientation de la paroi extérieure durant le période estivale	104
Figure VI. 11: La quantité du rayonnement solaire absorbé selon l'orientation de la paroi extérieure durant le période hivernale	105
Figure VII.1: Carte de situation géographique de la wilaya d'El-Tarf	108
Figure VII.2: Le relief de la wilaya d'El-Tarf	109
Figure VII.3: Les variations de la température de l'air extérieur pour la période de 2005 à 2014	110
Figure VII.4: Les variations de l'humidité relative pour la période de 2005 à 2014..	111
Figure VII.5: Les variations de la vitesse du vent pour la période de 2005 à 2014...	111
Figure VII.6: Les variations des précipitations pour la période de 2005 à 2014	112
Figure VII.7: Carte illustrant les trois lacs disposés en arc de cercle autour de la ville d'El-Kala	113
Figure VII.8: Carte illustrant les paramètres agissant sur le microclimat du site d'étude	114
Figure VII.9: Le diagramme psychrométrique de la région d'El-Tarf	124

Figure VII. 10: La calculatrice des températures horaires pour la région d'El-Tarf	125
Figure VII. 11 : le diagramme solaire polaire de la région d'El-Tarf	128
Figure VII.12: L'indicateur d'occultation superposé au diagramme solaire pour déterminer les dimensions de la protection solaire pour l'orientation Sud.....	129
Figure VII. 13: L'indicateur d'occultation superposé au diagramme solaire pour déterminer les dimensions de la protection solaire pour l'orientation Est.....	130
Figure VII. 14: L'indicateur d'occultation superposé au diagramme solaire pour déterminer les dimensions de la protection solaire pour l'orientation Ouest.....	131

LISTE DES PHOTOS

Photo V.1 : L'environnement immédiat du projet objet de l'étude.....	79
Photo V.2 : L'aménagement extérieur d'un ilot.....	80
Photo V.3 : La façade principale des immeubles étudiés.....	82
Photo V.4 : La façade postérieure des immeubles étudiés.....	82
Photo V.5: La centrale météo avec le capteur extérieur sans fil utilisée dans les mesures.....	86

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1: Pourcentage du rayonnement solaire intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence	41
Tableau III.2: Pourcentage de l'énergie solaire absorbée en fonction de la couleur de l'enduit	44
Tableau III.3: Comparaison entre les avantages et les inconvénients de l'isolation intérieure et extérieure.....	47
Tableau IV.1: La part des secteurs économiques et sociaux du budget d'investissement (1967- 1977)	64
Tableau V.1: Les propriétés thermiques des matériaux de construction du logement étudié	90
Tableau VI. 1: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Nord-Est par rapport à la limite supérieure du confort. Le 31 Aout 2015.....	93
Tableau VI. 2: les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Nord-Ouest par rapport à la limite supérieure du confort. Le 31 Aout 2015.....	94
Tableau VI. 3: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Est par rapport à la limite supérieure du confort. Le 12 Septembre 2015.....	95
Tableau VI. 4: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Ouest par rapport à la limite supérieure du confort. Le 12 Septembre 2015.....	96
Tableau VI. 5: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Nord-Ouest. Le 26 Janvier 2016	98
Tableau VI. 6: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Est . Le 26 Janvier 2016	99
Tableau VI. 7: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Ouest . Le 20 Février 2016	100
Tableau.VII. 1: Les isothermes représentant les limites de la zone de confort pour la région d'El-tarf	126
Tableau VII.2: Valeurs des coordonnées solaires de la région d'El-tarf.....	127

INTRODUCTION GENERALE

I- Introduction

Le développement durable puise ses origines dans les années 1970 avec le constat de la dégradation de l'environnement, la raréfaction des ressources naturelles et la propagation de la pauvreté. Il a été défini pour la première fois en 1987 dans le rapport Brundtland comme «un développement qui répond aux besoins du présent, sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.»¹. La concrétisation du développement durable exige la conciliation de l'efficacité économique, l'équité sociale et la protection de l'environnement; aucun de ces trois piliers ne devrait être favorisé ou dévalué au détriment des autres.² Depuis le sommet de la terre à Rio de Janeiro du 3 au 4 juin 1992 et à l'instar des pays du monde, l'Algérie s'est engagée dans une politique de développement durable, elle est tenue de répondre dans chaque projet de développement à cette triple exigence du développement durable.

De nombreux risques, que le développement durable tente de résoudre, sont imputables à la consommation abusive des énergies fossiles. En effet, ces sources d'énergie, qui se sont formées durant des millions d'années dans les profondeurs de la terre, sont aujourd'hui menacées par l'épuisement après un siècle et demi de consommation excessive. Par ailleurs, l'utilisation massive des combustibles fossiles produit de grandes quantités de gaz à effet de serre qui se concentrent dans l'atmosphère. Ces émissions accélèrent le réchauffement climatique de la planète avec ses conséquences imprévisibles sur l'environnement (recul des glaciers, multiplication des sécheresses, canicules, inondations, cyclones, etc.) et sur la société (famines, maladies, migrations massives, conflits, etc.).³

La conférence mondiale sur les changements climatiques, tenue à Paris du 30 novembre au 12 Décembre 2015 en présence d'environ 195 états, impose aux pays signataires sur l'accord final d'atténuer les émissions en gaz à effet de serre par le développement des énergies renouvelables, la lutte contre la déforestation, et l'investissement dans l'efficacité énergétique.⁴

L'efficacité énergétique se réfère à la réduction de la consommation d'énergie sans toutefois provoquer une diminution du niveau du confort ou de la qualité de service dans le bâtiment, et de la qualité et la quantité de la production dans l'établissement industriel.⁵ En Algérie, l'efficacité énergétique est appelée à jouer un rôle important dans le contexte énergétique national, caractérisé par une forte croissance de la consommation tirée, notamment, par le secteur du bâtiment avec la construction de nouveaux logements, la réalisation d'infrastructures d'utilité publique et la relance de l'industrie.

¹ **Commission mondiale sur l'environnement et le développement**, *Notre avenir à tous*, 1987, p.39.

² **BESANCENOT** François, *Territoire et développement durable : Diagnostic*, éditions l'Harmattan, Paris, 2008, p.225.

³ **ROJEY** Alexandre, *Energie et climat, réussir la transition énergétique*, éditions Technip, Paris, 2008, p.80.

⁴ <http://www.cop21.gouv.fr/comprendre/>. Consulté en Février 2016.

⁵ **SENI** Carole-Anne, *l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel dans les pays du sud et de l'est de la méditerranée*, idées pour le débat, 2008, N°14, France, p. 6.

Les retombées économiques et sociales de l'intégration de l'efficacité énergétique dans les différents secteurs d'activités sont multiples. Cette intégration permet d'améliorer le cadre de vie du citoyen, de conserver l'énergie avec les implications bénéfiques sur l'économie nationale, en plus de la préservation de l'environnement.

L'adoption par le gouvernement du programme national sur l'efficacité énergétique (2016-2030), réaffirme cette dernière comme une priorité nationale. Dans le secteur du bâtiment, le programme vise la pénétration massive des équipements et des appareils performants sur le marché local, l'encouragement de l'isolation thermique des bâtiments existants et l'introduction des mesures adéquates au niveau de la conception des bâtiments neufs.⁶

Selon le bilan énergétique national de l'année 2012, le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie avec une part de 40,34%,⁷ cet énergie est consommée sans retour de plus-value de richesse comme c'est le cas de l'industrie, il est donc un secteur énergivore par excellence. Une partie de cette énergie est consommée par les équipements de chauffage et de climatisation pour compenser le manque de confort thermique engendré par une conception inadaptée au contexte climatique local.⁸

Néanmoins, les exemples de l'architecture vernaculaire démontrent que nos ancêtres savaient maintenir un environnement intérieur confortable avant le développement des équipements actuels de chauffage et de climatisation. L'architecture vernaculaire typique d'une aire géographique et culturelle donnée est le fruit d'un savoir faire séculaire transmis et amélioré de génération en génération. Les formes, les matériaux et les techniques de l'architecture vernaculaire ont été dicté par le climat local et les avantages des ressources naturelles localement disponibles.⁹ Mais, avec la découverte des ressources d'énergies fossiles et la production massive des logements à partir de la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, les architectes ont confié la mission du maintien du confort thermique aux équipements de chauffage et de climatisation pour se concentrer davantage sur les aspects formels et structurels du bâtiment.¹⁰

L'architecture bioclimatique, émergée aux Etats Unis après les crises pétrolières des années 1970, vise l'amélioration du confort thermique dans les bâtiments naturellement tout en réduisant la consommation de l'énergie consacrée pour le chauffage et la climatisation. Elle s'inspire des savoirs empiriques de l'architecture vernaculaire qu'elle les a développé par la science pour les adapter à nos besoins actuels.¹¹

Izard et Audrier-Cross définissent l'architecture bioclimatique comme: « *une architecture conçue en fonction du climat du site auquel elle est destinée; l'adaptation au climat sous-tend qu'il est possible de maintenir le confort thermique et lumineux par des voies naturelles en maîtrisant vraiment les phénomènes d'échange et de transformation qui*

⁶ **Ministère de l'énergie et des mines**, *Le programme national de l'efficacité énergétique (2016-2030)*, p.1, 2. Disponible sur le site : http://portail.cder.dz/IMG/article_PDF/article_a4445.pdf. Consulté en Février 2016.

⁷ **Ministère de l'énergie et des mines**, *Bilan énergétique national de l'année 2012*, édition 2013, p.24.

⁸ **HEBBACHE** Souhila, émission ECOLO : l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment, radio Algérie international, jeudi 25/02/2016.

⁹ **GAUZIN MULLER** Dominique, « Une nouvelle approche de l'acte de bâtir, l'architecture éco-responsable », *Panoramas*, p.1.

¹⁰ **COURGEY** Samuel, **OLIVA** Jean-Pierre, *la conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, édition terre vivante, Mens, 2007, p. 17.

¹¹ **COURGEY** Samuel, **OLIVA** Jean-Pierre, 2007, p. 19.

se produisent à travers l'enveloppe des bâtiments. La conception bioclimatique implique donc que l'architecte connaisse les lois physiques qui réagissent ses échanges, ainsi que les paramètres climatiques qui influent sur ses phénomènes.»¹²

Dans la conception bioclimatique, l'enveloppe du bâtiment n'est pas seulement une frontière entre l'espace habitable et l'extérieur, mais, elle est aussi un organe d'échanges et de transformations des éléments du climat extérieur changeants et parfois inconfortables en un climat intérieur confortable.¹³ Autrement dit, l'enveloppe doit permettre de maintenir un environnement intérieur confortable en profitant des éléments favorables du climat tout en se protégeant de ses éléments défavorables.

Plus de 40 ans après le premier choc pétrolier, le savoir de l'architecture bioclimatique s'est affiné. L'approche première largement fondée sur des tâtonnements et des approximations a laissé place à l'expérience et l'utilisation de méthodes et d'outils de plus en plus performants et précis.¹⁴

II- Problématique

L'Algérie connaît une production massive des logements pour satisfaire la forte demande cumulée pendant des années. Plus d'un million de logements ont été programmé par l'état dans chacun des trois programmes quinquennaux successifs lancés durant la période (2005-2019). Ces programmes de logements se caractérisent par la diversité des formules de financement.¹⁵

L'effort colossal de l'état en matière de production de logements a réussi à la résolution de la crise du logement et à l'amélioration des conditions de vie pour des millions d'algériens. Cependant, la pression sociale a poussé l'état à se concentrer davantage sur la production massive des logements dans les délais les plus brefs, les exigences de l'efficacité énergétique étaient totalement négligées, ce qui justifie la consommation élevée du secteur qui représente 30.41% du total national de l'énergie consommée.¹⁶

Cette consommation de l'énergie connaîtra une augmentation exponentielle dans les prochaines années au regard des programmes de logements lancés à l'échéance 2019, ce qui engendrera des investissements coûteux pour la fourniture de la quantité demandée de l'énergie. La situation sera plus grave lorsque cette augmentation exponentielle de la consommation coïncidera avec la raréfaction des énergies fossiles.

A l'origine de la consommation élevée du secteur du logement, le manque de confort thermique qui pousse les habitants à utiliser les équipements de chauffage et de climatisation. Néanmoins, le marché algérien est inondé d'équipements bon marché qui consomment le plus d'énergie et coûtent donc plus chers à long terme. Ceci revient à l'absence d'un système de classement des équipements en fonction de leur consommation électrique, à l'image du modèle existant à l'étranger qui classe les équipements de la

¹² AUDRIER-CROSS A., IZARD J., «Types de temps en climat méditerranéen français et conception architecturale bioclimatique», *Méditerranée*, 1980, N°4, p. 67-68.

¹³ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, 2007, p. 36.

¹⁴ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, 2007, p. 207.

¹⁵ **Ministère de l'habitat et de l'urbanisme**, Les mégaprojets en Algérie, le secteur de l'habitat et de l'urbanisme, éditions centre national de documentation de presse et d'information, 2010, N°1, p.10-21.

¹⁶ **Ministère de l'énergie et des mines**, Bilan énergétique national de l'année 2012, édition 2013.

catégorie "A" jusqu' à la catégorie "G". C'est pourquoi les foyers algériens consomment presque dix fois plus d'électricité par rapport aux normes internationales et deux fois plus que la moyenne des pays maghrébins.¹⁷

Par ailleurs, une partie de la chaleur produite par le chauffage (ou la fraîcheur générée par le climatiseur) s'échappe à travers l'enveloppe non isolée qui constitue une passoire thermique. Il faut donc chauffer ou refroidir plus pour compenser la chaleur qui s'échappe à travers les enveloppes.¹⁸

Une partie de ces programmes de logements est consacrée au logement social, qui est fourni par l'état pour les populations qui n'ont pas les moyens d'acquérir un logement sur le marché privé en raison de leur faible revenu.¹⁹ Pour les populations les plus défavorisées, l'état prévoit des logements sociaux à caractère locatif, la location appliquée et gérée par l'état est très faible comparée à celle appliquée aux logements du secteur privé parce qu'elle est subventionnée par l'état.²⁰

L'accès à des logements sociaux décents et abordables constitue une condition préalable à l'accès à une vie digne pour les familles à faible revenu qui habitaient auparavant dans des logements surpeuplés et indécents. Cependant, Les habitants des logements sociaux éprouvent des difficultés à atteindre les conditions normales de confort en raison de leur incapacité, malgré la nécessité, d'acheter des équipements de chauffage ou de climatisation performants. Le sous-chauffage conduit à de nombreux désordres dans le logement (humidité, insalubrité) avec des conséquences sur la santé (bronchite, asthme et difficultés respiratoires). L'utilisation des équipements précaires augmente l'insécurité dans les logements (incendies, asphyxies).²¹ Par ailleurs, les dépenses consacrées au paiement des factures d'énergie, pour compenser le manque de confort thermique, constituent une part importante des faibles revenus des habitants de ces logements.

Les difficultés auxquelles sont confrontés les habitants à faible revenu des logements sociaux, en raison du manque du confort thermique, nous incitent en tant qu'architectes à chercher à améliorer le confort thermique à travers la conception appropriée de ces logements. Nous ne devons pas restés passifs vis-à-vis des logements sociaux qui se conçoivent dans un contexte plutôt financièrement économique dans la réalisation pour le maître d'ouvrage, mais nullement pour les habitants, surtout lorsqu'il s'agit de ceux de faible revenu. Ceci nous amène à se poser la question: quelles sont les mesures architecturales permettant d'améliorer le confort thermique dans les logements sociaux naturellement tout en réduisant la consommation d'énergie?

L'approche bioclimatique constitue sans doute la solution à l'amélioration du confort thermique et l'économie de l'énergie dans le logement social parce qu'elle permet de

¹⁷ Le quotidien d'Oran, «La consommation électrique des foyers algériens est 10 fois supérieure à la norme», le 3 février 2016.

¹⁸ **HEBBACHE** Souhila, émission ECOLO : l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment, radio Algérie international, jeudi 25/02/2016.

¹⁹ **SAFAR ZITOUN** Madani et al, *Habitat social au Maghreb et au Sénégal, gouvernance urbaine et participation en société*, éditions L'Harmattan, Coll. « Habitat et sociétés », Paris, 2009, p. 67.

²⁰ **Ministère de l'habitat et de l'urbanisme**, Les mégaprojets en Algérie, le secteur de l'habitat et de l'urbanisme, éditions centre national de documentation de presse et d'information, 2010, N°1, p.95.

²¹ **LETARD** Valérie, Agir contre la précarité énergétique, une boîte à outils pour les collectivités locales et territoriales, 20 p.

maintenir un environnement intérieur confortable d'une manière naturelle grâce à l'adaptation de la conception du bâtiment aux caractéristiques du climat local.

III- Hypothèse

Parmi les éléments climatiques, la quantité de l'énergie solaire et le régime des vents dominants auxquels le bâtiment est exposé varient selon son orientation. Une orientation favorable au confort thermique doit permettre d'exploiter les rayons solaires pour le chauffage en hiver sans occasionner des surchauffes en été, et d'exploiter les vents dominants pour la ventilation naturelle en été, ce qui réduit considérablement l'énergie consommée pour le chauffage et la climatisation. Par ailleurs, la quantité d'énergie solaire et le régime des vents dominants sont modifiés pendant leur passage à travers l'enveloppe du bâtiment. Par conséquent, les caractéristiques de l'enveloppe doivent les adapter aux exigences du confort thermique.

Ainsi pour remédier au manque du confort thermique dont souffrent les habitants à faible revenu des logements sociaux, nous proposons l'hypothèse suivante : L'amélioration du confort thermique dans les logements sociaux tout en réduisant leur consommation d'énergie passe par l'orientation adéquate et l'adaptation de la conception de leur enveloppe aux caractéristiques du climat local.

IV- Objectifs

Les objectifs visés dans ce mémoire élaboré dans le cadre de l'initiation à la recherche scientifique sont:

- La contribution modeste à l'enrichissement des connaissances sur l'amélioration du confort thermique et l'économie d'énergie dans le bâtiment, étant donné que les recherches universitaires sont importantes dans cette phase d'expérimentation.
- La sensibilisation des acteurs du logement sur l'importance de l'amélioration du confort thermique naturellement tout en réduisant la consommation d'énergie pour les habitants à faible revenu des logements sociaux.
- La sensibilisation des acteurs du logement sur des mesures gratuites ou à faible coût appartenant à l'architecture bioclimatique, telles que l'orientation du bâtiment, qui ne nécessitent que l'ingéniosité de l'architecte, mais elles économisent l'énergie et les dépenses y consacrées sur toute la durée d'occupation du logement.

V- Méthode d'approche

La méthodologie que nous avons suivie pour vérifier la validité de l'hypothèse est composée de deux étapes complémentaires:

- *Une étude théorique*

Cette étape consiste en une revue de littérature à partir de la consultation des documents en rapport avec la question de recherche. Cette revue de littérature est indispensable pour fournir les informations nécessaires à la compréhension du sujet en

utilisant les recherches antérieures, et surtout pour orienter le choix de l'hypothèse que la partie pratique vise à vérifier.

Nous débutons l'étude théorique par l'explication de l'importance du développement durable dans la résolution des problèmes environnementaux engendrés par le mode de développement suivi depuis le siècle dernier. Ensuite, nous concentrons sur l'opposition entre le développement durable et la consommation abusive des énergies fossiles, ainsi que la nécessité de réduire la consommation d'énergie d'une manière urgente et significative par l'investissement dans l'efficacité énergétique. Dans le secteur du bâtiment, l'efficacité énergétique implique l'amélioration du confort thermique par l'application de la démarche bioclimatique, nous essayons d'expliquer les principes de ce courant architectural.

Dans ce sens, l'architecture bioclimatique permet de maintenir un environnement intérieur confortable tout en réduisant la consommation de l'énergie grâce à l'adaptation de la conception du bâtiment aux caractéristiques du climat local. Par conséquent, nous tentons d'approfondir nos connaissances sur les éléments climatiques ainsi que les outils nécessaires pour assister l'architecte dans leur intégration dans la conception du bâtiment.

L'exploitation des rayons solaires pour le chauffage et des vents dominants pour la ventilation naturelle est conditionnée par l'orientation du bâtiment. Par ailleurs, la quantité des rayons solaires et les régimes des vents dominants sont modifiés pendant leur passage à travers l'enveloppe du bâtiment, celle-ci doit les adapter aux exigences du confort thermique. A cet effet, nous exposons les critères de sélection de l'orientation adéquate, puis, nous étudions les effets des caractéristiques de l'enveloppe sur l'efficacité de l'ensoleillement et de la ventilation naturelle.

En Algérie, les exigences d'efficacité énergétique et de confort thermique sont complètement négligées dans un contexte marqué par une production massive des logements. Cependant si cette stratégie a réussi à la résolution rapide de la crise du logement, sur le moyen et le long terme, l'accroissement de la consommation d'énergie aura certainement des retombées négatives sur l'économie et l'environnement. Nous tentons de déterminer les causes et les conséquences du désintérêt envers l'efficacité énergétique. Dans le secteur du bâtiment, les habitants des logements sociaux sont les grandes victimes de cette situation. En effet, ils trouvent des difficultés à rendre leurs logements confortables et les dépenses consacrées aux factures d'énergies constituent une part importante de leur faible revenu. Par ailleurs, l'attribution de logements sociaux inconfortables et énergivores est en opposition avec le développement durable que l'Algérie s'est engagée dans son application. Il est donc nécessaire de revoir la conception des logements sociaux du point de vue du confort thermique par l'adoption de la démarche bioclimatique. Par conséquent, nous focalisons sur les intérêts de l'efficacité énergétique dans les logements sociaux.

- Une étude pratique

Dans le cadre de notre recherche sur l'amélioration du confort thermique dans les logements sociaux à travers l'orientation adéquate et l'adaptation des caractéristiques de l'enveloppe au climat local, l'étude pratique a été conduite selon deux étapes distinctes.

Dans un premier temps, des mesures de températures sont effectuées à l'extérieur et à l'intérieur des quatre logements de différentes orientations en vue de connaître l'effet de l'orientation par rapport au soleil sur les variations de la température intérieure. Ces mesures sont complétées par la simulation thermique par l'utilisation du logiciel ECOTECH afin de

déterminer l'orientation optimale parmi les huit orientations principales, tout en évitant l'influence des habitants sur les variations des températures intérieures.

Malgré que les logements sociaux orientés d'une manière arbitraire se trouvent partout, les mesures des températures ont été effectuées dans des logements sociaux situés à la wilaya d'El-tarf en raison de notre connaissance du territoire de la wilaya et des membres de l'office de promotion et de gestion immobilière, ce qui nous a beaucoup facilité le choix entre plusieurs projets de logements. Le choix s'est porté sur un projet de logements publics locatifs situé à la cité Gharci Amara à l'ouest de la ville d'El-kala. Les logements du projet sont orientés selon quatre orientations différentes proches des orientations cardinales.

Dans un second temps, les données climatiques relevées de la station météorologique d'El-tarf sont analysées pour mieux connaître les caractéristiques du climat méditerranéen maritime qui caractérise cette région et les contraintes thermiques auxquelles sont confrontés ses habitants. Ces données climatiques sont ensuite interprétées par les diagrammes et les tables bioclimatiques afin de déterminer les mesures bioclimatiques appropriées au climat de la région d'El-tarf, afin d'en déduire les caractéristiques de l'enveloppe à appliquer dans la conception des logements sociaux.

VI- Contraintes rencontrées

La première contrainte est liée au logiciel de simulation thermique du fait que nous ne sommes pas habitués à utiliser ce type de logiciel. En effet, après avoir pris du temps à s'entraîner sur le logiciel en vue de le maîtriser, nous avons modélisé le bâtiment, puis nous avons voulu démontré par la simulation qu'il est possible d'améliorer le confort thermique dans le logement public locatif étudié avec une orientation appropriée et une enveloppe adaptée au climat local. Pour cela, nous avons vérifié l'effet de l'orientation sur les variations de la température intérieure et la quantité de l'énergie solaire absorbée, puis nous avons passé à l'effet des caractéristiques de l'enveloppe (la couleur externe, les protections solaires, la ventilation) sur les variations de la température intérieure. Par rapport au facteur isolation, nous avons constaté une aberration. Après plusieurs essaies, nous avons décidé de ne retenir des résultats de la simulation que ce qui concerne l'orientation parce qu'ils s'accordent avec des recherches menées sur le même sujet. Quant aux caractéristiques de l'enveloppe, nous nous sommes limités aux résultats de l'interprétation des données climatiques par les diagrammes.

La deuxième contrainte concerne la répétition des mesures plusieurs fois en raison du manque d'expérience sur le déroulement des mesures, le comportement des habitants qui influe considérablement sur les températures mesurées surtout par l'ouverture et la fermeture des fenêtres et des persiennes, et le refus de certains habitants d'entrer chez eux des appareils qu'ils ne connaissent pas.

VII- Structure du mémoire

Ce mémoire est structuré en deux parties résumées comme suit:

- *La première partie* consiste en une recherche bibliographique à propos de l'amélioration du confort thermique dans les logements sociaux et sa contribution au développement durable, à travers une orientation adéquate et l'adaptation du logement aux caractéristiques

du climat local. Elle est divisée en quatre chapitres:

- *Le premier chapitre - Développement durable et efficacité énergétique dans le bâtiment*- traite l'importance de l'efficacité énergétique dans le bâtiment dans la concrétisation du développement durable, et les mesures relevant de l'architecture bioclimatique nécessaires pour l'amélioration du confort thermique.

- *Le deuxième chapitre - Climat et confort thermique*- expose les éléments climatiques à prendre en considération dans la conception du bâtiment, leur influence sur le confort thermique, ainsi que les outils développés pour assister l'architecte dans l'interprétation des données climatiques pour déduire les mesures architecturales adaptées aux spécificités climatiques de la région où le projet est prévu.

- *Le troisième chapitre - Les effets de l'orientation du bâtiment sur le confort thermique*- est consacré aux critères de sélection de l'orientation adéquate par rapport au soleil et aux vents dominants, puis à l'influence des caractéristiques de l'enveloppe sur l'efficacité de l'ensoleillement et des vents dominants.

- *Le quatrième chapitre- Le logement social: un levier pour l'efficacité énergétique*- traite la négligence de l'efficacité énergétique et du confort thermique dans le bâtiment et ses conséquences, puis il focalise sur les intérêts de l'intégration de l'efficacité énergétique dans le logement social, et les mesures architecturales et incitatives qui doivent accompagner ce type de projet.

- *La deuxième partie* consiste en un travail pratique consacré d'abord à l'étude de l'effet de l'orientation sur les variations de la température intérieure dans des logements publics locatifs situés à EL-kala, puis à la détermination des caractéristiques de l'enveloppe adaptée au climat d'El-tarf. Elle est divisée en trois chapitres:

- *Le cinquième chapitre - Description du cas d'étude et de la méthodologie adoptée*- donne une description détaillée du projet choisis pour l'étude pratique et de la méthodologie adoptée pour la vérification de l'hypothèse.

- *Le sixième chapitre -Analyse de l'effet de l'orientation sur le confort thermique*- est consacré à l'analyse des variations des températures mesurées à l'extérieur et à l'intérieur des logements étudiées pour connaître l'effet de l'orientation sur les variations de la température intérieure, puis à l'analyse des résultats de la simulation sur les variations de la température intérieure et de la quantité de l'énergie solaire absorbée pour déterminer l'orientation adéquate.

- *Le Septième chapitre - Détermination des caractéristiques de l'enveloppe adaptées au climat d'El-tarf*- est consacré à l'analyse des données climatiques d'El-tarf puis à leur interprétation par les diagrammes bioclimatiques afin d'en déduire les caractéristiques de l'enveloppe des logements sociaux prévus dans cette région.

Le mémoire s'achève par une conclusion générale qui contient un rappel de la problématique, des éléments essentiels de l'étude théorique, les résultats de l'étude pratique, et un ensemble de recommandations.

PREMIERE PARTIE

L'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE LOGEMENT SOCIAL: UNE CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT DURABLE

Après la deuxième guerre mondiale, les pays développés ont connu une forte croissance économique et une amélioration des conditions de vie jamais connue auparavant. Cette forte croissance a été rendu possible grâce à l'exploitation intensive des ressources énergétiques fossiles, qui étaient abondantes et à faible coût à cette époque.

Le secteur du bâtiment, détruit par la guerre, a connu une production massive et rapide grâce au développement des procédés industriels de construction pour répondre à la forte demande en logements. Les connaissances empiriques de l'architecture vernaculaire sur le maintien du confort thermique par l'adaptation du bâtiment au climat, à l'environnement et aux ressources locales ont été complètement abandonnées. Le maintien du confort thermique dans les bâtiments a été confié aux appareils de chauffage et de climatisation qui étaient en plein essor et développement.

Mais, à partir des années 1970, les alertes des scientifiques se sont multipliées sur les dégâts engendrés par la consommation abusive des énergies fossiles sur l'environnement et les réserves de ces ressources non renouvelables. Par ailleurs, si les niveaux de vie ont été largement améliorés dans les pays développés, des milliards d'individus connaissent une pénurie dans de nombreux domaines. C'est dans ce contexte qu'apparaît le développement durable comme un mode de développement conciliant le développement social et la protection de l'environnement au développement économique.

Le premier chapitre rappelle l'importance du développement durable pour la résolution des problèmes environnementaux et sociaux engendrés par le mode de développement suivi depuis le siècle dernier. Puis, il montre l'opposition de la consommation abusive des énergies fossiles, le moteur de ce mode de développement, avec le développement durable en raison de ses atteintes à la santé de l'homme et à l'environnement, ce qui exige de réduire la consommation de ces ressources énergétiques d'une manière urgente et significative. Dans le secteur du bâtiment, l'énergie destinée au chauffage et à la climatisation peut être réduite grâce à l'amélioration du confort thermique par l'application des principes de l'architecture bioclimatique, nous essayons donc d'expliquer les origines et les principes de ce courant architectural.

Le deuxième chapitre présente les éléments climatiques à prendre en compte pour connaître les caractéristiques climatiques de la région d'implantation du bâtiment. Ensuite, il expose les méthodes établis pour assister les architectes dans l'intégration des caractéristiques climatiques dans la conception du bâtiment.

Le troisième chapitre traite l'orientation du bâtiment en tant qu'une mesure fondamentale de l'architecture bioclimatique puisque c'est elle qui détermine son exposition à l'énergie solaire et aux vents dominants. Nous étudions donc les critères de choix de l'orientation optimale par rapport au soleil et aux vents dominants, puis nous détaillons les caractéristiques de l'enveloppe qui contrôlent la quantité d'énergie solaire et les régimes des flux d'air pénétrant dans le bâtiment.

Le quatrième chapitre est consacré à l'efficacité énergétique dans le secteur du logement social en Algérie. Après un aperçu sur le cadre réglementaire régissant l'efficacité énergétique dans le bâtiment, et un autre aperçu sur les politiques du logement, nous essayons de déterminer les causes de la négligence de l'efficacité énergétique dans la conception des bâtiments et ses conséquences. Ensuite, nous énumérons les intérêts de l'intégration de l'efficacité énergétique dans la conception des logements sociaux, puis nous décrivons les mesures qui ont accompagné la réalisation du programme ECOBAT qui constitue le premier projet de logements sociaux économes en énergie.

PREMIER CHAPITRE

DEVELOPPEMENT DURABLE

ET EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE BATIMENT

INTRODUCTION

À la fin du 20^{ème} siècle, les alertes se multiplient sur le développement économique accéléré dans les pays industrialisés. Si dans ces pays, le mode de développement suivi a conduit à une élévation du niveau de vie jamais connu auparavant, dans les autres régions du monde, il est responsable de la propagation de la pauvreté, des famines, des maladies, la destruction de l'environnement et la raréfaction des ressources naturelles, etc. C'est dans ce contexte qu'apparaît le développement durable comme un nouveau mode de développement conciliant le développement social et la protection de l'environnement au développement économique.

L'énergie est un moyen indispensable pour le développement économique et social. Cependant, la consommation abusive des sources d'énergie est à l'encontre du développement durable. Plusieurs problèmes environnementaux avec des prolongements sociaux sont imputables à la consommation abusive de l'énergie. Ces conséquences exigent la réduction de la consommation des sources actuelles d'énergie et le développement des sources alternatives plus respectueuses de l'environnement et de la société.

Après un rappel de l'origine et la définition du développement durable, nous focalisons sur l'importance de l'efficacité énergétique, particulièrement dans le secteur du bâtiment, pour la concrétisation du développement durable, et les mesures appropriées à cette fin.

1. LE DEVELOPPEMENT DURABLE : SEULE OPTION POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT.

La coopération mondiale devient nécessaire pour faire face aux nombreux problèmes environnementaux parmi lesquels, ceux qui nous touchent le plus, le réchauffement climatique et la destruction de la couche d'ozone. Aucun état ne peut prétendre les résoudre tout seul.

Les scientifiques conscients de la dégradation de l'environnement ont exercé une pression continue sur les responsables politiques des pays industrialisés pollueurs. Cette pression a conduit à la mobilisation de la communauté internationale qui, par le biais de l'organisation des nations unies, a adopté des résolutions et organisé des conférences internationales qui ont abouti au concept du développement durable.

1.1. Définition du développement durable

La définition la plus citée est celle extraite du rapport dit «Rapport Brundtland», connu sous l'intitulé «*Notre avenir à tous*» publié en 1987 par une commission internationale pour l'environnement et le développement.

Enoncé de la définition: " *Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion :*

- *le concept de «besoins», et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité.*

- *L'idée des «limitations» que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir." ¹.*

Une autre définition commune, reprise régulièrement, consiste en une représentation géométrique du développement durable en trois sphères d'égale importance qui s'entrecroisent : l'une économique, l'autre sociale et la troisième environnementale. François Besancenot, auteur d'un livre consacré au développement durable, explique les liens qui unissent ces différentes sphères : l'équitable, le vivable, le viable, et le durable.

- **L'équitable** représente les liens entre les sphères sociale et économique. Il exprime l'impossibilité pour le développement économique de se concevoir aujourd'hui et demain s'il ne prend pas en compte le progrès social et la lutte contre les inégalités. Pour cela, il convient d'œuvrer pour une répartition équitable des richesses.

- **Le viable** s'obtient à condition que l'environnement satisfasse les besoins des sociétés et que celles-ci respectent l'environnement.

- **Le viable** implique que les réserves en ressources naturelles se maintiennent, et donc que l'économie cherche à renouveler ces mêmes ressources pour les préserver.

- **La durabilité** fait la synthèse des critères précédemment cités. Seule la présence de l'équitable, du vivable et du viable, agissant de manière harmonieuse, garantira la durabilité. ²

¹ **La commission mondiale sur l'environnement et le développement**, *Notre avenir à tous*, 1987, p.39.

² **BESANCENOT** François, *Territoire et développement durable : Diagnostic*, éditions l'Harmattan, Paris, 2008, p.225.

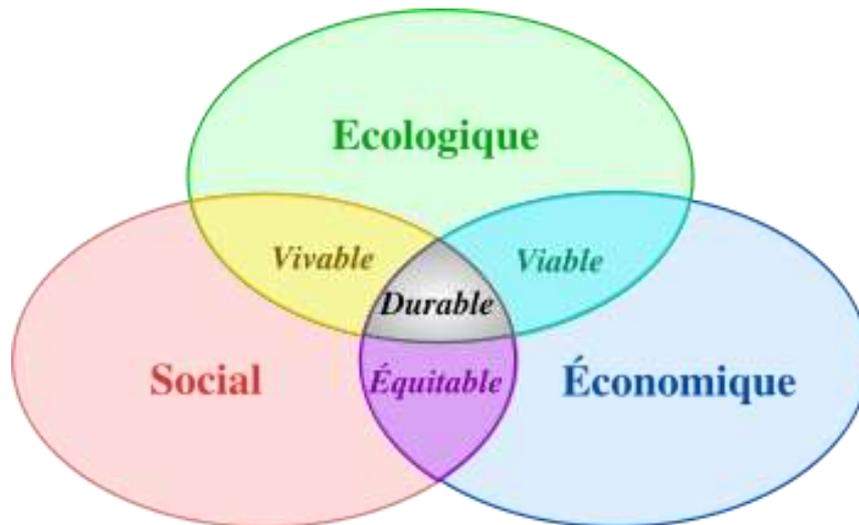


Figure I.1 : Schéma des trois piliers du développement durable
(Source : Encyclopédie libre [en ligne] : www.wikipédia.fr)

1.2. Genèse du développement durable

L'expression "Développement durable" est le nom d'un concept c'est-à-dire une idée dont la genèse est passée par trois étapes :

- Celle des années 1970

C'est l'étape de la prise de conscience du problème par les scientifiques, prise de conscience concrétisée lors de la conférence de Stockholm sur l'environnement en 1972 et les travaux du Club de Rome juste après, par la publication de leur ouvrage "Halte à la croissance".

- Celle des années 1980

C'est l'étape qui a vu naître la prise de conscience des organismes internationaux notamment l'organisation des nations unies avec le lancement des programmes: Plan des Nations Unies pour le Développement (PNUD) et Plan des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). C'est précisément en 1987 qu'est né le concept du développement durable et présenté sous la forme d'un rapport conçu par une commission mondiale sur l'environnement et le développement sous la direction de Mme Gro Harlem Brundtland (rapport Brundtland).

- Celle des années 1990

Celle-ci est cruciale puisque c'est celle de la diffusion et de la sensibilisation des gouvernements et élus locaux du concept. En un mot, c'est celle du passage du concept à l'application même. Cette étape est marquée par la tenue de la conférence de Rio de Janeiro en 1992, à laquelle aient participé 140 chefs d'état.³

³ CHARLOT-VALDIEU C., OUTREQUIN P., *Développement durable et renouvellement urbain : des outils opérationnels pour améliorer la qualité de vie dans nos quartier*, éditions l'Harmattan, Paris, 2006, p.10.

Cet aperçu sur le développement durable peut suffire, nous semble-t-il, pour souligner le caractère planétaire et l'importance qu'il revêt, mais, aussi et surtout, les engagements que notre pays doit honorer envers la communauté internationale.

L'Algérie a ratifié plusieurs accords mondiaux concernant le développement durable et la protection de l'environnement; elle doit donc appliquer le contenu de ces accords à l'échelle nationale et locale. C'est dans ce cadre que sont nés plusieurs organismes et conçus plusieurs textes régissant: la protection de l'environnement, du littoral, des forêts, des espaces verts, du patrimoine, la maîtrise de l'énergie, les énergies renouvelables, la gestion des déchets, etc.

2. L'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE BATIMENT : UNE CONDITION ESSENTIELLE A LA CONCRETISATION DU DEVELOPPEMENT DURABLE

2.1. Le rapport entre le développement durable et l'efficacité énergétique

Le développement durable vise la mise à la disposition du plus grand nombre d'individus et d'une manière équitable des ressources naturelles nécessaires au développement économique et social dans le respect de l'environnement. Néanmoins, ces ressources doivent être exploitées rationnellement afin de préserver les potentialités du développement pour les générations futures.

Et parmi ces ressources, les sources énergétiques constituent un moyen indispensable au développement économique (industrie, transport, communication, agriculture, etc.) et social (santé, éducation, logement, confort domestique, etc.). Les sources d'énergie les plus utilisées sont les énergies fossiles. Elles assurent plus de 80% de la fourniture mondiale en énergie.⁴ Le mode et l'organisation de leur exploitation s'avèrent en opposition avec l'esprit du développement durable; vus les risques et menaces qui pèsent sur le développement global de l'humanité.

- Le risque d'épuisement

Les énergies fossiles proviennent de la décomposition progressive sous hautes pression et température des végétaux et des animaux durant des millions d'années. Cette origine implique que la quantité disponible est limitée, car leur taux de renouvellement est trop long par rapport au rythme de leur consommation.

Les énergies fossiles sont aujourd'hui menacées par l'épuisement après seulement un siècle et demi d'exploitation intensive. La figure ci-dessous illustre l'évolution de la production d'énergie primaire sur une période de 60 ans (1970- 2030), où il apparaît clairement que cette production a doublé au cours de ces trois décennies, et qu'elle va augmenter de 50% dans le quart du siècle à venir. Les tensions sur les approvisionnements conduisent à une instabilité des prix et des conflits politiques entre les pays.⁵

⁴ ROJEY Alexandre, *Energie et climat, réussir la transition énergétique*, éditions Technip, Paris, 2008, p.37.

⁵ BENHADDADI Mohamed, GUY Olivier, *Dilemmes énergétiques*, éditions Presses de l'université de Québec, Canada, 2008, p. 9.

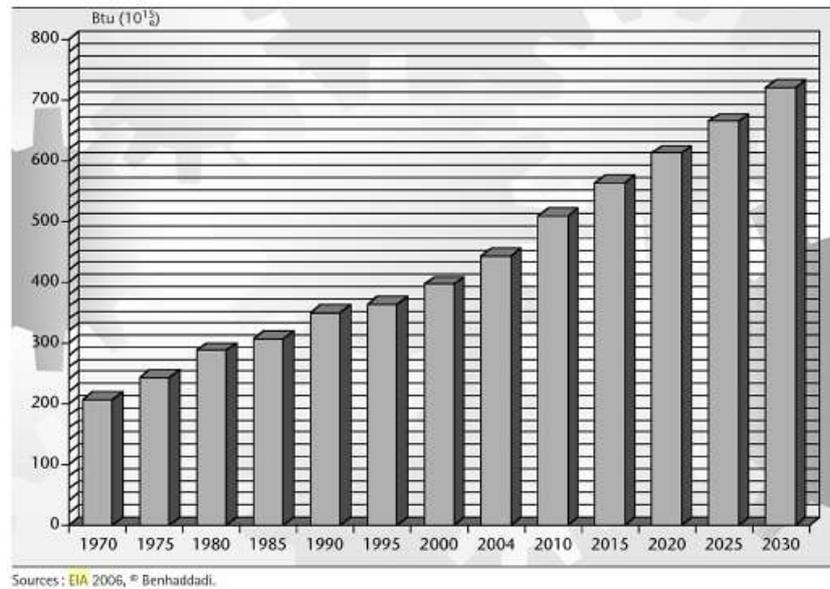


Figure I.2: L'évolution de la production d'énergie primaire [1970-2030]
(Source: Benhaddadi Mohamed, Guy Olivier, 2008, p. 9)

- Les atteintes à la santé de l'Homme.

La combustion des énergies fossiles entraîne la pollution de l'air dans les villes et les zones industrielles. Des teneurs élevées de polluants favorisent les réactions photochimiques qui se produisent en présence d'un rayonnement solaire important, donc principalement pendant l'été. Ces réactions conduisent à la formation de composés oxydants, comme l'ozone, irritants et nocifs à respirer notamment chez les personnes fragiles (enfants, personnes âgées ou souffrant d'insuffisance respiratoire).

Les particules les plus fines, dont le diamètre est compris entre 0.01μ et 0.1μ , sont les plus dangereuses. Elles pénètrent profondément dans les alvéoles pulmonaires, dans lesquels elles ne sont éliminées que lentement à condition que l'exposition à la pollution ne soit pas permanente.⁶

- Les atteintes à l'environnement.

La combustion des énergies fossiles augmente la teneur des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, surtout le CO_2 . Les gaz à effet de serre sont responsables du réchauffement climatique observé depuis la révolution industrielle.

Le réchauffement climatique a de multiples conséquences physiques et biologiques (le recul des banquises polaires, la montée régulière du niveau des mers; l'immersion des régions côtières, la multiplication des épisodes de canicule et de sécheresse, la désertification, les incendies de forêts, Les cyclones, les pluies torrentielles, etc). Ces conséquences ont des prolongements sociaux (famines, migrations massives, maladies, conflits, etc.).

⁶ ROJEY Alexandre, 2008, p.40, 41.

Le plus inquiétant dans le réchauffement climatique est:

- son rythme accéléré, jamais connu auparavant,
- son caractère global, les menaces ne connaissent pas de frontières, car il s'agit d'atteintes globales face auxquelles on se trouve démunie si on ne dispose pas d'outils d'action tout aussi globaux que la menace. Personne n'est à l'abri des effets pouvant se propager à l'échelle du monde entier
- ses conséquences imprévisibles qui se manifestent par des atteintes apparemment lointaines dans le temps et dans l'espace.

Si sur l'épuisement des énergies fossiles, les réserves permettent de poursuivre leur consommation jusqu'à la fin de ce siècle, sur les conséquences du réchauffement climatique, la réduction urgente des émissions des gaz à effet de serre par une réduction significative de la consommation des énergies fossiles est plus que nécessaire.⁷

Dans ce sens, la conférence mondiale sur les changements climatiques tenue en Décembre 2015 à Paris a rassemblé plus de 195 pays entre producteurs d'énergies fossiles, gros consommateurs et pollueurs et victimes du changement climatique. La conférence est conclut par un accord sur la nécessité de la réduction urgente des émissions des gaz à effet de serre par l'investissement dans l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables. Cet accord rentrera en vigueur d'ici 2020.⁸

L'efficacité énergétique se réfère à *la réduction de la consommation d'énergie sans toutefois provoquer une diminution du niveau du confort ou de la qualité de service dans le bâtiment, et la qualité et la quantité de la production dans l'établissement industriel.*⁹ Les énergies renouvelables trouvent leur source dans le soleil et dans la chaleur des profondeurs de la terre. Elles sont également appelées "les énergies nouvelles". Mais, il s'agit en réalité des énergies que l'homme utilisait depuis très longtemps, elles ont été largement améliorées au plan du rendement et de la facilité d'utilisation pour suffire à l'ampleur de nos besoins. Contrairement aux énergies fossiles, les énergies renouvelables sont inépuisables, et leur consommation ne nuit pas à l'environnement.¹⁰

Bien que l'Algérie soit un pays producteur et exportateur de pétrole et de gaz, elle doit impérativement intégrer les mesures d'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables dans les différents secteurs économiques et sociaux, et ce, pour les raisons suivantes :

- L'accomplissement de ses engagements internationaux autour de l'endigement du réchauffement climatique,
- La préservation des énergies fossiles sur lesquelles repose le développement économique et social, du fait qu'elles représentent 98% des exportations nationales,
- La vulnérabilité du territoire aux conséquences du réchauffement climatique en raison de l'avancement du désert et l'accroissement des périodes de sécheresse.

⁷ ROJEY Alexandre, 2008, p. 51, 52, 56.

⁸ <http://www.cop21.gouv.fr/comprendre/>. Consulté en Février 2016.

⁹ SENIT Carole-Anne, *l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel dans les pays du sud et de l'est de la méditerranée*, idées pour le débat, N°14/2008, France, p. 6.

¹⁰ MATHIS Paul, *L'énergie: comprendre les enjeux*, éditions QUAE, Paris, 2011, p.111.

2.2. La consommation de l'énergie en Algérie ¹¹

Le bilan énergétique national de l'année 2012 montre que le secteur résidentiel est le deuxième secteur consommateur d'énergie (30.41 %) après le secteur du transport (36.74%), suivi par le secteur industriel (21.84%), le tertiaire (9.93%), et enfin l'agriculture (1.03%).

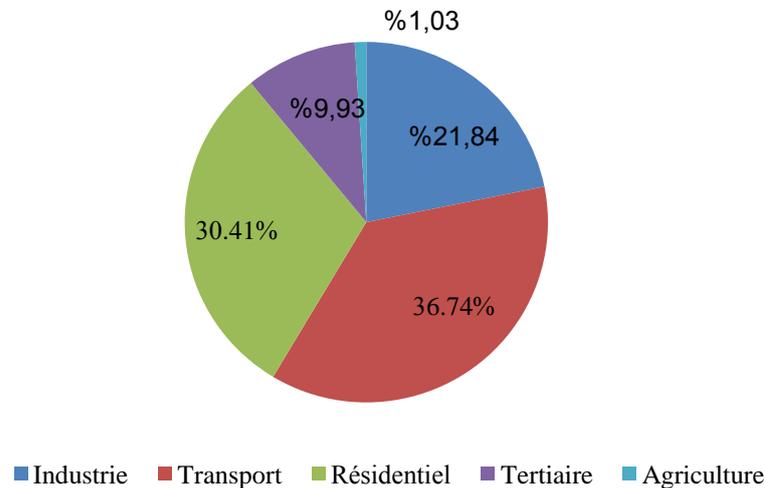


Figure I. 3: Répartition de la consommation d'énergie finale selon les secteurs d'activité.
(Source : Bilan énergétique national de l'année 2012).

Par ailleurs, l'analyse de la répartition de la consommation des produits gazeux et de l'électricité entre les différents secteurs d'activité montre que le secteur résidentiel est le premier secteur consommateur de l'électricité (36,21%), et des produits gazeux (61.10%).

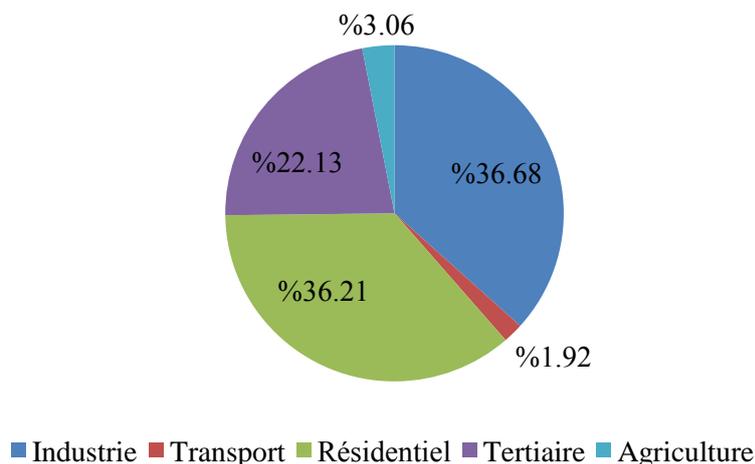


Figure I.4 : Répartition de la consommation d'électricité entre les différents secteurs d'activité. (Source : Bilan énergétique national de l'année 2012).

¹¹ Ministère de l'énergie et des mines, *Bilan énergétique national de l'année 2012*, édition 2013, p. 24.

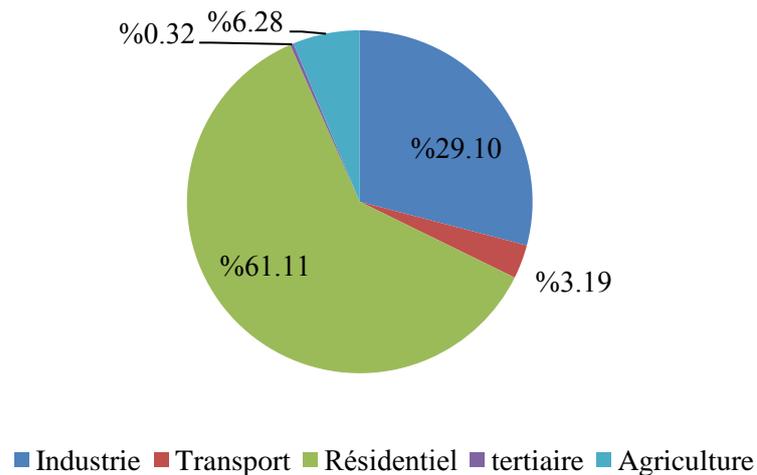


Figure I. 5: Répartition de la consommation des produits gazeux entre les différents secteurs d'activité. (Source : Bilan énergétique national de l'année 2012).

La consommation d'énergie finale dans le secteur résidentiel est répartit entre : les produits gazeux (66.31%) et l'électricité (33.66%).

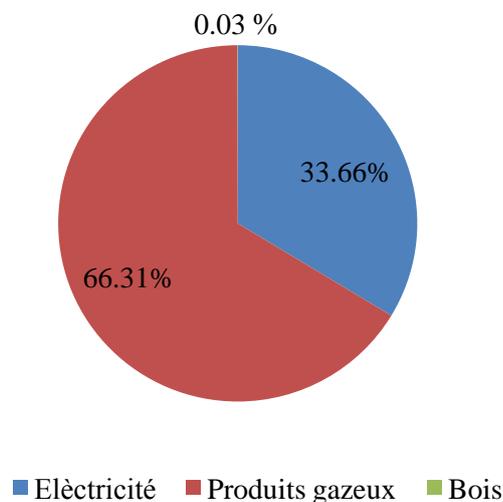


Figure I.6: Répartition de la consommation d'énergie finale dans le secteur résidentiel. (Source : Bilan énergétique national de l'année 2012).

Depuis quelques années, la période d'été s'accompagne de fréquentes coupures d'électricité à travers tout le pays. Les émeutes des citoyens en colère sont en effet devenues une image fréquente en cette période de canicule. Les coupures d'électricité engendrent des pertes pour les usines dont le fonctionnement de machine s'arrête à chaque coupure, les commerçants au même titre que les ménages se plaignent des dégâts que cela occasionne pour les appareils électroménagers et pour les marchandises.

Les coupures répétées d'électricité reviennent au déséquilibre entre l'offre et la demande. Les pics de consommation enregistrés se traduisent par une augmentation de la capacité mobilisée par le parc national de centrales, ce qui provoque des problèmes techniques au niveau des installations, qui sont à l'origine de ces coupures. Lorsque la situation devient critique et l'équilibre entre l'offre et la demande est rompu, les responsables du secteur recourent au délestage, qui constitue une mesure extrême. Il permet de sauvegarder la sécurité des réseaux et d'éviter leur effondrement simultané.

Les experts imputent la forte croissance de la consommation d'électricité, estimée à 14%, à plusieurs facteurs entre autres les programmes de logements dans lesquels l'efficacité énergétique a occupé un rang secondaire dans les priorités des pouvoirs publics confrontés aux impératifs sociaux de la crise du logement. Par ailleurs, la hausse de la demande observée ces dernières années s'explique par le recours croissant à la climatisation.¹²

2.3. Les intérêts de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment.

L'intégration de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment en Algérie présente plusieurs intérêts:

- elle permettrait de préserver les ressources en hydrocarbures qui constituent l'axe principal du développement économique, et de préserver la capacité de financement de l'activité économique.
- elle permettrait d'une part au secteur électrique de surmonter les difficultés qui le caractérisent en raison du déséquilibre entre l'offre et la demande en électricité, en stoppant le dépistage et en évitant de paralyser l'activité économique, et d'autre part, elle permettrait à l'état d'éviter d'investir dans la construction de nouvelles centrales électriques.
- elle permettrait de réduire la facture énergétique des ménages et d'augmenter leur achat et donc de dynamiser les activités économiques. Elle permettrait également la création d'emploi par le développement de nouvelles filières telles que : les énergies renouvelables, de nouveaux matériaux performants, ou des équipements énergétiquement efficaces.
- elle permettrait de protéger l'environnement en participant à la réduction des émissions des gaz à effet de serre.¹³

2.4. Les mesures appropriées à l'amélioration du confort thermique pour réduire la consommation de l'énergie dans le bâtiment.

Les exemples de l'architecture vernaculaire démontrent que les cultures humaines traditionnelles savaient satisfaire leurs exigences en confort thermique grâce à l'adaptation des caractéristiques de l'enveloppe de leur habitat au climat local. Ces savoirs empiriques acquis par des siècles d'expérimentation associés à la rusticité des besoins expliquent que,

¹² www.rameve.org. Consulté en Avril 2014.

¹³ **Carole-Anne Sénit**, l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel dans les pays du sud et de l'est de la méditerranée, idées pour le débat, N°14/ 2008. p. 7-10.

sous beaucoup de climats, c'est relativement tard dans l'histoire qu'on constate l'adjonction de systèmes spécifiques de production de chaleur.¹⁴

L'évolution rapide des équipements de chauffage et de climatisation et la disponibilité de l'énergie à bas prix à partir de la deuxième moitié du 19^e siècle ont conduit au déclin des savoirs empiriques de l'architecture vernaculaire. Les architectes se concentrent sur les aspects plastiques et structurels laissant le contrôle de l'environnement thermique intérieur aux équipements de chauffage et de climatisation. Par ailleurs, la pénurie des logements et la spéculation qui s'en suit conduisent souvent à privilégier la quantité au détriment de la qualité. Ces facteurs ont mené à la négligence de l'adaptation de l'enveloppe du bâtiment à son climat local, et par conséquent, à une consommation exagérée de l'énergie.¹⁵

Mais avec le premier choc pétrolier de 1973, la facture d'énergie devient soudain coûteuse dans les pays importateurs d'énergie. Les principales mesures entreprises pour réduire la consommation d'énergie concernent l'amélioration du rendement des chaudières et l'isolation thermique des parois extérieures.

Les années 1970 voient également l'émergence d'un courant architectural né aux Etats Unis en rupture radical avec la construction conventionnelle. Ce nouveau courant est appelé «architecture bioclimatique»

Le terme «bioclimatique» fait référence à une partie de l'écologie qui étudie plus particulièrement les relations entre les êtres vivants et le climat, donc, l'architecture bioclimatique est définie comme suit : « *cette expression vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière naturelle, c'est-à-dire en minimisant le recours aux énergies non renouvelables, les effets pervers sur le milieu naturel, et les coûts d'investissements et de fonctionnement. L'intérêt du bioclimatique va donc du plaisir d'habiter ou d'utiliser un espace à l'économie de la construction, ce qui fait un élément fondamental de l'art de l'architecte* ». ¹⁶

L'architecture bioclimatique s'est inspirée des savoirs anciens de l'architecture vernaculaire qu'elle souhaite expliquer et développer à la lumière des acquis récents des sciences de construction.¹⁷ Elle s'attache à optimiser l'enveloppe bâtie qui n'est pas seulement une frontière entre l'espace intérieur et l'extérieur, mais un organe de transformation des éléments du climat extérieur changeant en climat intérieur confortable.

D'une façon générale, en climat tempéré, et sauf conditions particulières, la conception des espaces et des enveloppes doit pouvoir satisfaire les exigences suivantes:

- En hiver, réduction des besoins de chauffage,
- En été, absence de surchauffe sans recours à la climatisation,
- En demi-saison, autonomie thermique.

¹⁴ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, *la conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, éditions terre vivante, Mens, 2007, p. 11-16.

¹⁵ GONZALO Roberto, HABERMANN Karl J., *Architecture et efficacité énergétique, principe de conception et de construction*, éditions Birkhauser, Berlin, 2006, p. 26.

¹⁶ CHATELET Alain, FERNANDEZ Pierre, LAVIGNE Pierre, *Architecture climatique une contribution au développement durable tome 2 : concepts et dispositifs*, éditions Edisud, p. 9-10.

¹⁷ LIEBARD Alain, MENARD Jean-Pierre, PIRO Patrick, *le grand livre de l'habitat solaire*, éditions le moniteur, 2007, p.

Pour cela, la démarche bioclimatique affecte aux différentes parois du bâtiment plusieurs fonctions de base dépendantes des conditions extérieures et des besoins internes:

Pour la saison froide:

- Capturer l'énergie solaire,
- La stocker pour pouvoir en bénéficier au moment opportun,
- Conserver cette énergie gratuite, et éviter les déperditions des apports internes,
- Distribuer l'énergie stockée dans l'espace habité.

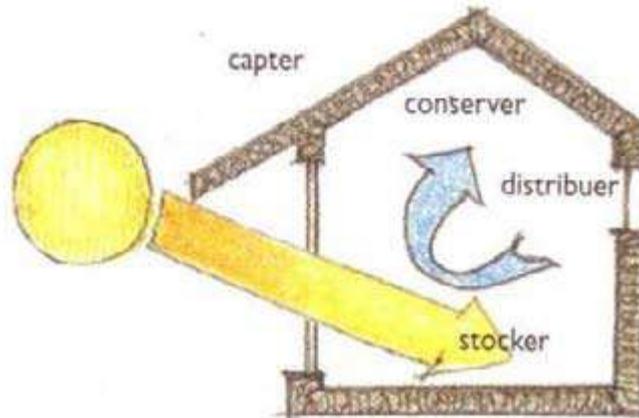


Figure I.7 : Stratégie du chaud pour la saison froide
(Source: Courgey, Oliva, 2007, p. 36)

Pour la saison chaude :

- Protéger du rayonnement solaire,
- Éviter la pénétration de la chaleur,
- Dissiper la chaleur excédentaire,
- Rafraîchir et minimiser les apports internes.

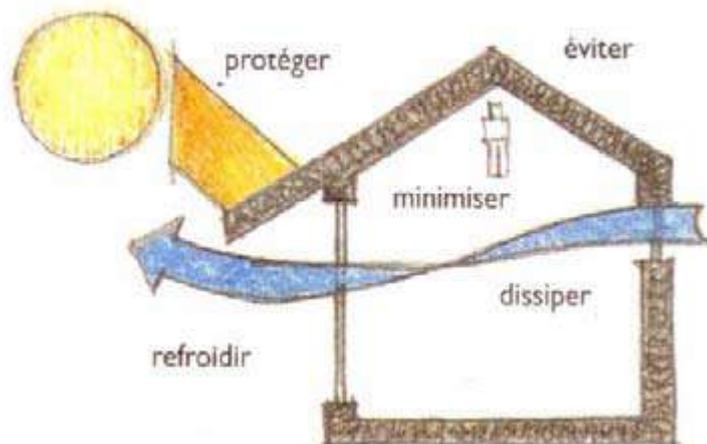


Figure I.8 : Stratégie du froid pour la saison chaude
(Source: Courgey, Oliva, 2007, p. 37)

Pour les demi-saisons:

L'enveloppe doit pouvoir s'adapter aux besoins par une combinaison de ces deux stratégies.¹⁸

¹⁸ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, *la conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, édition terre vivante, Mens, 2007, p. 36-37.

La démarche bioclimatique s'appuie sur des mesures architecturales et techniques permettant d'assurer le confort thermique tout en limitant le recours aux équipements de chauffage et de climatisation. Ces mesures requièrent un surcroît d'ingéniosité de la part de l'architecte, une erreur d'appréciation peut avoir des conséquences indésirables sur le confort thermique des habitants. Elles englobent la compacité et l'orientation du bâtiment, l'isolation thermique, la ventilation naturelle, les protections solaires, la disposition des espaces, etc.

CONCLUSION

La consommation abusive des énergies fossiles est en opposition avec le développement durable en raison notamment des émissions des gaz à effet de serre qui accélèrent le réchauffement climatique et la raréfaction des ressources énergétiques non renouvelables. Il est donc nécessaire de réduire la consommation des énergies fossiles d'une manière significative et rapide à travers l'encouragement des énergies renouvelables et l'investissement dans l'efficacité énergétique.

Le secteur du bâtiment mérite d'être le plus concerné par l'efficacité énergétique. En effet, contrairement aux autres secteurs comme l'industrie et le transport, dans lesquels les énergies renouvelables ne possèdent pas les qualités des énergies fossiles (l'intensité énergétique, la facilité de transport, et le coût abordable), le bâtiment peut exploiter directement les énergies renouvelables que sont l'énergie solaire et le vent à travers ses caractéristiques architecturales. Par suite, la réduction de la consommation de l'énergie dans le bâtiment conduira à une réduction significative de la consommation nationale puisqu'il en consomme plus de 40,34%.

Finalement, l'efficacité énergétique escomptée passe nécessairement par l'application des mesures de l'architecture bioclimatique; il s'agit simplement d'adapter les caractéristiques de l'enveloppe du bâti à celles du climat local comme le faisait nos ancêtres. Aujourd'hui, les savoirs empiriques de l'architecture vernaculaire sont développés par les bases scientifiques rigoureuses de l'architecture bioclimatique moderne.

DEUXIEME CHAPITRE

CLIMAT ET CONFORT THERMIQUE

INTRODUCTION

La démarche bioclimatique débute par une analyse minutieuse des données climatiques et microclimatiques du site où le bâtiment est prévu. De la validité de cette étape dépend la garantie de l'intégration harmonieuse du bâtiment avec son environnement et ses capacités à assurer un confort thermique optimal à ses futurs habitants tout en répondant aux impératifs de l'économie de l'énergie¹ dont on a déjà parlé au chapitre précédent.

Dans cette perspective, nous associons dans ce chapitre les connaissances indispensables en matière de climatologie à cette idée de bien être particulier qui est le confort thermique à l'intérieur du bâtiment.

A cet effet, nous présentons des connaissances générales sur les éléments du climat à prendre en compte lors de la conception ainsi que les modifications qu'apportent les facteurs du site et qui engendrent un microclimat. Ensuite, nous focalisons sur l'ensoleillement parce que le rayonnement solaire est l'élément climatique le plus influent en architecture bioclimatique. En hiver, la pénétration des rayons solaires à travers les fenêtres est bénéfique pour le chauffage, mais elle augmente les surchauffes en été². Le contrôle de la pénétration des rayons solaires dans le bâtiment nécessite la connaissance de la position du soleil dans le ciel, c'est pourquoi nous présentons les coordonnées solaires et le diagramme solaire. Nous présentons finalement les facteurs déterminants le confort thermique, ainsi que les diagrammes bioclimatiques comme méthode d'interprétation des données climatiques.

1. ELEMENTS DE CLIMATOLOGIE.

1.1. Notions sur le climat.

Le climat d'une région est déterminé par les régimes de variations de plusieurs éléments et par leurs combinaisons. Les principaux éléments climatiques à considérer lors de la conception d'un bâtiment sont: le rayonnement solaire, la température de l'air, le vent, et l'humidité.

¹ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, *La conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, éditions Terre vivante, Mens, France, 2007, p. 51.

² SZOKOLAY Vajk Steven, *Solar geometry*, éditions Routledge, E.U, 2007, p.3.

1.1.1. Le rayonnement solaire.

Le rayonnement solaire est un mode de transport de l'énergie électromagnétique sans support matériel, il se divise en trois parties :

- le rayonnement visible comprend la bande de longueurs d'ondes auxquelles l'œil humain est sensible, et s'étend du violet de très courtes longueurs d'ondes (0.35μ) au rouge de grandes longueurs d'ondes (0.75μ).
- le rayonnement infrarouge (IR), que nous le ressentons comme une onde de chaleur, comprend toutes les radiations dont la longueur d'onde est supérieure à l'extrémité rouge du spectre visible (plus de 0.75μ).
- le rayonnement ultraviolet (UV) comprend l'ensemble des radiations de longueur d'ondes inférieures à celle de l'extrémité violette du spectre visible (moins de 0.35μ).

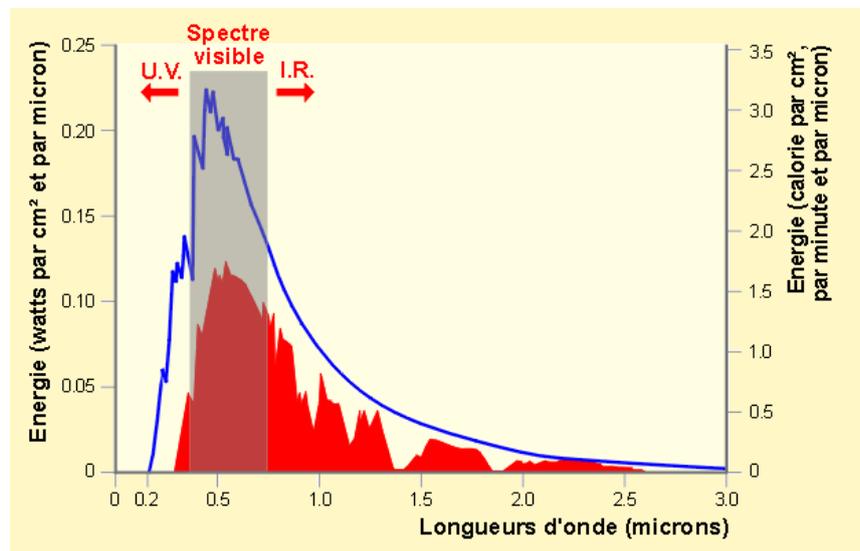


Figure II.1: La composition spectrale du rayonnement solaire, (en bleu, à la limite de l'atmosphère; en rouge à la surface de la terre). (Source: Mazria, 1981, p.15).

Pendant sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est modifié par la composition de l'atmosphère:

- Dans les couches supérieures de l'atmosphère, l'ozone absorbe tous les rayons ultraviolets se dirigeant vers la surface de la terre. Dans les couches inférieures, la vapeur d'eau et le gaz carbonique absorbent les rayons infrarouges.
- Les gouttelettes d'eau et les nuages réfléchissent le rayonnement solaire, mais aussi la surface de la terre notamment par les étendues d'eau, la neige et le sable.
- Les molécules d'air et les particules de poussière diffusent les rayons solaires dont les dimensions sont semblables ou inférieures aux longueurs d'onde.

Le reste du rayonnement solaire atteint directement la terre, c'est le rayonnement solaire direct.

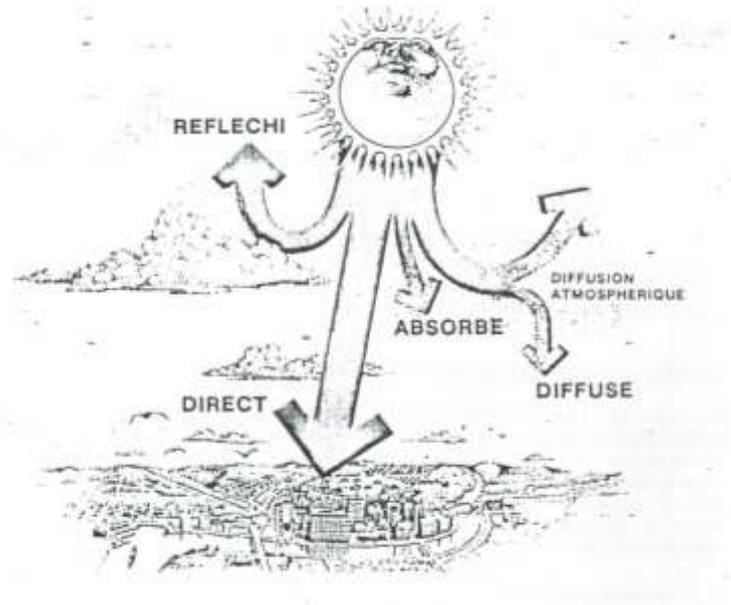


Figure II.2: La modification du rayonnement solaire intercepté par l'atmosphère terrestre.
(Source: Mazria, 1981, p.16).

Outre la composition de l'atmosphère, la quantité de l'énergie solaire qui atteint la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement solaire doit traverser:

- Au milieu de la journée, le soleil est au dessus de nos têtes, et les rayons ont à traverser une épaisseur d'air moindre avant d'arriver sur la terre.
- Au début et à la fin de la journée, le soleil est plus bas sur l'horizon, la traversée de l'atmosphère se fait alors plus longue. Elle absorbe autant de particules lorsqu'elle est plus épaisse et plus dense. Ainsi, au coucher du soleil, les rayons sont suffisamment affaiblis pour permettre à l'œil de fixer le soleil sans trop d'éblouissement.³

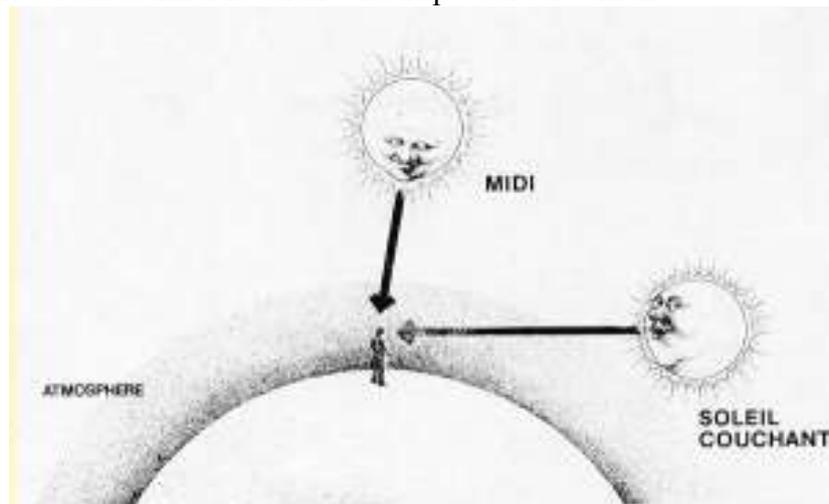


Figure II.3: La couche d'air traversée détermine l'intensité du rayonnement direct.
(Source: Mazria, 1981, p. 17).

³ MAZRIA Edward, *Le guide de l'énergie solaire passive*, éditions Parenthèses, 1981, p.14-17.

1.1.2. La température de l'air.

Elle dépend du taux d'échauffement et de refroidissement de la surface du globe. Cette dépendance est liée à la nature des surfaces océaniques ou continentales qui reçoivent le rayonnement solaire.

Les stations météorologiques effectuent les relevées horaires de la température de l'air sous abri à 1.5m du sol pour tracer les courbes d'évolution journalière. Elles déterminent également les températures moyennes mensuelles pour tracer ensuite la courbe annuelle pour un lieu donné.

A partir des mesures sur une période de plusieurs années, on définit pour chaque mois cinq types de température:

- la *température maximale moyenne* : moyenne sur la période de mesure des moyennes de températures maximales de tous les jours du mois. Elles sont relevées entre 12h et 13h.

- la *température minimale moyenne* : moyenne sur la période de mesure des moyennes des températures minimales de tous les jours du mois. Elles sont relevées au petit matin.

- la *température moyenne* : moyenne sur la période de mesure des moyennes de température de chaque mois, celles-ci étant faites à partir des mesures de tous les jours du mois, ou les moyennes arithmétiques des deux premières (la température moyenne maximale et la température moyenne minimale).

- la *température maximale maxima* : moyenne sur la période de mesure de la température maximale atteint le jour le plus chaud du mois.

- la *température minimale minima* : moyenne sur la période de mesure de la température minimale atteinte le jour le plus froid du mois.⁴

Ces deux derniers types sont généralement peu utilisés.

1.1.3. Le vent.

Nous reviendrons sur cet élément au niveau du troisième chapitre. Rappelons seulement que le vent est un déplacement d'air à la surface du globe des zones de hautes pressions (masses d'air froid) vers les zones de basses pressions (masses d'air chaud).

Le régime des vents en un lieu est représenté par une rose des vents. Celle-ci exprime la distribution des vents en fonction de leurs directions. Une rose des vents pour un lieu donné indique la vitesse et le pourcentage par mois ou par année de chaque vent en fonction de sa direction.

⁴ **FERNANDEZ** Pierre, **LAVIGNE** Pierre, *Concevoir des bâtiments bioclimatiques : fondements et méthodes*, éditions Le moniteur, Paris, France, 2009, p.101.

- les traits indiquent la direction des vents.
- leurs longueurs indiquent leurs pourcentages par année.
- leurs couleurs indiquent la vitesse en mètre/ seconde.

L'architecte trouve ces informations au niveau des stations météorologiques locales.⁵

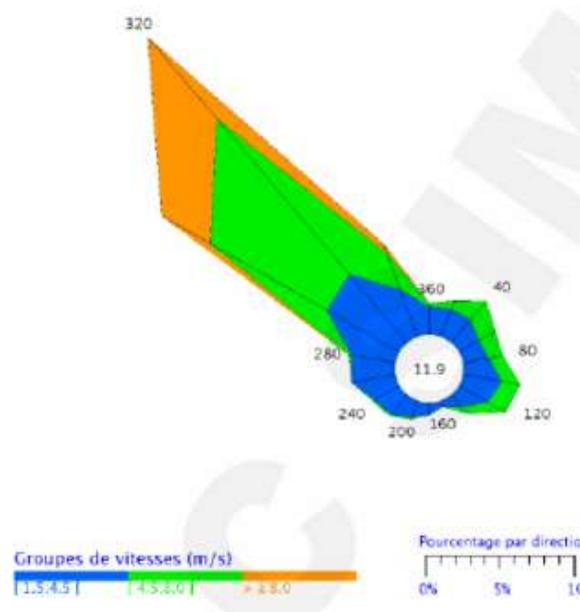


Figure II.4: Une rose des vents pour un lieu donné

(Source: <http://services.meteofrance.com/e-boutique/climatologie/rose-vent-detail.html>)

1.1.4. L'humidité de l'air.

C'est la teneur relative en vapeur d'eau de l'atmosphère. Elle s'exprime par :

- Le poids de vapeur d'eau par m³ d'air : Humidité absolue (g/m³).
- Le poids de vapeur d'eau par kg d'air : Humidité spécifique (g/kg).
- Le rapport en pourcentage de l'humidité absolue effective à l'humidité maximale possible: Humidité relative (%).

L'humidité atmosphérique dépend des précipitations, de la végétation, du type du sol, du régime des vents, et de l'ensoleillement. Les stations météorologiques fournissent les valeurs de l'humidité relative moyenne, et si nécessaire, son évolution journalière.⁶

1.2. Notions sur le microclimat.

Les données climatiques fournis par les stations que nous venons de citer concernent une région de plusieurs centaines de Km² de superficie. Cependant, dans une région donnée, chaque site possède ses caractéristiques particulières créant un microclimat.

⁵ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, *La conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, éditions Terre vivante, Mens, France, 2007, p. 55,56.

⁶ GIVONI Baruch, *L'Homme, l'architecture et le climat*, éditions du moniteur, Paris, 1978, p. 31.

Il est donc important d'être attentif à certaines variantes locales qui dépendent principalement de la nature du sol, de l'altitude, du relief et du caractère urbain ou rural.

1.2.1. La nature du sol.

Ce paramètre conditionne la température de l'air comme nous l'avons signalé précédemment. Il faut y être attentif pour l'impliquer avec profit dans la stratégie du projet; citons donc les trois principales catégories du sol:

- Les sols couverts de végétation.

Le couvert végétal réduit, par évapotranspiration de l'eau, l'échauffement de l'air. Des arbres alignés adéquatement peuvent faire fonction de brise vent ou de corridors canalisant l'air à volonté.

- Les sols minéraux à forte inertie.

Qu'ils soient naturels (rochers, sable, terre nue) ou aménagés par l'homme (béton, pavés, bitume), les sols minéraux à forte inertie stockent la chaleur durant les journées ensoleillées et rayonnent au début de la soirée, ce qui a pour effet de retarder la chute des températures nocturnes.

- Les étendues d'eau.

A l'échelle du microclimat, les étendues d'eau (bassins, lacs, lagunes) tempèrent les fluctuations des températures. Leur influence est proportionnelle à leur taille.

A grande échelle, les océans et les mers conditionnent le climat du littoral. Les différences de température entre la terre et la mer créent des vents locaux, et les bâtiments en bordure des lacs et de la mer bénéficient d'une ventilation naturelle appréciable.⁷

A ce titre citons les brises de mer et les brises de terre. A proximité du littoral on rencontre des vents réguliers faibles à modérés qui s'alternent selon un rythme journalier, nommés brises et elles sont de deux types:

- Pendant le jour, l'air au dessus de la terre s'échauffe plus que l'air situé au dessus de la mer. L'air chaud s'élève et l'air froid s'écoule pour le remplacer de la mer vers la terre: c'est la brise de mer. Ces brises de mer peuvent faire baisser la température de 8°C pendant une journée chaude.

- La nuit, les flux d'air s'inversent, l'air au dessus de la terre se refroidit plus rapidement que l'air au dessus de la mer. L'air plus chaud au dessus de la mer s'élève et l'air froid s'écoule de la terre pour le remplacer: c'est la brise de terre.

Les brises de mer s'arrêtent aux environs du coucher du soleil et c'est plus tard dans la nuit que commencent les brises de terre. Plus tard encore et tôt le matin, il n'y a pas de brises par ce que la terre et la mer ont approximativement la même température d'équilibre.

⁷ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, 2007, p.57.

La distance d'un lieu par rapport à la côte détermine le moment où la brise de mer y fait sentir. Celle-ci est d'autant plus tardive que le lieu est plus éloigné de la côte.⁸

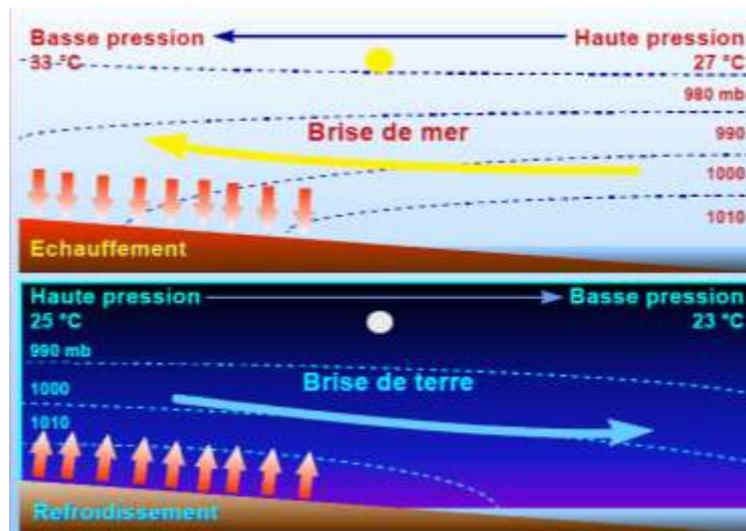


Figure II. 5: Les brises de mer et de terre.
(Source : Liébard, De Herde, 2005, p. 20b)

1.2.2. L'altitude et le relief.

L'altitude influe fortement le climat local par:

- une diminution des températures proportionnelle à l'altitude. La pression diminue avec l'altitude, l'air se détend et se refroidit. On constate en moyenne une baisse des températures de 0.7°C pour 100m de dénivelé.
- l'exposition aux vents d'altitude plus intenses au fur et à mesure que l'on s'élève car non freinés par la rugosité des reliefs inférieurs et moins affectés par les phénomènes locaux d'évapotranspiration dus à l'eau et à la végétation.

Le relief influe également le climat local par:

- Les différences qu'il induit de jour sur l'insolation des pentes suivant leur orientation et leur inclinaison.
- les modifications du régime des vents: le relief peut détourner, abriter ou intensifier les vents.
- Les faces exposées au vent sont plus froides que les faces qui en sont protégées.⁹

1.2.3. Le climat en milieu urbain.

La température de l'air dans les régions urbaines est en général supérieure à celle des régions suburbaines et rurales. Le phénomène est connu sous le nom de l'îlot de chaleur urbain.

⁸ GIVONI Baruch, 1978, p.30.

⁹ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, 2007, p.57, 58.

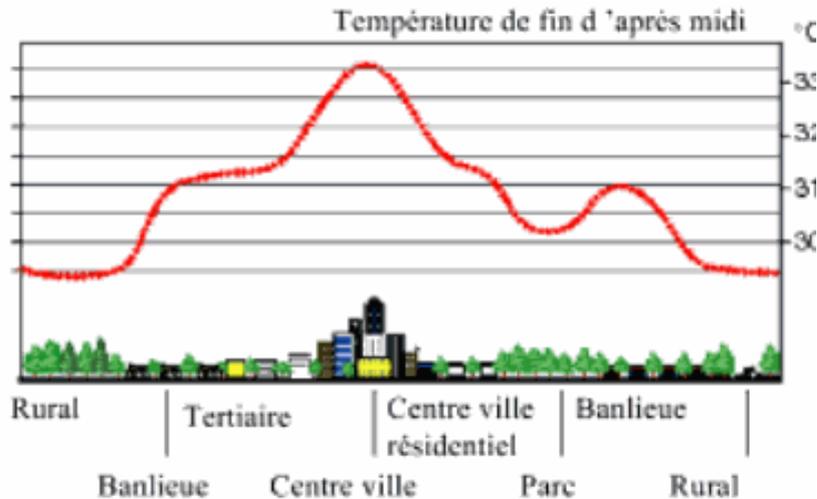


Figure. II.6: Représentation d'un profil de température type d'îlot de chaleur urbain.
(Source : Santamouris, 2004, p.26)

L'augmentation de la température de l'air par rapport à celle des régions suburbaines et rurales est due à plusieurs facteurs :

- La rugosité que constituent les bâtiments plus ou moins hauts et plus ou moins rapprochés. Le rayonnement solaire incident se trouve piégé par des réflexions successives, qui sont en partie absorbées par des surfaces plus ou moins verticales;
- Les propriétés thermiques des matériaux augmentent le stockage de chaleur de la ville pendant la journée et relâchent la chaleur stockée après le coucher du soleil;
- La chaleur anthropogénique libérée par la combustion des carburants, des autres sources d'énergie et du métabolisme humain;
- L'effet de serre contribue à augmenter le rayonnement infrarouge entrant qui est emprisonné par l'atmosphère urbaine polluée;
- La réduction de l'évaporation sur les surfaces dans la ville qui produit plus de chaleur qu'à la campagne.
- La réduction de la capacité du vent pour dissiper la chaleur.¹⁰

L'élévation de la température est plus intense durant la nuit, quand les bâtiments et les sols minéraux restituent la chaleur absorbée durant la journée. Les différences de températures entre les régions urbaines et suburbaines peuvent atteindre 5°C à 10°C.¹¹

Dans les climats froids, L'élévation de la température en milieu urbain peut être positive parce qu'elle réduit les besoins de chauffage. Cependant plus ou moins en permanence dans les régions à climat chaud, et l'été dans d'autres régions pourtant froides

¹⁰ SANTAMOURIS Mat, *Rafraichir les villes*, éditions Presses des mines, Paris, 2004, p.12, 13.

¹¹ SANTAMOURIS Mat, ASIMAKOPOULOS D., *Passive cooling of buildings*, éditions Earthscan, Le Royaume Uni, 1996, p.91.

l'hiver, l'élévation de la température augmente l'utilisation d'énergie pour la climatisation.¹²

Les constructions constituent des écrans fixes pour leur voisinage. Leur rôle peut être positif si l'on recherche une protection contre le soleil. C'est le cas des villes méditerranéennes traditionnelles, où l'étroitesse des ruelles et la hauteur des bâtiments réduisent considérablement le rayonnement direct et fournissent un ombrage bienvenu. La densité des constructions occasionne souvent des masques au rayonnement solaire ce qui réduit la durée d'ensoleillement. Dans le cas d'une conception solaire passive, il importe de mesurer l'impact de cet effet de masquage.

Le microclimat urbain est également caractérisé par une moindre vitesse générale des vents à cause de la rugosité des espaces construits, ce qui empêche la dissipation de la chaleur et de la pollution.¹³

Selon le type de maillage urbain, l'orientation et la taille des percées par rapport à la hauteur des bâtiments, on pourra soit constater une bonne protection contre les vents soit à l'inverse des accélérations de ceux-ci.¹⁴

Les tissus denses de hauteur homogène relativement faible assurent globalement un excellent confort au vent. Les vitesses élevées du vent à craindre se situent à la périphérie et dans des zones très dégagées. Cependant, les villes contemporaines présentent des hauts bâtiments qui engendrent des turbulences locales avec des vitesses de vent très élevées à leurs bases et nuisent au confort des piétons.¹⁵

1.3. Ensoleillement.

Nous reviendrons sur cette notion au troisième chapitre où elle sera traitée sous un autre angle. Dans ce paragraphe, nous focaliserons sur la nécessité d'une connaissance précise de la position du soleil dans le ciel pour les besoins de notre travail. A cet effet, nous utilisons le diagramme solaire polaire

1.3.1. La détermination de la position du soleil.

Lorsqu'il est vu à partir d'un endroit sur la terre, le soleil semble se déplacer dans une orbite autour de la terre. Bien que ce point de vue est incorrect, il est pratique pour des fins de conception solaire de considérer que la terre est fixe et de décrire le mouvement apparent du soleil dans un système de coordonnées fixé à la terre et ses origines dans le site d'intérêt. Pour un observateur debout n'importe où sur la terre, le soleil apparaît comme décrivant de larges arcs à travers le ciel.

¹² SANTAMOURIS Mat, 2004, p.12.

¹³ SANTAMOURIS Mat, ASIMAKOPOULOS D., 1996, p.91.

¹⁴ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, *La conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, éditions terre vivante, Mens, France, 2007, p.61.

¹⁵ BAKER N. V., *Passive and low energy building design, for tropical island climates*, éditions commonwealth science council, London, 1987, p.21.

La position du soleil peut être décrite à tout moment par deux angles, les angles d'altitude et d'azimut.¹⁶

L'angle d'altitude solaire, ALT, est l'angle entre une ligne colinéaire avec les rayons du soleil (la direction du soleil) et le plan horizontal.

L'angle d'azimut solaire, AZM, est l'angle entre la ligne plein sud et la projection de l'emplacement de la ligne solaire dans le plan horizontal (le plan vertical du soleil) vers l'est ou vers l'ouest. La convention de site utilisée pour l'angle d'azimut est positive à l'ouest du sud et négative à l'est du sud.¹⁷

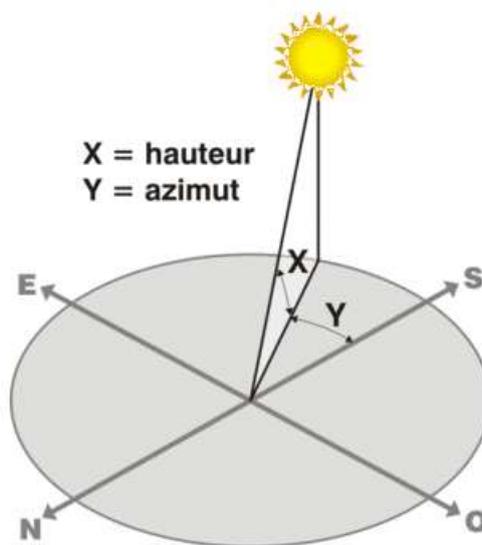


Figure II.7: Hauteur et azimut du soleil.
(Source: Mazria, 1981, p.239).

1.3.2. Le diagramme solaire polaire.

Le diagramme solaire est une représentation plane en coordonnées locales de la trajectoire du soleil perçue depuis un point de la surface terrestre.¹⁸

Il sert dans la détermination des valeurs de l'altitude et l'azimut du soleil, les heures de lever et du coucher du soleil, la durée du jour et les calculs des dimensions des protections solaires. Cette dernière est l'application la plus commune du diagramme de la course solaire.¹⁹

Tracé en coordonnées polaires, un diagramme solaire est étudié pour chaque latitude, il se présente comme un diagramme circulaire d'où on peut tirer la hauteur et l'azimut du soleil pour une date et une heure quelconque.

¹⁶ **KREITH** Frank, **KRUMDIECK** Susan, *Principles of sustainable energy systems*, éditions CRC Press & Taylor and Francis group, E.U, 2013, p.250.

¹⁷ **KREITH** Frank, **KRUMDIECK** Susan, 2013, p. 253.

¹⁸ **MAZRIA** Edward, *Le guide de l'énergie solaire passive*, éditions Parenthèses, 1981, p. 239.

¹⁹ **KREITH** Frank, **KREIDER** Jan F., *Solar heating and cooling : active and passive design*, éditions CRC Press, E.U, 1982, p. 27.

L'observateur est supposé se trouver au centre du diagramme. **Les azimuts** sont marqués à la circonférence du diagramme représentant l'horizon, Les lignes rayonnantes représentent l'azimut, avec chaque ligne indique 10° , et le nord étant 0° . **La hauteur du soleil** est représentée par des cercles concentriques équidistantes et la valeur des angles est indiquée sur une droite le long de l'axe nord-sud, chaque cercle représente 10° d'altitude, 90° (le zénith) étant le centre. Les courbes allant d'Est en Ouest (sur toute la longueur du diagramme) représente **la course du soleil** pour le 21^{ème} jour de chaque mois. La courbe la plus élevée représente le solstice d'été (le 21 juin) et la courbe la plus basse représente le solstice d'hiver (le 21 décembre). Les cinq courbes entre ces deux valeurs représentent chacune deux mois en pairs ce qui reflète leurs relations avec les solstices : Mai/Juillet, Avril/Aout, Mars/Septembre, Février/Octobre, et Janvier/ Novembre. Les courbes pointillées qui recoupent les courbes de la course solaire représentent les heures solaires vraies, avec la ligne du midi comme étant verticale orientée nord-sud. Enfin, toutes ces lignes sont superposées ensemble, montrant la place du soleil dans le ciel à tout moment de l'année.²⁰

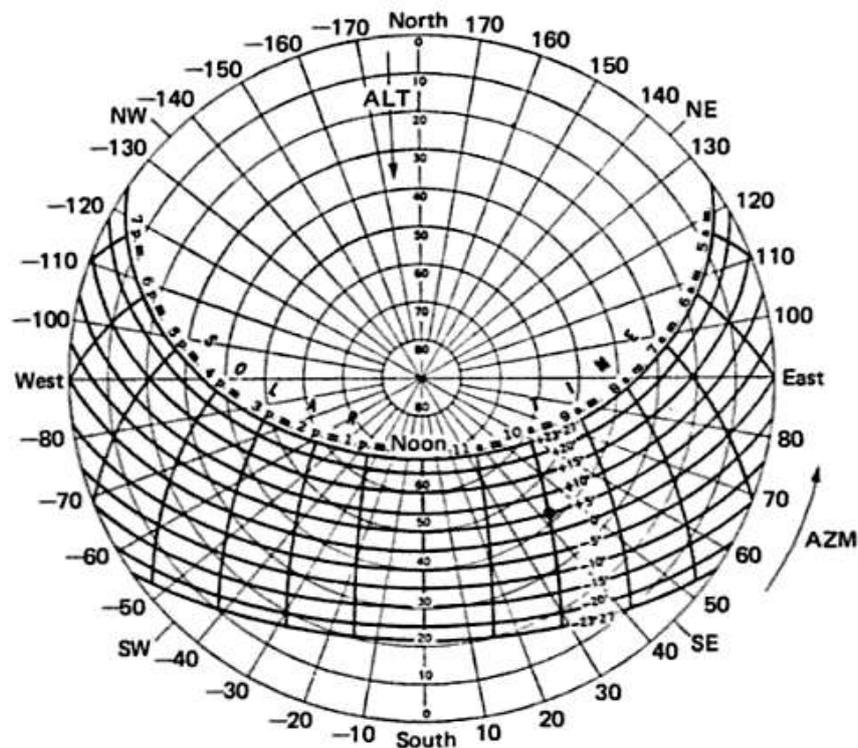


Figure II.8:Le diagramme de la course solaire montrant l'azimut et la hauteur du soleil et leurs relations avec la déclinaison et le temps solaire. (Source Kreith, Kreider 1982, p.28).

²⁰ GIVONI Baruch, *L'Homme, l'architecture et le climat*, éditions du moniteur, Paris, 1978, p.213-214.

2. CONFORT THERMIQUE

Le confort thermique dans le bâtiment se définit comme une sensation de bien être calorifique d'une personne.

2.1. Paramètres déterminants le confort thermique.

2.1.1. La température de l'air ambiant.

C'est la température de l'air mesurée à l'ombre. On considère habituellement que la zone de confort se situe habituellement entre 19°C en hiver et 26°C en été. Cette plage varie selon l'activité, l'habillement et selon les individus. La température de l'air ambiant détermine les échanges de chaleur par convection.

Le premier objectif thermique d'un logement est de maintenir la température dans cette fourchette malgré les écarts de température entre le jour et la nuit, l'été et l'hiver. Le deuxième objectif est d'entretenir une certaine homogénéité de température dans l'espace.

2.1.2. La température des parois.

L'impact de cette température est très important dans la sensation de confort ou d'inconfort thermique aussi bien en hiver qu'en été. Une paroi absorbe le rayonnement chaud du corps humain procurant une sensation de froid. Inversement, si elle est plus chaude que le corps, c'est elle qui rayonne vers lui une chaleur. C'est pourquoi on l'appelle aussi la température rayonnante.

En l'absence de courant d'air perceptible et pour une humidité relative moyenne de l'air, on estime que la température effectivement ressentie est une moyenne de celle de l'air et celles des parois.²¹

$$\text{Température ressentie} = (\text{température de l'air} + \text{température des parois}) / 2$$

2.1.3. L'humidité relative de l'air.

Les échanges thermiques du corps avec son environnement se font par évaporation à la surface de la peau (évapotranspiration):

- Dans une ambiance humide, l'évaporation de la sueur est ralentie et l'individu se sent en situation d'inconfort thermique. La solution est alors de créer des mouvements d'air contrôlés.
- A l'inverse, dans une ambiance sèche, l'évapotranspiration est plus aisée et permet de supporter des températures ambiantes plus élevées.

Les activités de l'individu entraînent une production de vapeur d'eau à l'intérieur du logement; cette production de vapeur d'eau contribue au maintien d'une humidité élevée

²¹ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, *La conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, éditions terre vivante, Mens, France, 2007, p.31.

qu'il faut combattre par une meilleure isolation, une meilleure ventilation ou un meilleur chauffage.²²

2.1.4. Le mouvement de l'air.

L'air en mouvement accélère les échanges thermiques par convection à la surface corporelle. La température de celle-ci de l'ordre de 30 à 33°C est très supérieure à celle de l'air en hiver et la plupart du temps en été. Plus la vitesse de l'air est élevée, plus les déperditions de chaleur sont grandes; déperditions inconfortables en hiver, souvent appréciables en été.

Les courants d'air peuvent agir positivement sur le confort dans une ambiance chaude et humide. En effet, le corps ne perd que peu de chaleur par rayonnement, convection et conduction car les températures ambiantes sont élevées, et il se rafraîchit peu par transpiration car l'humidité relative de l'air est aussi élevée. Par conséquent, les courants d'air offrent une source de déperditions de chaleur supplémentaires par convection forcée.²³

2.1.5. Le métabolisme énergétique humain.

Le métabolisme est le processus par lequel les aliments ingérés aboutissent à la quantité d'énergie nécessaire et suffisante à la vie végétative et active de l'individu. Pour simplifier, retenons qu'une partie de l'énergie chimique résultant de ce métabolisme est dissipée sous forme de chaleur à la surface du corps.

2.1.6. Les vêtements.

Ils constituent une barrière aux échanges de chaleur entre le corps et son environnement immédiat et interviennent dans le processus d'évaporation de la sueur. Ils conditionnent la sensibilité du corps aux variations de la température et de la vitesse de l'air.

2.1.7. Les facteurs psychologiques et culturels.

Comme le confort thermique est une notion subjective, l'estimation que chaque individu peut en avoir dépend de nombreux paramètres (âge, sexe, état de santé ou de fatigue, acclimatation, disposition psychologique) auxquels s'ajoutent des facteurs culturels.

Par ailleurs, tous les sens participent au ressenti thermique: des couleurs chaudes, la vue du feu, un environnement sonore évocateur accentuent la sensation de chaleur. A l'inverse, des couleurs froides, l'ombre, la vue de l'eau favorisent l'impression de fraîcheur.²⁴

Voyons, maintenant, par quels moyens nous exploitons ces données climatiques, le sera l'objet du paragraphe suivant.

²² **LIEBARD** Alain, **DE HERDE** André, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique, concevoir édifier aménager avec le développement durable*, éditions Observ'ER, Paris, 2005, p. 29 a.

²³ **LIEBARD** Alain, **DE HERDE** André, 2005, p. 30 a.

²⁴ **COURGEY** Samuel, **OLIVA** Jean-Pierre, 2007, p.31.

2.2. Les outils d'aide à la conception bioclimatique.

2.2.1. Le diagramme bioclimatique du bâtiment.

Le diagramme bioclimatique facilite l'analyse et l'exploitation des caractéristiques climatiques d'un site considéré du point de vue du confort thermique à assurer. Il associe une représentation graphique simultanément thermique et psychrométrique, et précisent les lignes directrices de la conception du bâtiment pour optimiser les conditions disponibles.

Le diagramme bioclimatique est structuré autour de la zone de confort défini comme «*Les conditions climatiques dans lesquelles la majorité des personnes se sentent à l'aise sur le plan thermique*». La zone de confort est basée sur la température de neutralité (Tn) calculée en corrélation avec la température moyenne annuelle (Tm) par la formule suivante:

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_m$$

La zone de confort est représentée sur le diagramme bioclimatique par un polygone, puis elle est étendue en plusieurs zones plus importantes. Chacune de ces zones montrent l'extension de la zone de confort du fait d'une stratégie bioclimatique particulière: le chauffage solaire passif, la masse thermique, la ventilation naturelle, et le refroidissement par évaporation. En dehors de ces zones, il faut recourir aux équipements de chauffage et de climatisation.

Chaque mois de l'année est représenté sur le diagramme par une ligne dont la première extrémité est défini par l'intersection de la température mensuelle maximale et l'humidité mensuelle minimale et la deuxième extrémité est défini par l'intersection de la température mensuelle minimale et l'humidité mensuelle maximale. La stratégie à appliquer durant un mois donné pour assurer un environnement intérieur confortable dépend de la zone dans laquelle est représenté ce mois. ²⁵

- Le chauffage solaire passif.

Le chauffage solaire passif dans sa forme la plus simple ne nécessite qu'une fenêtre orientée au sud pour intercepter le maximum d'énergie solaire en hiver. Toutefois, la fenêtre doit être équipée d'un dispositif de protection solaire de dimension appropriée pour réduire la surchauffe en été.

La performance du chauffage solaire passif nécessite également une masse d'accumulation de chaleur. La pénétration des rayons solaires à travers les fenêtres élève la température intérieure d'une manière significative sans le moindre déphasage. L'absorption et le stockage d'une partie de cette chaleur réduit la surchauffe. Cette chaleur sera restituée la nuit ce qui ralentit la chute des températures intérieures.

²⁵ SZOKOLAY Vajk Steven, *Introduction to architectural science, the basis of sustainable design*, éditions Routledge, E.U, 2008, p.53.

- *L'effet de masse.*

Dans un climat chaud et sec, l'effet de masse permet de garder une température intérieure stable malgré les grandes amplitudes des températures diurnes. La chaleur absorbée par la face externe des murs extérieurs n'atteint la face interne que durant la nuit. L'effet de masse peut se combiner avec la ventilation nocturne pour dissiper la chaleur accumulée durant la journée à condition que les températures extérieures soient confortables durant la nuit.

- *L'effet de la circulation d'air*

Dans un climat chaud et humide, le refroidissement du corps par évapotranspiration est ralenti, ce qui augmente l'inconfort. Les mouvements d'air à la surface de la peau facilitent l'évapotranspiration et permettent au corps d'évacuer la chaleur excédentaire.

- *Le refroidissement par évaporation (directe ou indirecte).*

Le refroidissement du bâtiment par évaporation directe consiste à refroidir l'air extérieur par évaporation par la disposition des plans d'eau devant les entrées d'air basses, puis l'introduire dans le bâtiment soit par des dispositifs mécaniques (ventilateurs) ou passivement (le vent, la différence de température).

Le refroidissement par évaporation indirecte consiste à refroidir un élément du bâtiment tel que le toit ou les murs extérieurs. L'élément refroidi, à son tour, sert de dissipateur de chaleur vers l'extérieur, et absorbe par sa face interne la chaleur intérieure. La température intérieure est abaissée sans élever l'humidité de l'air intérieur.²⁶

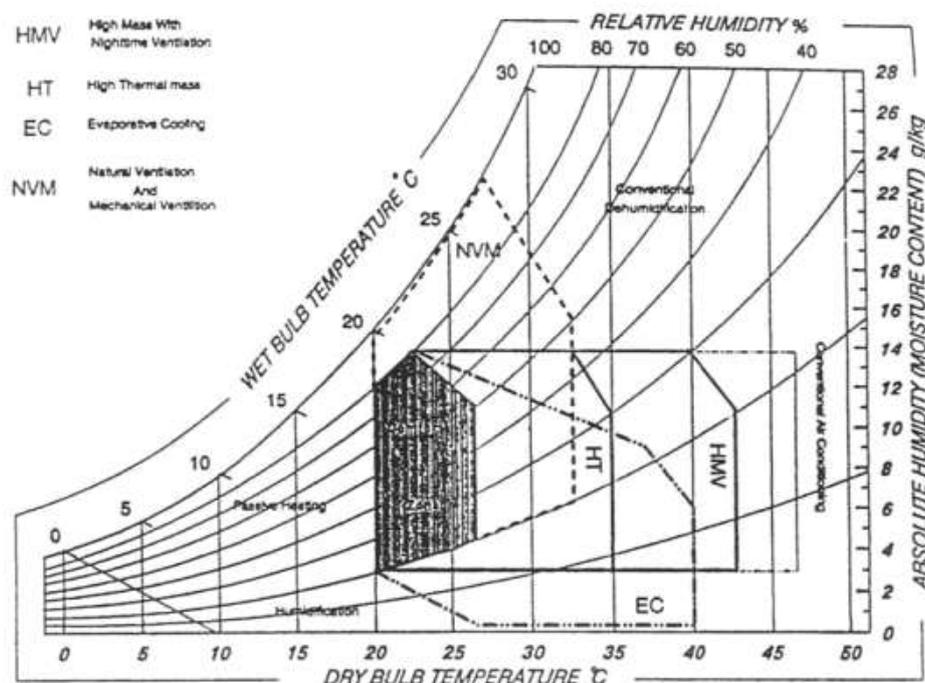


Figure II.9: Le diagramme bioclimatique.

(Source: Sayegh et al, 1998, p.12)

²⁶ SZOKOLAY Vajk Steven, 2008, p.59-63.

2.2.2. Les tables de Mahony.

Les tables de Mahoney sont basées sur les données climatiques suivantes :

- La température de l'air (température mensuelle maximale, température mensuelle minimale, température mensuelle moyenne, température annuelle moyenne);
- L'humidité relative (l'humidité relative mensuelle maximale, l'humidité relative mensuelle minimale, l'humidité relative mensuelle moyenne);
- La vitesse de l'air mensuelle moyenne;
- Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles.

Chaque mois est classé dans un groupe d'humidité selon son humidité relative moyenne. Les limites de confort jour/nuit de chaque mois sont déduites selon le groupe d'humidité et la température moyenne annuelle.

Les classifications d'humidité et de confort sont comparées pour chaque mois pour établir les indications d'humidité et d'aridité.

Les indicateurs d'humidité :

- H1 indique que le mouvement d'air est essentiel.
- H2 indique que le mouvement d'air est désirable.
- H3 indique que la protection contre la pénétration de la pluie est nécessaire.

Les indicateurs d'aridité :

- A1 indique le besoin pour le stockage thermique.
- A2 indique le désir d'un espace pour dormir en plein air.
- A3 indique un problème de saison froide.

Les conditions des indicateurs d'humidité et d'aridité sont vérifiées pour chaque mois, on déduit (obtient) le nombre total de chaque indicateur. Le nombre total de chacun des six indicateurs permet de déduire des recommandations spécifiques et détaillées concernant la conception du projet.

Les recommandations spécifiques sont regroupées dans les 8 thèmes suivants : le plan de masse, l'espacement entre les bâtiments, le mouvement d'air, les fenêtres, les murs, les toitures, les espaces extérieurs, et la protection de la pluie.

Les recommandations détaillées sont regroupées dans les 6 thèmes suivants : les dimensions des fenêtres, l'emplacement des fenêtres, la protection des fenêtres, les murs et les planchers, les toitures, et les éléments extérieurs.²⁷

²⁷ SAYEGH A M H., GALLO C., SALA M., *Architecture, comfort and energy*, éditions Pergamon, Royaume Uni, 1998, 239 p.

CONCLUSION

La démarche bioclimatique exige une connaissance préalable des caractéristiques climatiques de la région où le projet est prévu avant de commencer sa conception. Les caractéristiques du bâtiment sont déterminées à partir de celles du climat afin de profiter de ses conditions favorables (énergie solaire, brises rafraichissantes) tout en se protégeant de ceux qui sont indésirables (chutes de températures, surchauffes, vents froids et forts, humidité élevée). Les caractéristiques du climat local sont déterminées à partir de l'analyse des données climatiques sous forme de moyennes mensuelles relevées dans les stations météorologiques.

Cependant à l'intérieur d'une même région climatique, il existe plusieurs sites qui diffèrent dans la couverture du sol, la proximité des étendues d'eau, l'altitude, le relief, les caractéristiques du milieu urbain, etc. Ces facteurs modifient les caractéristiques du climat régional et engendrent un microclimat propre au site.

Un architecte soucieux d'une intégration climatique réussite de son projet doit commencer par l'analyse des données climatiques régionales, ensuite, il doit la consolider par l'étude du microclimat du site d'implantation du projet.

Par ailleurs, les contraintes du microclimat peuvent être améliorées par l'intégration de la végétation et des plans d'eau au site. En effet, l'implantation d'une rangée d'arbre à feuillage persistant constitue une protection efficace pour un bâtiment exposé aux vents d'hiver. Aussi, Les arbres ou les plans d'eau en milieu urbain humidifient l'air sec, et tempèrent les températures élevées.

Comme le confort thermique est influencé en partie par les éléments du climat, le diagramme bioclimatique intègre les effets combinés de la température et de l'humidité pour déterminer les stratégies bioclimatiques à appliquer durant chaque mois de l'année pour assurer un environnement intérieur confortable lorsque les conditions climatiques sont en dehors de la zone de confort.

En révélant les atouts et les contraintes du site d'implantation du futur projet, les contradictions peuvent être dépassées d'une manière passive, c'est-à-dire par l'orientation et la conception de l'enveloppe du bâtiment tout en limitant le recours aux appareils de chauffage et de climatisation.

TROISIEME CHAPITRE

LES EFFETS DE L'ORIENTATION DU BATIMENT

SUR LE CONFORT THERMIQUE

INTRODUCTION.

Dans le chapitre précédent nous avons rigoureusement sélectionné et mis en adéquation avec les exigences du confort thermique, des éléments climatologiques, donc naturels. Nous découvrons dans ce chapitre qu'on ne peut maîtriser la nature qu'en se soumettant à ses lois. En d'autres termes, nous n'avons fait donc tout ce travail que pour mieux connaître les éléments naturels et nous soumettre à eux en orientant correctement nos bâtiments. C'est dire l'importance de l'orientation du bâtiment dans la quête du confort thermique.

L'orientation se définit comme la direction selon laquelle un bâtiment est érigé par rapport à la direction des vents dominants et par rapport au mouvement apparent du soleil dans le ciel. Elle constitue un facteur très influent sur la dépense énergétique à consentir pour assurer le confort thermique aux habitants du bâtiment.

Si dans les chapitres précédents nous avons estimé que les facteurs climatiques sont essentiels, nous pouvons affirmer maintenant que l'orientation du bâtiment se présente comme indispensable à leur maîtrise, c'est à dire à la maîtrise des facteurs climatiques.

Dans son processus décisionnel sur l'orientation à adopter, l'architecte doit tenir compte:

- Des données climatologiques.
- De la position du bâtiment par rapport aux bâtiments voisins s'il y en a.
- De la position du bâtiment par rapport aux infrastructures de base, surtout la voie publique.
- De la topographie du site et des vues sur le paysage,
- De la proximité d'éventuelles ou potentielles sources de nuisance.¹

Dans le cadre de notre travail sur l'amélioration du confort thermique, nous ne traiterons que les éléments climatologiques à prendre en considération pour le choix de l'orientation. Ensuite, nous présenterons les caractéristiques architecturales et techniques indispensables à l'adaptation de l'énergie solaire et des régimes des flux d'air aux besoins du confort thermique.

¹ **GIVONI** Baruch, *L'homme l'architecture et le climat*, éditions du moniteur, Paris, 1978, p.229, 230.

1. CONSIDERATIONS CLIMATOLOGIQUES AFFECTANT LE CHOIX DE L'ORIENTATION.

L'orientation du bâtiment est une stratégie pour capitaliser et rentabiliser, pour ainsi dire, deux éléments climatiques importants :

- Le rayonnement solaire et ses effets d'échauffement sur les murs et les pièces orientés selon différentes orientations,
- La ventilation naturelle en rapport avec la direction des vents dominants et l'orientation des bâtiments.²

Ces deux éléments sont indissociables et leurs actions sont complémentaires. Leur rentabilisation ne nécessite qu'un peu de bon sens pratique.

2. ENSOLEILLEMENT DES FACADES.

2.1. Intensité du rayonnement solaire sur une surface.

L'angle que font les rayons du soleil avec une surface détermine la densité énergétique que reçoit cette surface. Une surface perpendiculaire à ces rayons intercepte la densité maximale d'énergie. Si l'on incline la surface à partir de cette position perpendiculaire, son éclairage diminue. Cependant, une surface qui s'écarte de 25° de cette position perpendiculaire au soleil, intercepte encore plus de 90 % du rayonnement direct maximum.³

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

Tableau III.1: Pourcentage du rayonnement solaire intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence (Source : Mazria Edward, 1981, p.19)

² GIVONI Baruch, 1978, p.229, 230.

³ MAZRIA Edward, *Le guide de l'énergie solaire passive*, éditions Parenthèses, 1981, p. 18-20.

Une orientation peu décalée à l'orientation optimale ne contrariera que modérément la performance du captage du rayonnement solaire direct.⁴

2.2. Effet de l'orientation d'une surface sur l'intensité du rayonnement solaire reçu.

Il y a de grands écarts entre les quantités de rayonnement solaire tombant sur les différentes façades d'un bâtiment.

- **La façade nord** ne reçoit le rayonnement solaire direct qu'en été au petit matin et à la fin de la soirée. Durant ces moments de la journée, le soleil est bas et ses rayons provoquent un éblouissement difficile à contrôler.

- **Les façades est et ouest** bénéficient des rayons solaires l'une le matin et l'autre le soir qui sont bas sur l'horizon et atteignent les façades sous des incidences proches de la normale, ils sont par conséquent difficiles à maîtriser. L'exposition solaire des deux façades est faible en hiver, mais elle est supérieure à l'orientation sud en été.

Les deux façades reçoivent les mêmes quantités de rayonnement solaire, l'une le matin et l'autre l'après midi. Cependant, au cours d'une même journée, on constate une variation de température entre les deux façades:

- à l'est : la température est la plus basse du fait des nébulosités matinales,
- à l'ouest : la température atteint son maximum en milieu d'après midi.

- **La façade sud** est la plus ensoleillée en hiver car le soleil est bas et ses rayons pénètrent profondément dans les pièces. En été, le soleil est élevé et donc la pénétration de ses rayons dans les pièces est moins profonde. Mais, le rayonnement global reçu reste assez important à cause du rayonnement réfléchi.

Donc, cette orientation associe entre l'interception de la quantité maximale des apports solaires en hiver, et la quantité minimale de ces apports en été.

- **La toiture** reçoit le rayonnement solaire le plus intense en été, mais en hiver, elle reçoit moins de rayonnement qu'une façade sud.⁵

⁴ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, *La conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, éditions terre vivante, Mens, France, 2007, p. 64.

⁵ IZARD Jean Louis, *Architectures d'été, Construire pour le confort d'été*, éditions du sud, La Calade, Aix-en-Provence, 1993, p. 14, 15, 25.

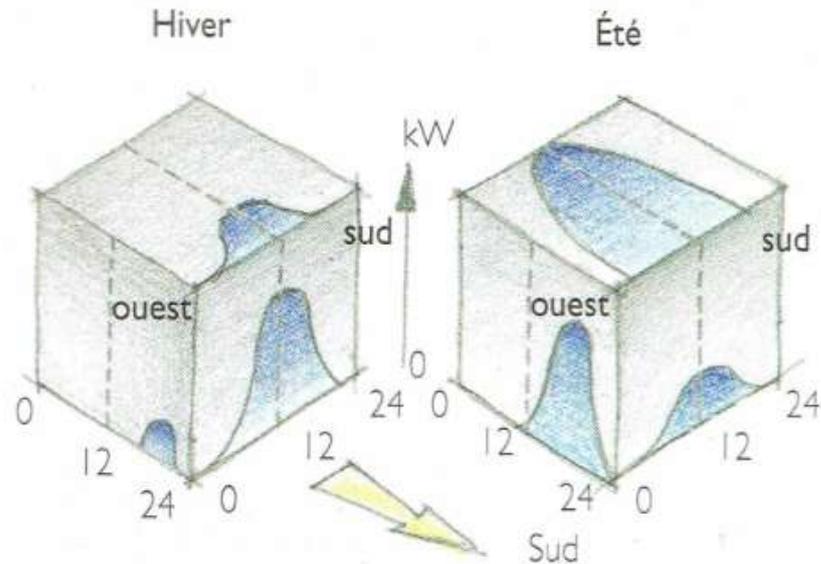


Figure III.1: Puissance solaire reçue en hiver et en été, selon la position de la façade.
(Source: Courgey Samuel, Oliva Jean-Pierre, 2007, p. 44)

2.3. Conditions de l'efficacité de l'ensoleillement.

L'étude menée par Givoni et Hoffman entre 1965 et 1966 a montré que l'influence de l'orientation des façades par rapport au soleil sur la température intérieure du bâtiment dépend de trois facteurs :

- La couleur des surfaces externes,
- Les propriétés thermiques des matériaux de construction, notamment l'isolation et l'inertie thermique,
- La qualité des protections solaires des ouvertures et des murs extérieurs.⁶

2.3.1. Rôle des couleurs des surfaces externes.

La quantité d'énergie radiante absorbée dépend de la couleur de la surface externe des façades. Une couleur claire absorbe une faible quantité d'énergie et la température de surface dépend plus de l'air ambiant. Une couleur sombre absorbe une plus grande quantité d'énergie et la température dépend moins de l'air ambiant.

Le coefficient d'absorption de l'énergie solaire (α) exprime par un nombre compris entre 0 et 1 ($0 < \alpha < 1$) le pourcentage d'énergie incidente absorbée par une surface; il est lié à la couleur de la surface.⁷

⁶ GIVONI Baruch, *L'homme l'architecture et le climat*, éditions du moniteur, Paris, 1978, p.229, 245.

⁷ GIVONI Baruch, 1978, p.229, 230.

Couleur de l'enduit	Pourcentage de l'énergie solaire absorbée
Blanc ou beige.	20 à 30%
Rouge, vert, bleu.	50 à 70 %
Brun sombre, noir.	90%

Tableau III.2: Pourcentage de l'énergie solaire absorbée en fonction de la couleur de l'enduit.

2.3.2. Rôle des propriétés thermiques des matériaux de construction.

Les matériaux de construction reçoivent différemment le rayonnement solaire selon leur degré de transparence ou d'opacité, leur couleur et leur texture de surface. Ils ont aussi des caractéristiques thermiques particulières qui leur permettent de gérer différemment les apports calorifiques et qui sont prises en compte dans la conception des parois qui auront pour mission de capter, stocker, transmettre et/ou de conserver la chaleur. Nous citerons juste quelques unes de ces caractéristiques.

- La conductivité thermique.

Elle est le flux de chaleur qui traverse 1m^2 d'une paroi de 1m d'épaisseur lorsque la différence de température entre les deux faces de cette paroi est de 1°C . Elle est symbolisée par (λ) , et exprimée en watt par mètre et par degré Celsius ($\text{w}/\text{m}^\circ\text{C}$). C'est une caractéristique propre et constante à chaque matériau. Les isolants sont les matériaux à coefficient de conductivité thermique (λ) très bas.

- La résistance thermique.

Elle caractérise la capacité d'un matériau à freiner le flux de chaleur qui le traverse. C'est le rapport de l'épaisseur du matériau (e) sur la conductivité thermique (λ) .

$$R = e / \lambda \quad (\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{w})$$

Plus la résistance thermique est élevée, plus le matériau est isolant.

En pratique, il convient aussi de savoir que presque une paroi est toujours constituée de plusieurs couches de matériaux d'épaisseurs et de conductivités thermiques différentes, les résistances thermiques des différents matériaux s'ajoutent.

- Le coefficient de transmission surfacique. (Coefficient U)

Il représente la quantité de chaleur qui traverse 1m^2 d'une paroi pour une différence de température de 1°C entre les deux faces. C'est tout simplement l'inverse de la résistance thermique de la paroi et s'exprime en $\text{w}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

- La capacité thermique.

La capacité thermique exprime l'aptitude d'un matériau à stocker la chaleur. Elle est symbolisée par (ρc) et exprimée en watt heure par mètre cube degré Celsius ($\text{Wh/m}^3\text{°C}$). Elle est quantifiée par le produit de sa chaleur spécifique (c) par sa masse volumique (ρ).⁸

$$\rho c = \rho \times c \text{ (Wh/m}^3\text{°C)}$$

2.3.3. Rôle des protections solaires.

Lorsque le dispositif de protection solaire n'est pas suffisant, le rayonnement solaire pénètre directement par les fenêtres. Cette énergie radiante est transformée en chaleur (énergie calorifique) qui se trouve piégée vu qu'elle ne peut plus être évacuée vers l'extérieur ni par rayonnement ni par convection non plus.

Vu le volume d'informations relatives à l'isolation, l'inertie thermique, et les protections solaires, chacun de ces trois facteurs sera étudié en détail dans les éléments suivants toujours dans le cadre de "l'ensoleillement des façades", et ce afin d'éviter l'encombrement et la confusion dans l'exposition des informations.

2.4. L'inertie thermique.

L'inertie thermique d'un matériau est déterminée par sa capacité de stockage de la chaleur. Plus elle est forte, plus le temps que met le matériau pour s'échauffer ou se refroidir est grand. L'inertie thermique est donc une caractéristique très intéressante pour atténuer les fluctuations de température dans les locaux et éviter ainsi les surchauffes comme les chutes de température.

En été, une bonne inertie thermique permet d'absorber et de répartir les pics de chaleur diurnes pour les rendre supportables. La nuit, la ventilation naturelle doit être performante afin d'évacuer la chaleur et stocker le maximum de fraîcheur, qui grâce au déphasage, sera restituée petit à petit à l'intérieur du bâtiment pendant la journée permettant un refroidissement plus lent.

En hiver, l'énergie solaire qui pénètre par les fenêtres est transformée instantanément en chaleur. Si les parois intérieures présentent une bonne inertie thermique, l'énergie excédentaire ne se transformera pas en surchauffe; elle sera stockée dans les parois et sera restituée petit à petit en temps opportun permettant un réchauffement plus lent.

Notons qu'il existe un décalage chronologique entre le moment où l'énergie est fournie et celui où elle est restituée, on parle de déphasage. Si un mur à forte inertie thermique est correctement dimensionné, un déphasage de 12heures peut être obtenu : on restitue alors à la nuit la chaleur du jour, et on restitue au jour la fraîcheur de la nuit.

⁸ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, *La conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, éditions terre vivante, Mens, France, 2007, p.82.

En été, comme en hiver, le déphasage est fondamental pour obtenir un confort thermique optimal et un maximum d'économie d'énergie. Le temps de déphasage (T) est égal à :

$$T = 1,38.e.\sqrt{Pc/\lambda} \text{ (H)}$$

Cependant, l'inertie thermique seule n'est pas suffisante pour qualifier thermiquement une paroi. Selon sa constitution, son épaisseur, et quelques autres paramètres, elle présentera un déphasage variable qu'il sera judicieux d'adapter à l'effet recherché.⁹

2.5. L'isolation thermique.

L'isolation thermique consiste à disposer une barrière sur les voies que suit la chaleur pour s'échapper de l'intérieur du bâtiment vers l'extérieur en hiver ou pour envahir l'intérieur du bâtiment en été. Son rôle consiste à maîtriser les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

2.5.1. Modes de déperditions de chaleur.

En effet, pour concevoir une isolation efficace, il est nécessaire de connaître les modes de déperditions calorifiques. Citons :

- Les déperditions surfaciques à travers les parois, qu'elles soient opaques ou vitrées. Elles sont particulièrement élevées à travers les vitres qui sont plus difficiles à isoler. Elles représentent jusqu'à 60% de l'ensemble des déperditions.
- Les déperditions par les ponts thermiques. Elles sont variables selon les techniques de construction et les systèmes d'isolation utilisés. Elles représentent de 5 à 25% de l'ensemble des déperditions.
- Les déperditions par renouvellement d'air. Elles comprennent la ventilation indispensable, mais aussi les infiltrations non contrôlées (étanchéité, diverses conduites) qui augmentent avec la vitesse du vent.¹⁰

2.5.2. Nature de l'isolant.

Rappelons brièvement que le vide ne conduit pas la chaleur, l'air ne conduit la chaleur que lorsqu'il est en mouvement; par conséquent il doit être immobile pour être isolant. Cette immobilité s'obtient en l'enfermant dans des alvéoles fermées; celles-ci doivent être les plus petites possibles afin de fragmenter le mouvement d'air par convection. Ensuite, la minceur des parois interalvéolaires réduit au minimum les transferts d'énergie par conduction entre elles.

Un isolant de qualité est donc un matériau de très faible densité comportant un très grand nombre de cellules les plus petites possibles et contenant un maximum d'air. Voilà

⁹ DUTREX Armand, *Bioclimatisme et performances énergétiques des bâtiments*, éditions Eyrolles, Paris, Cedex, 2010, p.84.

¹⁰ OLIVA Jean-Pierre, *L'isolation écologique, conception, matériaux, mise en œuvre*, éditions Terre vivante, Mens, France, 2007. p.17.

pourquoi il n'existe pas dans le commerce d'isolants de faible épaisseur; un isolant peu épais n'enferme qu'un faible volume d'air et se révèle inefficace.¹¹

2.5.3. Emplacement de l'isolant.

Emplacement de l'isolation	Avantages	Inconvénients
Isolation intérieure	<ul style="list-style-type: none"> - Permet un réchauffement rapide dans les locaux à occupation intermittente. - Peut se réaliser pièce par pièce, ce qui permet un étalement des dépenses et un chantier évolutif. - Peut s'effectuer en toute saison. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible inertie, - Laisse des ponts thermiques irrésolus. - Entraîne des travaux de rénovation importants pour des pièces déjà habitées. - Laisse la structure du mur plus vulnérable car exposée aux chocs thermiques. - Entraîne une diminution de la surface habitable. - Mise en œuvre contraignante: gêne pour le passage des canalisations et des prises électriques.
Isolation extérieure	<ul style="list-style-type: none"> - Forte inertie, - Réduit un nombre important de ponts thermiques. - Préserve le mur des chocs thermiques et lui assure donc une plus grande pérennité. - peut être couplé à un ravalement des façades si celui-ci est prévu ou nécessaire. - Peut s'effectuer mur par mur. - Pas d'intervention de l'intérieur pour les logements occupés. 	<ul style="list-style-type: none"> - Travail de gros œuvre réservé aux professionnels. - Risques de problèmes de gestion du surplus d'humidité si le complexe isolant n'est pas suffisamment poreux.

Tableau III.3: Comparaison entre les avantages et les inconvénients de l'isolation intérieure et extérieure. (Source : Guide de l'Ademe, Isoler son logement, 2013, p. 24-26)

¹¹ OLIVA Jean-Pierre, 2007, p.17, 18.

2.5.4. Cas particulier des ponts thermiques.

Les ponts thermiques sont les parties de l'enveloppe d'un bâtiment où sa résistance thermique est affaiblie de façon sensible. Nous avons déjà vu qu'ils peuvent être responsables de 5 à 25% des déperditions. Il est très important aussi de savoir qu'ils sont également:

- La source de surconsommation par le chauffage pour atténuer la sensation d'inconfort par le rayonnement froid et aux mouvements de l'air créés par la présence de zones froides.
- Le siège de condensation pouvant entraîner une pollution de l'atmosphère intérieure et une dégradation prématurée du bâti.

Ces problèmes peuvent être atténués par des débits de ventilation amplifiés, ce qui entraîne une augmentation des déperditions thermiques.¹²

La figure ci-dessous indique les localisations des ponts thermiques.

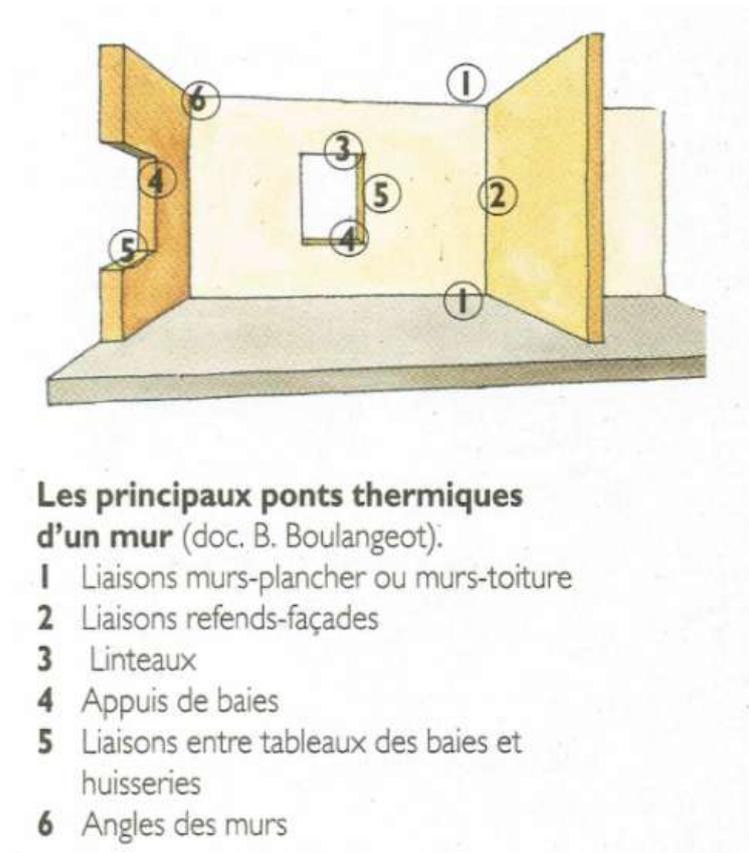


Figure III.2: Localisations des principaux ponts thermiques.
(Source : OLIVA Jean-Pierre, 2007, p.17)

¹² OLIVA Jean-Pierre, 2007. p.77.78.

2.6. Les protections solaires.

Lorsque le dispositif de protection solaire n'est pas suffisant, le rayonnement solaire pénètre directement par les fenêtres. Cette énergie radiante est transformée en chaleur (énergie calorifique) qui se trouve piégé vu qu'elle ne peut plus être évacuée vers l'extérieur ni par rayonnement ni par convection non plus.

Les fenêtres peuvent avoir un effet très important sur les conditions thermiques internes. Le gain de chaleur apporté par une surface vitrée (transparente) exposée au soleil est un grand nombre de fois plus élevé que celui qu'apporte une surface égale de mur ordinaire et les effets se font sentir immédiatement sans le moindre déphasage.

Mais lorsqu'on applique des systèmes d'occultation en combinaison avec le vitrage, il est possible de modifier de façon significative les effets thermiques des fenêtres, et cela nous permettrait essentiellement d'économiser beaucoup d'énergie.

Les systèmes d'occultation peuvent être employés soit à l'intérieur, soit à l'extérieur, soit entre deux vitres. Ils peuvent être fixes ou réglables, et peuvent présenter une variété d'aspects architecturaux.¹³

2.6.1. Les protections solaires fixes.

Elles font partie intégrante de l'architecture du bâtiment telles que les débordements de toiture, les encorbellements, les auvents, etc.

Les protections solaires fixes ne peuvent pas être réglées en fonction des variations de la position du soleil et les exigences de protection qui peuvent varier d'une saison à l'autre et même aux différentes heures de la journée. Leur efficacité dépend de l'interaction de leur forme géométrique, de leur orientation et des régimes diurnes et annuels du mouvement du soleil.

Il existe deux types de dispositifs d'occultation fixes: horizontaux et verticaux. Ils peuvent également être combinés en "boîtes à œufs".

Les protections fixes horizontales sont plus efficaces pour les fenêtres orientées au sud. En hiver, elles permettent le passage du rayonnement solaire en raison de la hauteur basse du soleil. En été, elles protègent du rayonnement solaire grâce à la hauteur élevée du soleil. Mais elles ne peuvent pas supprimer le problème d'éblouissement en hiver.

Les protections fixes verticales sont plus efficaces dans la protection des fenêtres orientées à l'Est et l'Ouest. Cependant, elles ne peuvent pas résoudre le problème d'éblouissement due au soleil bas de l'hiver le matin et la fin de l'après midi.¹⁴

¹³ GIVONI Baruch, *L'Homme, l'architecture et le climat*, éditions du moniteur, Paris, 1978, p.253.

¹⁴ GIVONI Baruch, 1978, p. 261-262.

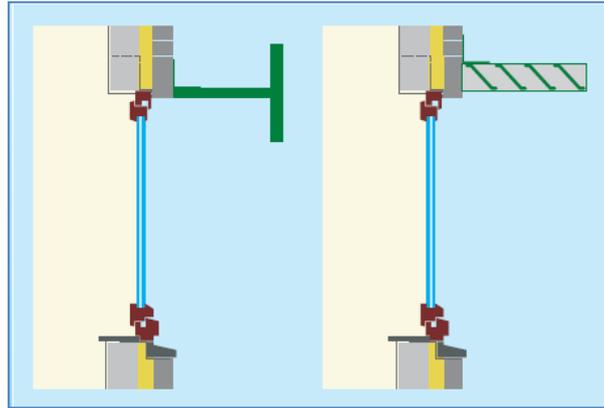


Figure III.3: Des protections solaires fixes.
(Source: LIEBARD Alain, DE HERDE André, 2005, p. 283b).

2.6.2. Les protections solaires réglables.

A titre de rappel signalons rapidement que les dispositifs d'occultation réglables peuvent être:

- Remontés, enroulés ou tirés de la fenêtre, mais certains sont seulement réglables selon leur angle d'inclinaison.
- Disposés à l'extérieur (persiennes, stores de toile, lames..) ou à l'intérieur (Rideaux, stores vénitiens..) ou positionnées entre les vitres de la fenêtre.
- Ajustés quotidiennement ou saisonnièrement à la variation de la position du soleil et aux besoins de protection.

Donc leur performance peut être meilleure que celle des dispositifs fixes.

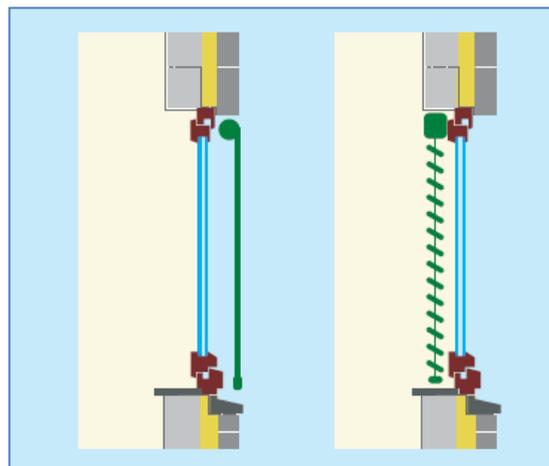


Figure III.4: Des protections solaires réglables.
(Source: LIEBARD Alain, DE HERDE André, 2005, p. 283b).

Toutefois, la position des dispositifs d'occultation réglables par rapport au vitrage détermine leur efficacité. Disant simplement que les dispositifs externes sont plus efficaces que les internes car ils interceptent le rayonnement solaire avant qu'il n'atteigne l'intérieur de la pièce.¹⁵

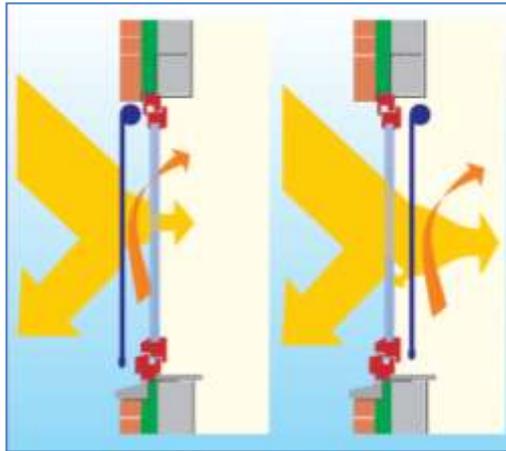


Figure III.5: Comportement d'une protection solaire par rapport à la chaleur selon sa position.
(Source: LIEBARD Alain, DE HERDE André, 2005, p. 283b).

Les dispositifs fixes ne nécessitent pas de manipulation ou d'entretien de la part des habitants, mais, ils ne suppriment pas le problème d'éblouissement sur les façades Est et Ouest en été. Alors que les dispositifs réglables sont plus souples et s'adaptent mieux à la dynamique du mouvement du soleil, permettant un meilleur contrôle de l'énergie solaire incidente et de l'éblouissement.¹⁶

2.6.3. Les éléments architecturaux.

Les éléments architecturaux peuvent remplir la fonction de protections solaires. L'implantation des bâtiments peut constituer une mesure de protection solaire. Ceci explique pourquoi dans les villes à climat chaud, les rues entre les édifices sont disposées d'Est en Ouest, alors que dans les régions plus froides ou peu ensoleillées, le droit naturel au soleil a donné naissance à des lois interdisant à tout bâtiment de porter ombre excessive à son voisinage.¹⁷

2.6.4. La végétation.

La plantation rationnelle de la végétation autour du bâtiment permet de moduler les apports solaires en fonction des saisons. La végétation peut être attenante au bâtiment (les pergolas, les treillis) ou lointaine (les arbres et les arbustes).

¹⁵ GIVONI Baruch, 1978, p.253.

¹⁶ SANTAMOURIS Mat, ASIMAKOPOULOS D., *Passive cooling of building*, éditions Earthscan, Royaume Unie, 2013, p.334, 335.

¹⁷ GIVONI Baruch, 1978, p.253.

L'intérêt de ces dispositifs est que leur rythme végétatif accompagne les besoins du bâtiment. Leur ombre portée est rafraichissante en été, et l'absence de feuilles en hiver permet au rayonnement solaire d'atteindre la façade.¹⁸

Les pergolas et les arbres à feuillage caduc sont les plus adaptés à l'orientation sud, en offrant l'ombre maximale en été, et en se dépouillant de leurs feuilles en hiver lorsqu'on a besoin d'ensoleillement.

Une rangée d'arbustes serrés plantés à distance d'une fenêtre ouest permet de résoudre le problème de l'éblouissement. Les plantes grimpantes sont aussi efficaces pour l'occultation des façades Est et Ouest.¹⁹

Le choix des essences nécessite de prendre en compte plusieurs paramètres tels que: la dimension des masques, l'ombre portée par les branches de l'arbre en hiver, la hauteur de l'arbre à maturité, la vitesse de croissance, l'apparence des feuilles et leur chute, et la distance des branches au sol. Ces paramètres changent énormément d'une essence à l'autre.²⁰

2.6.5. L'indicateur d'occultation solaire.

L'indicateur d'occultation est utilisé en superposition avec le diagramme solaire pour toute latitude et il peut être tourné dans n'importe quelle direction.²¹

Il se compose de deux réseaux de lignes : les courbes en arc prenant appui aux deux extrémités de la base de l'indicateur servent à étudier les avancées horizontales, et les lignes radiales les servent à étudier les avancées verticales.

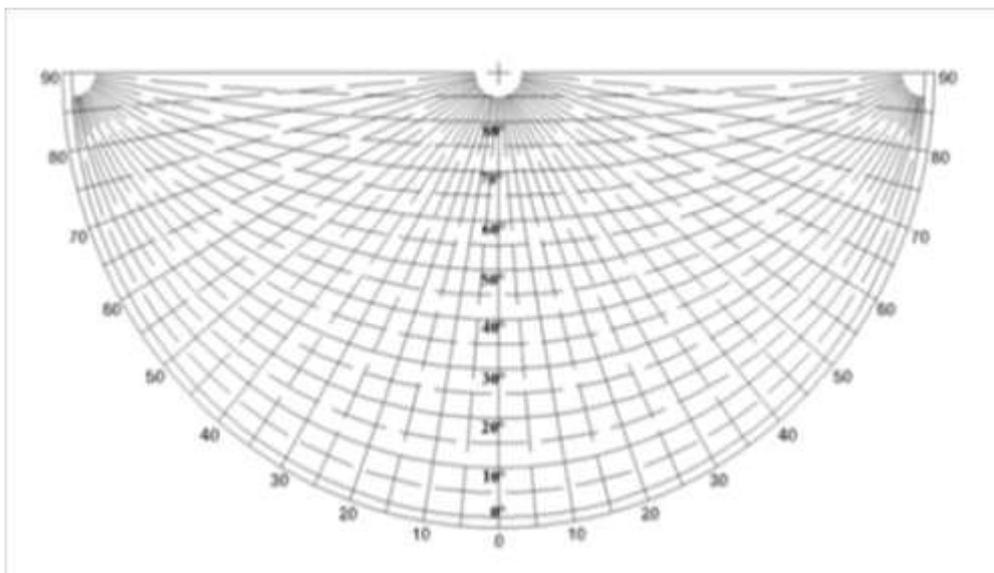


Figure III.6: L'indicateur d'occultation.

¹⁸ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, *La conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, éditions Terre vivante, Mens, France, 2007, p.126.

¹⁹ SANTAMOURIS Mat, ASIMAKOPOULOS D., 2013, p.336.

²⁰ SANTAMOURIS Mat, ASIMAKOPOULOS D., 2013, p.126.

²¹ GIVONI Baruch, *L'Homme, l'architecture et le climat*, éditions du moniteur, Paris, 1978, p.220.

Les heures et les dates où l'occultation est désirée sont marquées sur le diagramme solaire polaire. Ensuite, l'indicateur d'occultation est superposé sur le diagramme solaire polaire et orienté selon l'orientation des fenêtres. Les angles verticaux (VSA) et horizontaux (HSA) d'occultation sont déterminés à partir du diagramme d'occultation.

La dimension du dispositif de protection solaire est déterminée par la relation entre l'angle d'occultation horizontal ou vertical et la hauteur de la fenêtre.²²

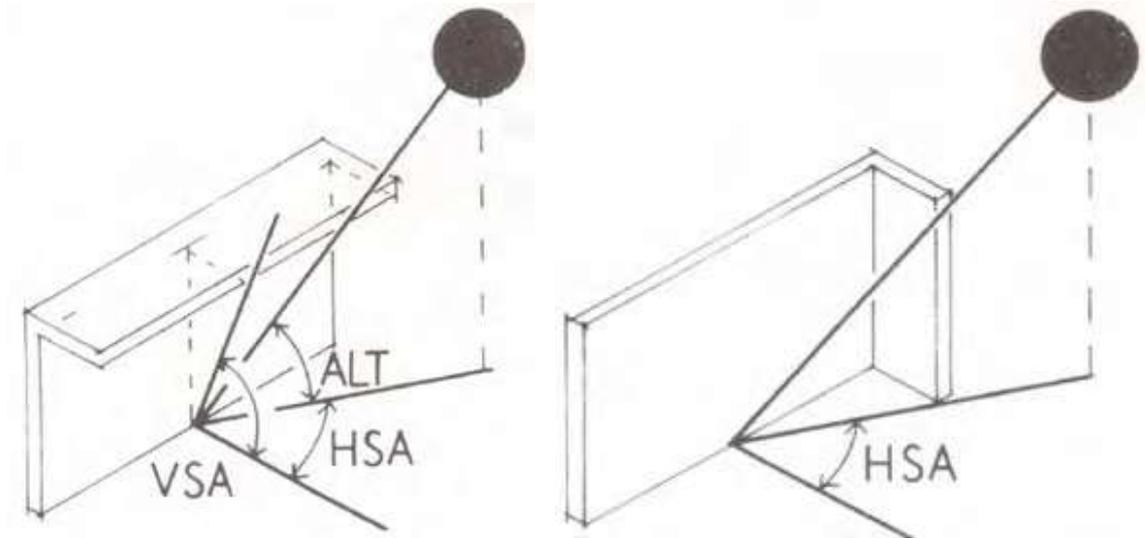


Figure III. 7: L'angle d'occultation horizontal (HSA) et l'angle d'occultation vertical (VSA). (Source: SZOKOLAY Steven, 2007, p. 23)

3. VENT ET VENTILATION NATURELLE.

L'orientation des fenêtres d'une façade par rapport à la direction des vents dominants a une influence remarquable sur l'économie de la quantité d'énergie calorifique qui a traversé le mur ou pénétré directement par les ouvertures.²³

3.1. Définition et rôle du vent et de la ventilation.

Le vent est un déplacement d'air à la surface du globe des zones de hautes pressions (masses d'air frais) vers les zones de basses pressions (masses d'air chaud).

La ventilation est l'ensemble des flux d'air qui traversent un bâtiment. Elle assure trois fonctions:

- Le maintien de la qualité de l'air dans le bâtiment grâce au remplacement de l'air vicié du fait de l'occupation par de l'air frais venant de l'extérieur.
- La création du confort thermique en augmentant les pertes de chaleur du corps et en le protégeant de l'inconfort dû à la moiteur de la peau.
- le refroidissement de la structure du bâtiment lorsque la température intérieure dépasse celle de l'extérieur.

²² SZOKOLAY Steven, 2007, p. 16.

²³ GIVONI Baruch, 1978, p.229, 230.

L'importance relative de chacune de ces fonctions dépend des conditions climatiques dominantes au cours des différentes saisons et selon les régions.²⁴

3.2. Mécanismes physiques de la ventilation.

Les flux d'air qui traversent un bâtiment sont provoqués par la présence d'un gradient de pression. Les différences de pression peuvent avoir deux origines : la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur et la force du vent.

3.2.1. Le thermosiphon.

La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment crée une charge motrice égale à la somme des pertes de charge subies par l'écoulement à travers les orifices d'entrée, la traversée des espaces, les étroitures et à travers les orifices ou les canaux de sortie. Ce mécanisme est appelé le thermosiphon.

Pour que le thermosiphon fonctionne avec un débit appréciable, il faut que la température intérieure soit nettement supérieure à celle de l'extérieur. Cela signifie que le thermosiphon n'est pas la solution de ventilation adéquate pendant les canicules ou dans les climats chauds.

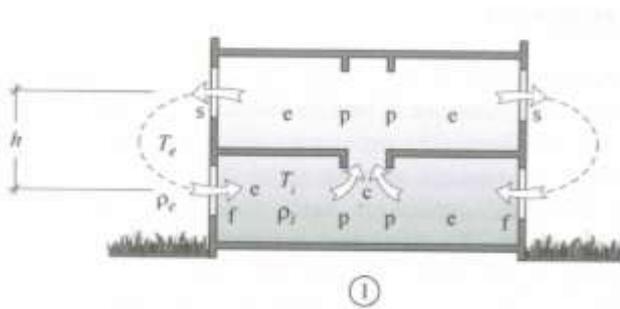


Figure III.8: L'effet thermosiphon dans un bâtiment à plusieurs niveaux.

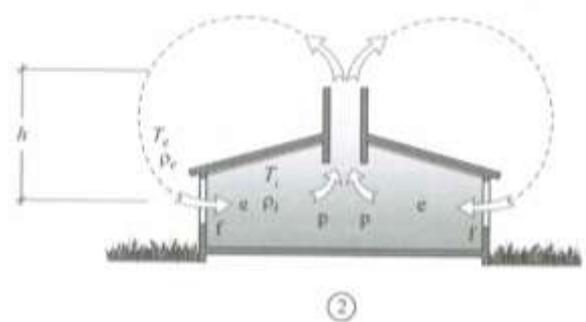


Figure III.9: La concrétisation d'une cheminée pour augmenter la hauteur h de l'effet thermosiphon

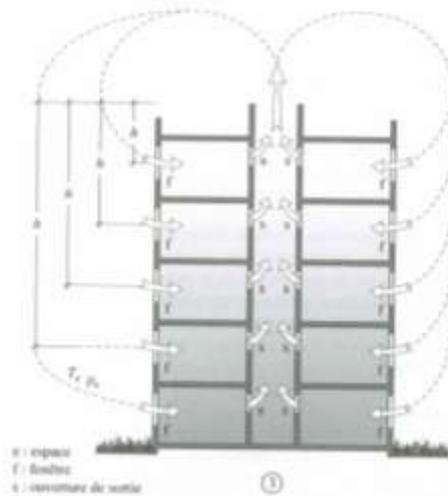


Figure III.10: La variation de la charge motrice de l'effet thermosiphon dans chaque niveau avec la variation des hauteurs h des cheminées.

²⁴ GIVONI Baruch, 1978, p. 275.

L'air frais plus lourd que l'air tiède a tendance à prendre sa place, puisque l'air tiède allégé tend à s'élever. Les entrées d'air sont en partie basse et les sorties d'air en partie haute.²⁵

3.2.2. La force du vent.

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 la façade sous le vent la pression est réduite (zone de dépression). De cette manière, il se crée des différences de pression sur le bâtiment. La figure ci-dessous décrit la répartition des pressions autour du bâtiment selon la direction du vent.

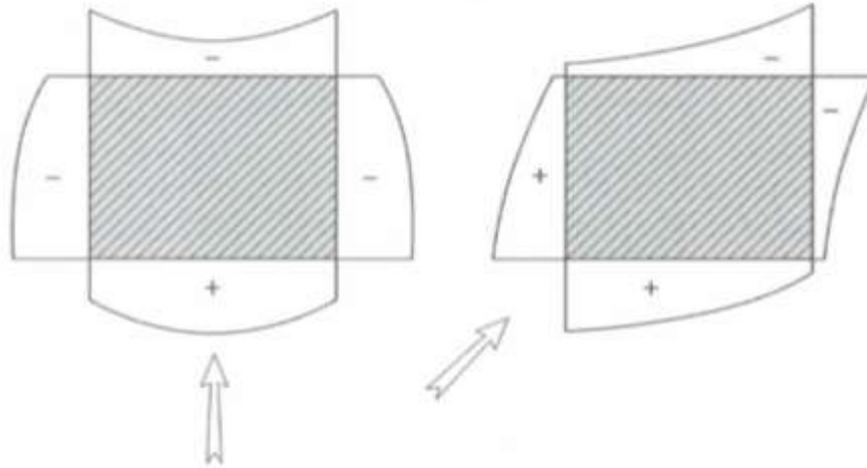


Figure III.11: Répartition des variations de pression autour d'un bâtiment. selon la direction du vent. (Source: Fernandez Pierre, Lavigne Pierre, 2009, p. 266)

En l'absence de vent, la ventilation se fait naturellement de la façade à l'ombre en surpression vers la façade ensoleillée en dépression puisque plus chaude.

Les flux réels que l'on rencontre dans les bâtiments résultent des effets combinés de la force thermique et de la force du vent. Comme le thermosiphon s'avère fréquemment insuffisant, c'est autant sur la force du vent qu'il faut compter.²⁶

3.3. Maîtrise de la distribution de la vitesse de l'air à l'intérieur.

Dans les divers espaces d'un bâtiment bien ventilé, il y a un courant d'air principal et des tourbillons avec des zones mortes. Seuls les courants principaux nous intéressent. Ces courants sont influencés par leurs directions d'entrée qui elles-mêmes dépendent des obstacles de la façade et des types des ouvertures. Les tubes des courants principaux dépendent, eux, des caractéristiques des ouvertures et la subdivision de l'espace intérieur.

²⁵ FERNANDEZ Pierre, LAVIGNE Pierre, *Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes*, éditions le moniteur, Paris, France, 2009, p.263.

²⁶ GIVONI Baruch, *L'homme l'architecture et le climat*, éditions Le moniteur, 1979, Paris, p.275, 301.

Les meilleures conditions de ventilation sont obtenues si le flux d'air doit changer de direction à l'intérieur de la pièce et lorsqu'il se déplace directement de l'ouverture d'entrée à l'ouverture de sortie.

La vitesse maximale des flux d'air à travers une pièce est obtenue lorsque la taille de l'ouverture de sortie soit supérieure à celle de l'ouverture d'entrée.

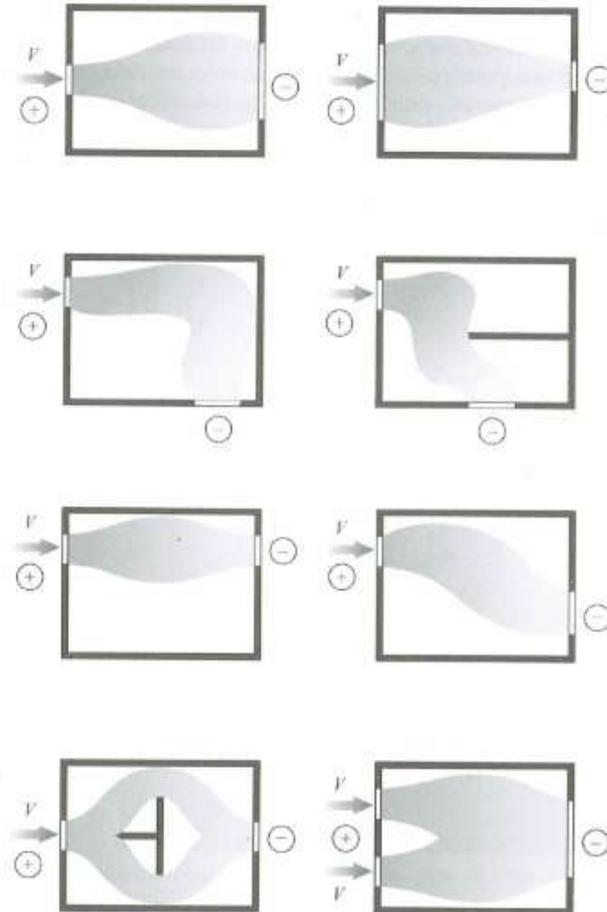


Figure III. 12: Exemples d'écoulement des flux d'air dans divers volumes.
(Source: Fernandez Pierre, Lavigne Pierre, 2009, p. 268)

L'orientation de la vitesse d'entrée par des obstacles de la façade a un effet déterminant sur la formation des tubes de courants d'air dans les volumes. La position verticale de la fenêtre d'entrée influence sur la direction et la vitesse des flux d'air.²⁷

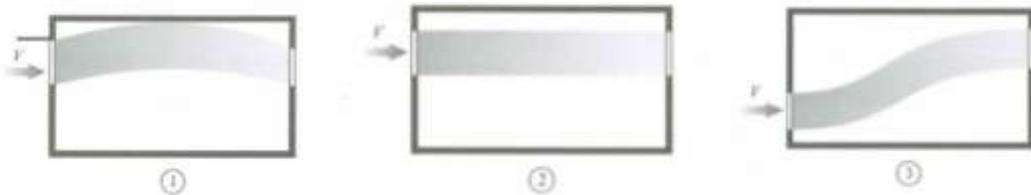


Figure III.13: Exemples d'écoulement dans diverses conditions d'ouvertures.
(Source: Fernandez Pierre, Lavigne Pierre, 2009, p. 269)

²⁷ FERNANDEZ Pierre, LAVIGNE Pierre, 2009, p. 266.

3.4. La ventilation nocturne.

Selon le principe de la ventilation nocturne, l'inertie thermique utilisée pour stocker la chaleur, convient également pour stocker la fraîcheur.

La ventilation nocturne est intéressante en été lorsque la température de l'air extérieur s'abaisse au dessous de celle de l'air intérieur. Elle permet à l'air frais de chasser l'air chaud et donc de rafraichir la structure du bâtiment pendant la nuit. Elle exige de tenir les ouvertures fermées pour empêcher la pénétration de la chaleur du jour, et de les ouvrir la nuit pour évacuer la chaleur précédemment accumulée dans les parois extérieures.

L'ouverture nocturne des portes et des fenêtres facilite la circulation des brises rafraichissantes, et régule ainsi la température radiante moyenne de l'ambiance intérieure.²⁸

4. LA DISPOSITION DES PIÈCES SELON LEURS BESOINS THERMIQUES.

Les pièces les plus occupées, qui ont le plus de besoins de chauffage en hiver, doivent être alignées sur la façade sud afin de bénéficier des apports de l'énergie solaire.

Les pièces les moins occupées et pour lesquelles les besoins de chauffage et d'éclairage sont les plus faibles (salle de bain, WC, cage d'escalier, etc.) doivent être alignées le long de la façade nord, elles servent d'espace tampon entre le côté nord froid et les espaces chauffés.²⁹

Par ailleurs, les salles de bain, les WC et la cuisine doivent être disposées le long de la façade sous le vent.³⁰

²⁸ **IZARD** Jean Louis, *Architectures d'été, Construire pour le confort d'été*, éditions du sud, La Calade, Aix-en-Provence, 1993, p. 63.

²⁹ **MAZRIA** Edward, *Le guide de l'énergie solaire passive*, éditions Parenthèses, 1981, p. 75.

³⁰ **GIVONI** Baruch, *L'Homme, l'architecture et le climat*, éditions du moniteur, Paris, 1978, p. 245.

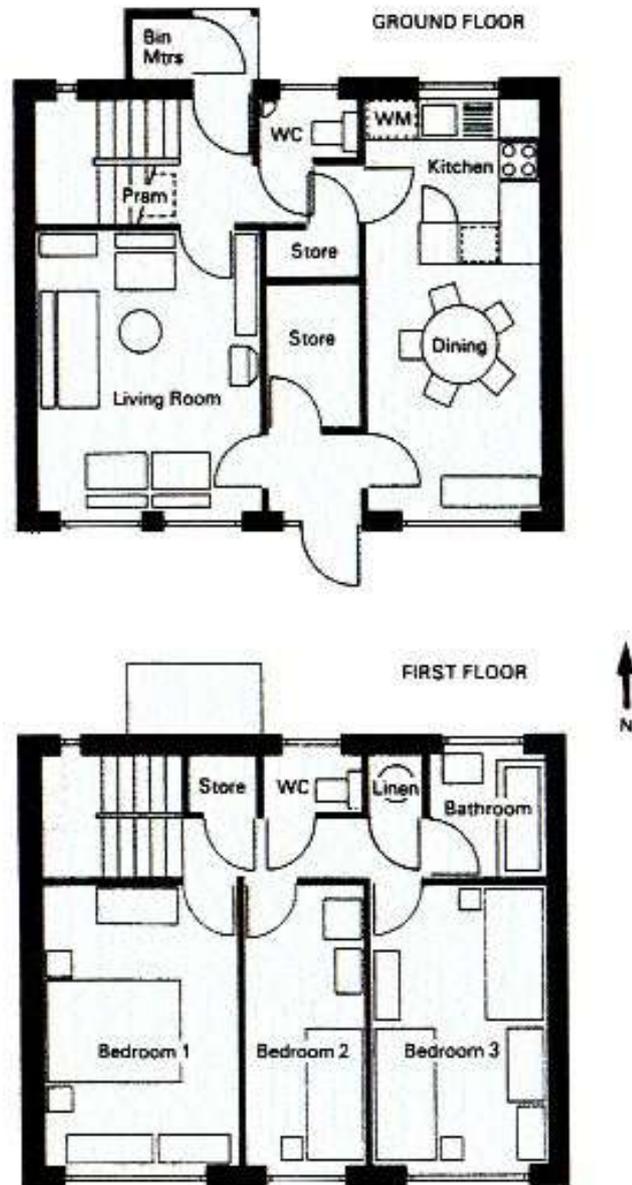


Figure III. 14: Disposition des pièces selon leurs besoins thermiques dans des plans d'une maison solaire type (Source: Brian Edwards, p. 24).

CONCLUSION

Le choix de l'orientation du bâtiment apparaît maintenant comme une étape cruciale engageant grandement la responsabilité de l'architecte. Mais ne dit-on pas que pour bien faire il faut bien commencer?!

L'orientation optimale est l'orientation sud parce qu'elle associe entre l'interception de la quantité maximale de l'énergie solaire en hiver et la quantité minimale en été. A l'inverse, les orientations est, ouest et la toiture reçoivent la quantité maximale de l'énergie solaire en été et la quantité minimale en hiver. C'est pourquoi, le bâtiment doit être d'une forme allongée selon l'axe est-ouest pour que la grande façade soit exposée au sud, tandis que les façades les plus réduites soient exposées à l'est et l'ouest.

L'orientation du bâtiment est à corrélérer avec la répartition des surfaces vitrées. Elles doivent être concentrées sur la façade sud pour favoriser les apports d'énergie solaire en hiver, et limitées sur les façades est et ouest pour réduire les surchauffes en été, et plus limitées sur la façade Nord pour réduire les déperditions thermiques en hiver.

Cependant, l'orientation adéquate du bâtiment s'avère insuffisante à assurer le confort thermique. La quantité de l'énergie solaire et le régime du flux d'air doivent être contrôlés par les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment à savoir: la couleur des surfaces externes, l'isolation thermique des parois extérieures, l'inertie thermique des parois extérieures et intérieures, et la protection solaire des fenêtres et des murs extérieurs.

La couleur des surfaces externes doit être choisie en fonction de l'intensité de l'énergie solaire sur chaque paroi extérieure du bâtiment. Les couleurs claires à faible coefficient d'absorption solaire sont recommandées pour les façades est, ouest et la toiture. Les couleurs à coefficient d'absorption plus élevées sont recommandées pour la façade sud.

Les matériaux des parois extérieures et intérieures des pièces orientées au sud doivent avoir une bonne inertie thermique et un temps de déphasage suffisant permettant de stocker l'énergie solaire pendant la journée, et la restituer petit à petit la nuit soit pour le chauffage en hiver, soit pour la dissiper par la ventilation naturelle en été.

L'emplacement des isolants thermiques sur la face externe des parois extérieures réduit les déperditions de chaleur vers l'extérieur en hiver, et l'envahissement de l'intérieur par la chaleur externe en été.

La protection solaire du bâtiment en été nécessite l'intégration de dispositifs d'occultation fixes ou réglables aux fenêtres, ainsi que l'occultation des murs extérieurs par la disposition de rangées d'arbres à feuillage caduc du sud à l'ouest du bâtiment.

L'orientation par rapport aux vents dominants détermine l'efficacité de la ventilation naturelle. Cependant, pour qu'un bâtiment soit efficacement ventilé, il ne suffit pas qu'il soit exposé au vent, il faut que le vent puisse le traverser. Une ventilation traversante exige la disposition des ouvertures d'entrée et de sortie des flux d'air, l'une en surpression et l'autre en dépression, dans deux directions différentes pour que l'air change de direction pendant sa traversée de la pièce. La taille de la fenêtre de sortie doit être surdimensionnée par rapport à celle de la fenêtre d'entrée pour assurer une vitesse maximale du flux d'air. La direction des flux d'air dans la pièce est déterminée par la position verticale de la fenêtre d'entrée.

QUATRIEME CHAPITRE

LE LOGEMENT SOCIAL: UN LEVIER POUR L'EFFICACITE ENERGETIQUE

INTRODUCTION

L'Algérie connaît une production massive des logements sous la pression de la forte demande cumulée depuis des décennies. Les mesures d'économie d'énergie et de confort thermique ont été totalement négligées dans la conception des logements, ce qui justifie la forte consommation de ce secteur. Cette consommation est appelée à augmenter au regard des programmes de logements en cours.

Les logements sociaux inconfortables et énergivores causent plusieurs difficultés à leurs habitants à faible revenu. Le manque de confort thermique, surtout en hiver, a des conséquences sur leur santé. Les dépenses consacrées au paiement des factures d'énergie constituent une part importante de leur faible revenu. Les difficultés qu'affrontent les habitants exigent de repenser la conception de ces logements sur le plan du confort thermique et de l'économie de l'énergie.

Après un aperçu sur le cadre réglementaire relatif à l'efficacité énergétique et sur les politiques du logement, nous essayons de déterminer les causes et les conséquences de la négligence de l'efficacité énergétique dans le secteur du logement. Ensuite, nous abordons les difficultés dont souffrent les habitants et les intérêts de la conception de logements sociaux confortables et économes en énergie. Nous terminons par le programme ECOBAT qui constitue le premier programme de logements sociaux économes en énergie, et ce pour connaître les mesures incitatives et les recommandations architecturales qui caractérisent ce type de logement.

1. L'ETAT DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE LOGEMENT.

1.1. Le cadre réglementaire et législatif de l'efficacité énergétique.

1.1.1. Les lois

L'économie de l'énergie dans le logement est dirigée par deux lois cadres :

- La loi N° 99-09 du 28 Juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie.

Cette loi a pour objet de définir les conditions, les moyens d'encadrement et la mise en œuvre de la politique nationale de la maîtrise de l'énergie.

La maîtrise de l'énergie désigne l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en vue de :

- L'utilisation rationnelle de l'énergie par l'optimisation de la consommation d'énergie aux différents niveaux de la production de l'énergie, de la transformation d'énergie et la consommation dans les secteurs de l'industrie, du transport, du tertiaire et du domestique.
- Le développement des énergies renouvelables par l'introduction et la promotion des filières des énergies renouvelables (l'énergie solaire, la géothermie, la biomasse, l'électricité hydraulique, et l'énergie éolienne).
- La réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement par la réduction des émissions des GES et des gaz d'échappement en milieu urbain.

La loi prévoit des normes et des exigences pour l'efficacité énergétique et l'économie de l'énergie dans le secteur du bâtiment, ils concernent :

A - L'isolation thermique dans les bâtiments neufs

La réglementation thermique dans les bâtiments neufs s'applique à la conception et à la construction des bâtiments, elle détermine:

- Les catégories de bâtiments et les normes de rendement énergétique y afférentes, selon les données climatiques des lieux où sont situés les bâtiments;
- Les normes techniques relatives à la construction se rapportant à la résistance thermique, à l'étanchéité des ouvertures de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment, à la qualité des matériaux d'isolation et leur mode d'installation, à la fenestration, aux dispositifs des systèmes de chauffage ou de climatisation;
- Les modalités relatives à la certification et au contrôle de conformité avec les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie.

A titre provisoire, le caractère obligatoire de l'isolation thermique ne s'applique pas aux bâtiments individuels.

B - Les appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers

Les rendements énergétiques des appareils doivent être étiquetés sur les appareils et leur emballage.

Par ailleurs, la loi prévoit le lancement d'un programme national pour la maîtrise de l'énergie (PNME), il regroupe l'ensemble des projets, des mesures et des actions dans les domaines suivants:

- L'économie d'énergie,
- La promotion des énergies renouvelables,
- L'élaboration des normes d'efficacité énergétique,
- La réduction de l'impact énergétique sur l'environnement,

- La sensibilisation, l'éducation, l'information et la formation en matière d'efficacité énergétique,
- La recherche et le développement en efficacité énergétique.

Pour le financement du programme, la loi prévoit la création d'un fond spécial intitulé le fond national de la maîtrise de l'énergie (FNME).

- la loi N°04-09 du 14 Aout 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable

Cette loi a pour objectif de définir les modalités de promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.

La loi commence par la définition des intérêts de la promotion des énergies renouvelables à savoir:

- Protéger l'environnement en favorisant le recours à des sources d'énergie non polluantes,
- Contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique par la réduction des émissions des GES.
- Participer au développement durable par la préservation et la conservation des énergies fossiles,
- Contribuer à la politique nationale d'aménagement du territoire par la valorisation des gisements d'énergies renouvelables en généralisant leur utilisation.

Par ailleurs, la loi définit les énergies renouvelables en les classant dans deux catégories :

- La première catégorie regroupe les formes d'énergie électriques, thermiques ou gazeuses obtenues à partir de la transformation du rayonnement solaire, de l'énergie du vent, de la géothermie, des déchets organiques, de l'énergie hydraulique et des techniques d'utilisation de la biomasse.
- La deuxième catégorie regroupe l'ensemble des procédés permettant des économies effectives dans l'utilisation des énergies conventionnelles par le recours aux matériaux et aux techniques relevant de l'architecture bioclimatique.

La promotion des énergies renouvelables est réalisée par :

- Un programme national de promotion des énergies renouvelables;
- Un bilan annuel de l'usage des énergies renouvelables;
- Des instruments de promotion des énergies renouvelables constitués par un mécanisme de certification et par un système d'incitation à l'utilisation des énergies renouvelables.

1.1.2. Les documents techniques réglementaires (DTR).

- La réglementation thermique des locaux d'habitation, règles de calcul des déperditions calorifiques. DTR C.3.2. Arrêté ministériel du 10 Décembre 1997.
- Les Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments "climatisation ". DTR C.3.4. Arrêté ministériel du 18 Aout 1998.
- La ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation. DTR.C.3.3.1. Arrêté ministériel du 14 Novembre 2005.

Ces documents thermiques réglementaires préconisent l'utilisation des matériaux locaux, l'orientation adéquate des bâtiments, l'isolation de l'enveloppe et des planchers, la ventilation naturelle, et l'éclairage naturel. Ils permettent aux maîtres d'œuvre, aux maîtres d'ouvrage et aux entreprises de réalisation de concevoir et d'exécuter des ouvrages efficaces énergétiquement tout en assurant les exigences demandées de confort. L'application de cette réglementation permet de réduire en principe de 30% à 40% la consommation d'énergie hors poste cuisson.

Néanmoins, cette réglementation n'est pas appliquée, pourtant promulguée par des arrêtés ministériels, publiés dans le journal officiel et opposables à tous les acteurs du secteur du bâtiment, en raison de l'absence de mécanisme de contrôle et de suivi. En effet, les organismes chargés du contrôle technique des constructions ne sont missionnés que pour le contrôle technique de la stabilité des ouvrages. L'aspect de la maîtrise d'énergie échappe totalement au contrôle.¹

1.2. Aperçu sur les politiques du logement.

En 1962, l'Algérie se trouvait confronter à un lourd héritage résultant de la période coloniale :

- Le retour des réfugiés dont le nombre dépasse le million;
- Le dégroupement des populations arrachées de leurs villages et entassées dans les camps de regroupement ;
- Le grand nombre des villages démolis.

En plus de ce nombre des algériens dépourvus de logements, le secteur de l'habitat était dans une situation d'effondrement :

- Les logements inachevés initiés avant l'indépendance (environ 42 000 logements) ;
- Le départ collectif de la majorité des entreprises importantes, ingénieurs, techniciens et administratifs, constitués dans leur majorité des étrangers, qui détenaient les clefs du secteur de l'habitat. En 1962, il existait un seul architecte algérien ;
- La cessation de la production des matériaux de construction ;
- Le blocage immédiat de toutes les ressources financières.²

¹ AFRA Hamid, "Réduire de 40% la consommation d'énergie est possible" in *La revue de l'Habitat*, Novembre 2008, N°02, p. 60,61.

² **Ministère de la communication**, *Les mégaprojets en Algérie, le secteur de l'habitat et de l'urbanisme*, éditions du centre national de documentation de presse et d'information, N°1, 2010, p. 10.

Malgré le grand nombre d'algériens dépourvus de logements et la situation d'effondrement du secteur de l'habitat, la crise du logement n'était pas posée à cette époque. En fait, au lendemain de l'indépendance, un million d'européens avaient quitté l'Algérie, libérant ainsi un important parc immobilier et foncier. Ce parc a été immédiatement occupé par les populations rurales qui avaient quitté leurs villages détruits à la recherche de meilleures conditions de logements et d'emplois.³

Au cours des années (1967-1977), l'état a donné la priorité à l'industrie lourde. La concrétisation de cette politique a été accompagnée par la création des complexes industriels et des sociétés industrielles. Le secteur de l'habitat a bénéficié d'un faible taux d'investissement. Il semble que l'état a surestimé la capacité du parc immobilier vacant dans la satisfaction des demandes en logements.

	Le plan triennal 67/69	Le plan quadriennal 70/73	Le plan quadriennal 74/77
Masse d'investissement en million de D.A	11.031	27.740	/
Secteur agricole	16.9%	15%	/
Secteur industriel	48.7%	45%	/
Habitat rural et urbain	3.7%	5.4%	7.4%
Education et formation	9.3%	12%	/

Tableau IV.1: La part des secteurs économiques et sociaux du budget d'investissement (1967- 1977). (Source: **EL-KADI** Galila, 1987, p.39.)

Cependant, la forte poussée démographique, qui a fait doubler la population nationale entre 1962 (10.2 million habitants) et 1978 (18 million habitants), a été accompagnée d'un exode rural massif vers les grandes villes littorales où sont localisés les complexes industrielles et les sociétés nationales ce qui a accéléré la saturation du parc immobilier vacant. Les conséquences de ce phénomène étaient l'entassement dans les villes qui se manifeste sous forme d'une densification du centre, de prolifération de l'habitat spontané et des bidonvilles à la périphérie.⁴

La révolution agraire lancée en 1971 visait la relance de l'activité agricole et la lutte contre l'exode rural. Elle se basait sur la répartition juste et équitable des terres et des moyens de production, et, la construction de 1000 villages socialistes constitués de logements dotés de l'eau, de l'électricité et disposant des principaux équipements collectifs.

L'intérêt de l'état envers le secteur du logement commençait à partir de 1974 lorsque la crise du logement a atteint un point culminant et a touché toutes les couches sociales. Le programme des zones d'habitat urbain nouvelles (ZHUN) lancé en 1975 consiste en la réalisation des logements collectifs, leurs équipements, et leurs services rapidement selon des procédés constructifs industriels et standardisés. Les ZHUN étaient caractérisées par

³ **SOUIAH** Sid-Ahmed et al, *L'Algérie, 50 ans après*, éditions L'harmattan, Paris, 2012. p.133, 134.

⁴ **EL-KADI** Galila, *le logement, l'état et les pauvres dans les villes du tiers monde*, 1987. p. 39, 40.

leur grande échelle (au-delà de 400 logements), ce qui nécessite de grandes assiettes foncières localisées à la périphérie des villes.

Dans ce programme destiné à toutes les couches sociales, l'état s'était entièrement chargé de la production du logement. Ainsi, le ministère de l'habitat et les collectivités locales étaient les maîtres de l'ouvrage, les bureaux d'études étatiques étaient le maître d'œuvre, le financement était totalement tiré du trésor public, et la réalisation était confiée à de grandes entreprises nationales de bâtiments.⁵ Face au monopole de l'état sur l'offre des logements, le rôle du secteur privé était limité à l'autoconstruction.

Un nouveau modèle de développement était amorcé durant la décennie 1980 avec le changement des industries lourdes vers les industries légères, l'agriculture, et les infrastructures économiques et sociales.

L'état poursuivait son intérêt envers le secteur du logement durant cette période. Cependant, dans un contexte de crise économique, la crise du logement s'amplifiait sous l'effet de plusieurs facteurs conjugués :

- Le taux d'urbanisation accéléré (31 % en 1966; 41% en 1977; 50 % en 1987) conséquence de l'exode rural massif;
- L'explosion démographique qui a atteint le taux de 3.1%, pourcentage considéré comme un des plus élevés dans le monde;
- La modicité des loyers appliqués et l'augmentation du taux des loyers impayés;
- La dégradation précoce du cadre bâti par manque d'entretien ;
- Le grand retard enregistré dans la réalisation des projets inscrits et leur achèvement dans les délais prévus, ce qui a conduit à l'annulation d'une partie importante des projets.⁶

Devant la réduction des capacités financières de l'état, il devenait évident qu'il ne pouvait pas continuer à être le seul producteur du logement, ce dernier devrait s'ouvrir au secteur privé pour permettre aux pouvoirs publics de concentrer leur effort sur la production des logements dits "sociaux" au profit des populations les plus défavorisées. Quant aux couches solvables de la population, leurs logements seront construits par des promoteurs publics et privés et financés par la mobilisation de l'épargne privée des futurs habitants par le biais de la caisse nationale de l'épargne et de prévoyance (CNEP).

Dans un contexte de crise économique et politique, qui a marqué la décennie 1990, la production du logement par l'état a considérablement diminué. La crise du logement s'était amplifiée par l'exode des populations rurales vers les villes à cause de l'insécurité dans les campagnes. Cependant, une partie de la demande va être satisfaite par l'autoconstruction du secteur privé (parmi les 90 000 logements construits en 1992, plus de 50 000 logements étaient produits par l'autoconstruction).

Pour satisfaire la demande en logements de la catégorie moyenne, des aides financières non remboursables étaient accordées par l'état à partir de 1994 par l'intermédiaire de la Caisse Nationale du Logement (CNL) au profit des ménages

⁵ **SAFAR ZITOUN** Madani et al, *Habitat social au Maghreb et au Sénégal, gouvernance urbaine et participation en société*, éditions L'Harmattan, Coll. « Habitat et sociétés », Paris, 2009, p.67, 68.

⁶ **Ministère de la communication**, *Les mégaprojets en Algérie, le secteur de l'habitat et de l'urbanisme*, éditions du centre national de documentation de presse et d'information, N°1, 2010, p. 17.

répondant aux critères d'éligibilité selon leur revenu par rapport au salaire national minimal garantie (SNMG).

Ainsi, à côté de la formule dite " logement social locatif" financée à 100 % par le trésor public et réservée aux ménages défavorisés, allaient apparaître de nouvelles formules associant l'aide directe de l'état et les apports personnels des ménages bénéficiaires. D'autres formules de financement indirecte ont été intégrées telles que : la réduction de la taxe des valeurs ajoutées (TVA), l'exonération fiscale des bénéfices réalisés, l'étalement du paiement d'une partie du coût du logement sur plusieurs années sans intérêts.⁷

A partir de l'an 2000, les finances publiques ont été améliorées, la sécurité et la stabilité politique ont été rétabli, l'état reprend la résolution des problèmes sociaux et à leur tête la crise du logement. Cette période est caractérisée par un retour en force de l'état à la production du logement avec des programmes de logement d'une consistance physique et financière jamais égalée auparavant.⁸

Dans chacun des programmes quinquennaux successifs (2005-2009), (2010-2014) et (2015-2019), l'état prévoit la construction d'un million logements avec des programmes complémentaires. Contrairement aux zones d'habitat urbain nouvelles des années 1970, la marge d'intervention du secteur privé dans la production du logement a été élargie par: la participation des entreprises privées, des bureaux d'études, et des bénéficiaires dans le financement de leurs logements selon leurs revenus.

Cet aperçu sur les politiques du logement montre qu'elle a été orientée depuis 1975 à ce jour vers la production massive des logements pour satisfaire la forte demande. Cette demande a été engendrée par la forte poussée démographique qu'a connue l'Algérie depuis l'indépendance. Par ailleurs, les industries lourdes dans les années 1970 puis les troubles politiques et sécuritaires dans les années 1990 ont poussé les habitants des campagnes à se déplacer vers les centres urbains. Cet exode rural associé à la poussée démographique ont été à l'origine d'une demande très élevée par rapport à l'offre.

Face à l'ampleur de la crise du logement, l'état lance des programmes consistants d'un million logements durant chacun des trois programmes quinquennaux successifs (2005-2019). Les formules de logements sont diversifiées pour répondre au plus grand nombre des demandeurs des logements selon leurs revenus et pour concentrer les financements de l'état au profit des familles les plus défavorisés. Un intérêt particulier a été accordé au logement rural pour endiguer l'exode rural. Ces efforts colossaux ont réussi dans le desserrement de la crise du logement pour des millions d'algériens. Les derniers bidonvilles dans les grandes villes sont éradiqués.

Cependant, cette image s'obscurcit lorsqu'on connaît que les mesures de l'économie de l'énergie sont absentes dans les programmes de logements. Le secteur du logement consomme plus de 30,41 % de la consommation nationale de l'énergie⁹; cette consommation va croître de manière exponentielle dans les prochaines années au regard des programmes de logements en cours, ce qui implique de nouveaux investissements

⁷ SAFAR ZITOUN Madani et al, 2009. p.173-175.

⁸ SAFAR ZITOUN Madani et al, 2009. p. 71.

⁹ Ministère de l'énergie et des mines, *Bilan énergétique national de l'année 2012*, édition 2013, p. 24.

coûteux pour la production, le transport et la distribution de l'énergie. Par ailleurs, Les logements réalisés actuellement seront occupés jusqu'à la fin de ce siècle qui sera marquée par la raréfaction des énergies fossiles et l'élévation de leur coût.

2. LE LOGEMENT SOCIAL ET L'EFFICACITE ENERGITIQUE.

2.1. Définition du logement social et ses formules.

Un logement social est un logement destiné par une société donnée à certaines catégories sociales qui n'ont pas accès au marché du logement normé et moderne en raison de l'insuffisance de leurs revenus.¹⁰

Les formules du logement social varient selon les critères d'éligibilité des bénéficiaires et le montage financier.

- Le logement public locatif.

Le logement public locatif est un logement destiné à la location, et totalement financé par les fonds budgétaires de l'état. La maîtrise d'ouvrage est confiée aux offices de promotion et de gestion immobilière (OPGI).

Le logement public locatif est destiné aux personnes dont le niveau de revenu les classe parmi les catégories sociales défavorisées, dépourvues de logement ou logeant dans des conditions précaires et /ou insalubres. Il peut également servir à la satisfaction des besoins locaux d'intérêt général ou résultant d'une situation exceptionnelle, ou en cas d'éradication de l'habitat précaire.

- Le logement promotionnel aide.

Le logement promotionnel aidé est élaboré par l'état en remplacement du logement social participatif. C'est un logement neuf réalisé par un promoteur immobilier, en collectif ou en individuel groupé, au profit des ménages éligibles à l'aide de l'état, conformément à des spécifications techniques et des conditions financières définies.

Cette formule de logement s'adresse à des postulants à revenu moyen, éligibles à l'aide de l'état. L'accès à ce type de logement est réalisé selon un montage financier qui tient compte d'un apport personnel du bénéficiaire, d'un crédit bonifié et d'une aide frontale directe de l'état qui est versée au promoteur.

¹⁰ SAFAR ZITOUN Madani et al, *Habitat social au Maghreb et au Sénégal, gouvernance urbaine et participation en société*, éditions L'Harmattan, Coll. « Habitat et sociétés », Paris, 2009, p. 95.

- Le logement rural.

Les chiffres du dernier recensement indiquent une concentration insupportable des populations dans les villes au détriment des campagnes. Le logement rural s'intègre dans le cadre de la politique du développement rural, qui a pour objectif la promotion des espaces ruraux et la fixation des populations locales.

Le logement rural consiste à encourager les ménages à réaliser en auto construction un logement décent dans leur propre environnement rural. L'accès à ce type de logement est réalisé selon un montage financier qui tient compte d'un apport personnel du bénéficiaire, d'un crédit bonifié et d'une aide frontale directe de l'état versée au bénéficiaire.

- Les logements destinés à la location-vente.

La formule location-vente consiste en l'octroi d'un logement en vue de l'acquérir après une période de location fixée dans le cadre d'un contrat écrit. Elle est destinée aux catégories à revenu moyen.

L'agence de l'amélioration et du développement du logement (AADL) a été chargée de cette opération au titre d'une maîtrise d'ouvrage. La formule location-vente a été lancée en Aout 2001, et orientée là où la demande est plus forte, d'abord à Alger, ensuite, dans d'autres villes. Fondée sur la notion d'accession à la propriété, cette formule a redonné l'espoir pour de larges franges de la société qui ne sont pas éligibles à l'aide directe de l'état.

2.2. Les intérêts de l'efficacité énergétique dans le logement social.

Outre les intérêts que représente l'intégration des mesures d'efficacité énergétique dans la conception des bâtiments, l'intégration de ces mesures dans la conception du logement social représente des intérêts particuliers liés à ses habitants à faible revenu.

D'abord, le logement social représente une part considérable des programmes de logements. À titre d'exemple, parmi les deux millions logements programmés durant la période 2010-2014, on compte 800000 logements publics locatifs. Par conséquent, la réduction de la consommation de l'énergie dans les logements sociaux conduira à une réduction significative de la consommation de l'énergie dans le secteur du bâtiment.¹¹

Par ailleurs, les logements sociaux et les édifices publics sont les deux secteurs où les mesures d'efficacité énergétique ont plus de chance d'être appliquées parce que le maître d'ouvrage est l'état. Ces secteurs peuvent avoir un effet d'entraînement et d'exemplarité en matière d'économie d'énergie, et peuvent servir de moteur pour la diffusion de ces mesures dans le secteur du bâtiment.¹²

¹¹ **Ministère de l'habitat et de l'urbanisme**, La revue de l'habitat, Janvier 2011, N°6, Alger, p. 7.

¹² **MATHIS Paul**, *L'énergie: comprendre les enjeux*, éditions QUAE, Paris, 2011, p.84.

En plus, l'efficacité énergétique s'accorde avec la mission du logement social de fournir un logement décent et abordable pour les populations à faible revenu qui peinent à se loger sur le marché privé:

- un logement décent doit préserver la santé de ses habitants surtout en hiver, et la santé et le confort thermique sont indissociables,
- un logement doit être abordable dans son loyer modéré et les dépenses connexes qui englobent le paiement des factures d'énergie.¹³

Enfin, L'intégration de l'efficacité énergétique dans les logements sociaux constitue une contribution au développement durable parce qu'elle associe entre:

- L'efficacité économique en assurant un confort thermique optimal avec un minimum de consommation d'énergie, et en préservant les sources d'énergie pour les secteurs qui ont le plus besoin,
- La protection de l'environnement en réduisant les émissions des gaz à effet de serre,
- L'équité sociale en assurant aux habitants un confort thermique optimal avec un coût adapté à leur faible revenu.

Le développement durable est un développement supportable pour tous, et intègre dans ce sens le concept des besoins, et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunies, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité.

3. ECO-BAT : UN PROGRAMME PILOTE DE LOGEMENTS SOCIAUX ECONOMES EN ENERGIE.

Le programme ECO-BAT consiste en la réalisation de 600 logements publics locatifs à haute performance énergétique répartis sur les différentes zones climatiques du pays. Le projet est l'aboutissement d'une convention de partenariat signée entre l'Agence de la Promotion et de la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) et 11 Offices de Promotion et de Gestion Immobilière (OPGI) le 14 Mai 2009 au siège du ministère de l'habitat et de l'urbanisme.

¹³ DOUTRIAUX Hélène, *Le logement social et les économies d'énergie sur l'agglomération du Grand Lyon*, Juin 2008, p.7, 8.

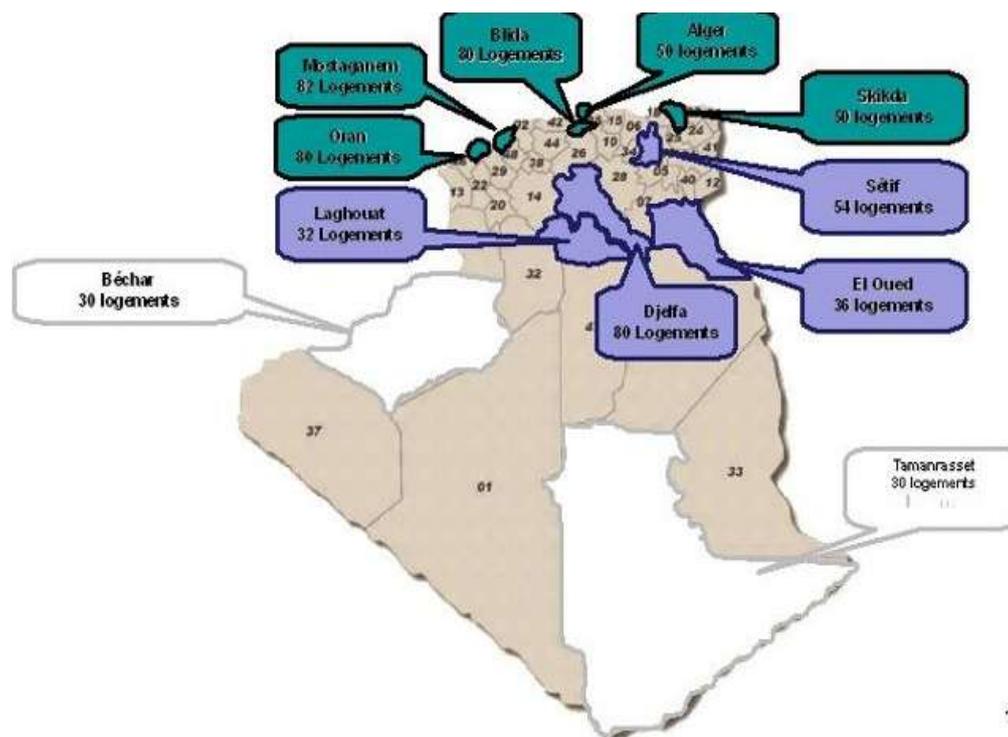


Figure VI.1: La répartition des 600 logements à haute performance énergétique sur différentes zones climatiques du pays. (Source : <http://portail.cder.dz/spip.php?article2854>)

Le programme ECO-BAT vise les objectifs suivants :

- L'amélioration du confort thermique dans les logements et la réduction de la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation ;
- La mobilisation des acteurs du bâtiment autour de la problématique de l'efficacité énergétique ;
- La réalisation d'une action démonstrative, preuve de la faisabilité des projets à haute performance énergétique en Algérie ;
- La provocation d'un effet d'entraînement des pratiques de prise en considération des aspects de la maîtrise de l'énergie dans la conception architecturale.

Le projet 600 logements à haute performance énergétique est le premier en son genre en Algérie qui implique à la fois le ministère de l'énergie et des mines, le ministère de l'habitat et de l'urbanisme, et les bureaux d'études techniques d'architecture. Ces logements intégreront les principes de confort thermique et d'économie d'énergie dans la conception architecturale, le choix des matériaux de construction ainsi que dans les détails de mise en œuvre.

L'amélioration des performances énergétiques des logements prévus passe nécessairement par la prise en compte au niveau de la conception architecturale de deux facteurs essentiels: l'optimisation du confort thermique des bâtiments en réduisant le recours au chauffage et à la climatisation, et la réduction du recours à l'éclairage artificiel. Dans ce cadre, le programme vise à atteindre 40% d'économie sur la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation.

La mise en œuvre du programme est soutenue par plusieurs mesures incitatives:

- Le financement du fond national pour la maîtrise de l'énergie des surcoûts induits par l'efficacité énergétique (300 000 DA/ logement);
- L'expertise des thermiciens en bâtiments en vue d'assister l'APRUE dans l'exécution des tâches de contrôle de la conformité des projets de logements aux exigences de performance énergétique, en coordination avec les maîtres d'ouvrage (OPGI) et les maîtres d'œuvre. Ces tâches s'articuleront d'abord autour de la vérification et l'approbation des notes de calcul thermique et la proposition d'options d'amélioration, ensuite, autour de la vérification de la conformité des cahiers des charges et l'assistance au contrôle des travaux de corps d'état secondaires.
- Le lancement des cycles de formation à destination des bureaux d'étude et des maîtres d'ouvrage.
- L'organisation des journées techniques regroupant l'ensemble des acteurs du secteur du bâtiment.

Par ailleurs, la disposition de 16000 m² de double vitrage est prévue pour améliorer l'isolation thermique des bâtiments. Elle est d'abord destinée pour les équipements publics comme les établissements scolaires, sanitaires, et hôteliers avant de se généraliser pour le grand public.¹⁴

Les recommandations citées dans le cahier des charges du projet précisent les orientations générales à adopter pour atteindre les objectifs fixés: l'économie de l'énergie et l'optimisation du confort thermique.

En hiver, l'enveloppe du bâtiment doit assurer:

- la réduction des besoins énergétiques,
- l'optimisation des apports solaires.

En été, l'enveloppe du bâtiment doit assurer :

- le contrôle de l'ensoleillement par la végétation et le dimensionnement des protections solaires en fonction de la latitude du site.
- la ventilation naturelle en agissant sur l'orientation, la position, et les dimensions des ouvertures,
- l'inertie thermique des parois extérieures et intérieures.

L'orientation des logements doit tenir compte des besoins d'ensoleillement, des vents dominants, du microclimat, des vues, et de la configuration du terrain pour profiter des conditions du confort offertes par les éléments du site.

¹⁴ <http://www.aprue.org.dz/prg-eco-bat-appel-a-manifestation.html>. Site consulté le 15 avril 2014.

Ces recommandations générales doivent être complétées par des orientations découlant de l'analyse des données climatiques du site d'implantation, en précisant en détail:

- la stratégie de chauffage et de refroidissement,
- la définition du type d'inertie et d'isolant à intégrer,
- le dimensionnement des protections solaires en fonction de la latitude du site.
- la description des matériaux de construction à utiliser.¹⁵

Les recommandations architecturales et techniques établis pour le projet ECO-BAT sont expliquées en détail dans l'extrait du cahier des charges relatif au concours national d'architecture pour des logements publics locatifs à haute performance énergétique (voir annexe 1).

CONCLUSION:

Le cadre réglementaire régissant l'efficacité énergétique dans le bâtiment concerne l'application de la réglementation thermique dans la conception et la construction des bâtiments, exige l'affichage des rendements énergétiques sur les appareils et leurs emballages, et considère l'architecture bioclimatique comme une catégorie des énergies renouvelables. Dans ce cadre, des documents techniques réglementaires ont été élaborés pour fixer les règles de calcul thermique.

Cependant, les logements sont conçus et construits sans tenir compte de l'efficacité énergétique malgré l'opposabilité aux tiers du cadre réglementaire à tous les acteurs du logement. En effet, la réglementation relative à l'efficacité énergétique existe, mais c'est la mise en application qui fait défaut parce qu'elle n'est pas assez contraignante comme la réglementation parasismique.

Le désintérêt des acteurs du logement envers l'efficacité énergétique revient à notre sens à deux facteurs principaux: la crise du logement qui pousse l'état à se concentrer sur la production massive au détriment de la qualité qui englobe le confort thermique, et, l'absence de la culture d'économie d'énergie chez le citoyen parce que les prix d'énergie subventionnés par l'état, sont les plus faibles par rapport aux pays voisins.

Outre la réduction des émissions des gaz à effet de serre et la préservation des ressources énergétiques, l'intégration de l'efficacité énergétique dans la conception des logements sociaux permet aux habitants de bénéficier d'un niveau de confort équivalent et même supérieur à celui des autres couches sociales, mais avec un coût de consommation d'énergie adapté à leur faible revenu. Ceci entre dans le cadre de la concrétisation de l'équité sociale.

La conception des logements sociaux confortables et économes en énergie constitue une contribution au développement durable parce qu'elle concilie : la protection de l'environnement, l'efficacité économique, et l'équité sociale, et d'un autre côté, elle tient compte des besoins essentielles des populations les plus diminuées à qui il convient d'accorder la plus grande priorité comme la suggère Brundtland dans sa définition du développement durable.

¹⁵ Extrait du cahier des charges, relatif au concours national d'architecture pour 70 logements publics locatifs à haute performance énergétique à S'haoula.

Par ailleurs, le logement social constitue un levier essentiel à la concrétisation de l'efficacité énergétique parce qu'il constitue une part considérable des programmes de logement, et il a plus de chance d'appliquer ces mesures puisque le maître d'ouvrage est l'état. Le projet pilote ECOBAT confirme le rôle que le logement social est appelé à jouer dans la diffusion de l'efficacité énergétique dans le bâtiment. Le retard enregistré dans l'achèvement du projet lancé depuis 2009, qui est inévitable dans cette phase expérimentale, donne une idée du temps nécessaire à l'ancrage des mesures d'efficacité énergétique chez les acteurs du logement.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

L'intégration de l'efficacité énergétique dans le bâtiment exige l'amélioration de son confort thermique à travers la conception en vue de mener les habitants à se passer délibérément de l'utilisation du chauffage et de la climatisation. L'amélioration du confort thermique passe par l'application de la démarche bioclimatique qui repose sur l'adaptation de la conception du bâtiment au climat local pour profiter de ses avantages et se protéger de ses contraintes.

Par conséquent, une connaissance approfondie des caractéristiques du climat local, est indispensable avant de commencer la conception du bâtiment, et ceci à travers l'analyse des données climatiques enregistrées dans la station météorologique de la région sur plusieurs années. L'analyse des données climatiques doit être complétée par l'analyse des caractéristiques du microclimat engendré par les modifications apportées par les facteurs du site sur les éléments climatiques de la région.

L'orientation du bâtiment détermine l'exploitation de l'énergie solaire pour le chauffage, et des vents dominants pour la ventilation naturelle. Par ailleurs, en raison du choix inadéquat de l'orientation, les bâtiments souffrent du froid en hiver, et de la surchauffe en été, ce qui accroît l'utilisation des équipements de chauffage et de climatisation. C'est pourquoi, le choix l'orientation du bâtiment doit être soigneusement étudiée par l'architecte en fonction des exigences du confort thermique afin de :

- recevoir le maximum d'énergie solaire et se protéger des vents froids en hiver,
- minimiser l'énergie solaire reçue et profiter des brises rafraichissantes en été.

La quantité de l'énergie solaire interceptée par le bâtiment varie d'une orientation à une autre, et d'une saison à une autre, en fonction de l'angle d'incidence des rayons solaires par rapport à la façade.

L'orientation la plus favorable pour le confort thermique est l'orientation sud parce qu'elle reçoit le maximum d'énergie solaire en hiver lorsque le soleil est bas et ses rayons sont presque perpendiculaires à la façade, et le minimum en été lorsqu'il est plus haut et ses rayons sont presque parallèles à la façade.

Outre l'orientation adéquate, l'exploitation de l'énergie solaire pour le chauffage, et des vents dominants pour la ventilation naturelle est tributaire des caractéristiques de l'enveloppe. En effet, l'effet de l'ensoleillement sur la température intérieure dépend : de la couleur des surfaces externes, l'isolation thermique, l'inertie thermique et la protection solaire de l'enveloppe, tandis que l'effet de la ventilation naturelle dépend de : la répartition et des dimensions des fenêtres.

En Algérie, les exigences d'efficacité énergétique et du confort thermique sont complètement négligées malgré l'existence d'un cadre réglementaire opposable à tous les acteurs du secteur depuis 1997. Cette négligence revient à la crise du logement et la disponibilité des ressources énergétiques subventionnées par l'état.

Cependant, sur le moyen et long terme, cette situation conduira à une augmentation exponentielle de la consommation d'énergie, ce qui nécessitera des investissements coûteux pour la fourniture de l'énergie en la quantité demandée. Déjà, le bilan énergétique national de l'année 2012 montre que la consommation du secteur du logement a atteint 30,41%, et qu'elle a connu une forte croissance de 14,2% entre 2011 et 2012. Alors qu'une part importante de cette énergie peut être économisée par une conception adaptée au contexte climatique de la région d'implantation du projet comme le préconise la démarche bioclimatique.

L'intégration des mesures de l'efficacité énergétique dans la conception des bâtiments doit commencer du logement social parce que c'est le secteur dans lequel le maître d'ouvrage (l'état) peut imposer l'intégration de ses mesures. Par suite, la réduction de la consommation d'énergie dans le logement social conduira à une réduction significative de la consommation d'énergie en raison de sa part considérable dans le secteur du bâtiment.

Par ailleurs, l'intégration de l'efficacité énergétique dans la conception des logements sociaux contribue à la concrétisation du développement durable grâce à la conciliation entre : l'endigement des émissions des gaz à effet de serre, la préservation des ressources énergétiques non renouvelables, et l'amélioration du confort thermique pour les habitants avec un coût adapté à leur faible revenu.

DEUXIEME PARTIE

LES MESURES BIOCLIMATIQUES APPROPRIÉES POUR LE MAINTIEN DU CONFORT THERMIQUE DANS LES LOGEMENTS SOCIAUX CONSTRUITS A EL-TARF

Cette partie est consacrée à la vérification de la possibilité d'amélioration du confort thermique dans les logements sociaux par l'orientation adéquate et l'adaptation des caractéristiques de l'enveloppe au climat local.

Le premier chapitre contient une description détaillée du projet de logements publics locatifs retenus comme cas d'étude, ainsi que de la méthodologie adoptée.

Le deuxième chapitre est consacré à l'analyse des mesures des températures effectuées à l'extérieur et à l'intérieur de quatre logements d'orientations différentes pour connaître le niveau de confort thermique à l'intérieur de ces logements et l'effet de l'orientation sur les variations de la température intérieure. La modélisation d'un bâtiment constitué de ces logements, puis à la simulation des variations de sa température intérieure et de la quantité de l'énergie solaire absorbée par sa surface externe pour huit orientations différentes avec un intervalle de 45° afin de déterminer l'orientation optimale d'un bâtiment.

Enfin, les données climatiques de la région ont été interprétées par les tables et les diagrammes bioclimatiques pour déterminer les mesures bioclimatiques à appliquer et en déduire les caractéristiques de l'enveloppe adaptée au climat d'El-tarf.

Ces trois étapes (mesures des températures intérieures et extérieures, simulation thermique, tables et diagrammes bioclimatiques) nous ont menées à plusieurs conclusions concernant l'amélioration du confort thermique dans les logements sociaux par l'orientation adéquate et l'adaptation des caractéristiques de l'enveloppe au climat local.

CINQUIEME CHAPITRE

DESCRIPTION DU CAS D'ETUDE

ET DE LA METHODOLOGIE ADOPTEE

INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré d'abord à la description détaillée du projet de logements sociaux choisi pour l'étude pratique, et ce surtout du point de vue de leurs orientations et des caractéristiques de leurs enveloppes bâties, puis, à la description de la méthodologie adoptée pour la vérification de l'hypothèse au cours des deux prochains chapitres.

Pour l'étude pratique, nous avons cherché un projet de logements sociaux composé de plusieurs bâtiments identiques dans les façades et l'organisation spatiale et différent uniquement dans l'orientation par rapport au soleil. Bien que les logements sociaux avec ces critères soient partout, le choix s'est porté sur un projet situé à la cité Gharci Amara à l'ouest de l'agglomération d'El-Kala. Il s'agit d'un projet de 300 logements publics locatifs dans lesquels les bâtiments sont orientés dans quatre orientations différentes par un intervalle de 90°, et proches des quatre orientations cardinales.

La cité Gharci Amara a connu une large prolifération des bidonvilles durant les années 1990, mais avec le lancement du programme de la résorption de l'habitat précaire, la cité a bénéficié d'un important programme de logements sociaux parmi lesquels figure le projet choisi pour l'étude pratique attribué en Décembre 2012.

1. DESCRIPTION DU CAS D'ETUDE

Le projet objet de l'étude est situé à la cité Gharci Amara à l'ouest de la ville d'El-Kala. Il est constitué de 300 logements publics locatifs récemment réalisés par l'office de la promotion et de la gestion immobilière d'El-Tarf dans le cadre du programme de résorption de l'habitat précaire.



Figure V.1 : La situation de la cité Gharci Amara.
(Source: Google maps).

- Le projet est situé dans une zone en cours de construction, il est entouré par :
- des bâtiments de logements collectifs au sud,
 - des lotissements individuels et des bâtiments de logements collectifs à l'est,
 - des bâtiments de logements collectifs en cours de réalisation au nord,
 - et d'un couvert végétal de faible hauteur à l'ouest.



Photo V.1: L'environnement immédiat du projet objet de l'étude

Les 300 logements constituant le projet sont organisés en 5 îlots comme suit :
 îlot 1 : 60 logements, îlot 2 : 56 logements, îlot 3 : 48 logements,
 îlot 4 : 56 logements, îlot 5 : 80 logements

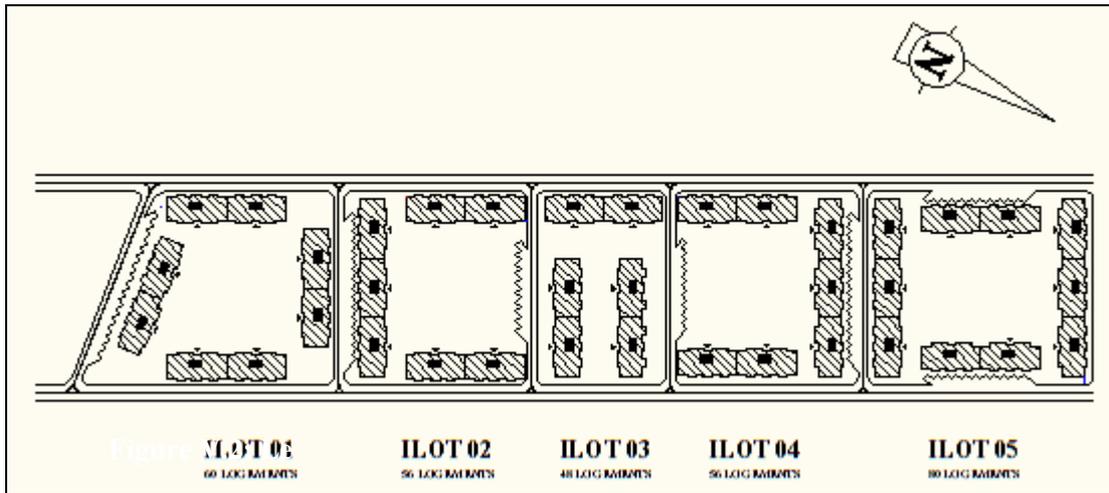


Figure V.2 : Le plan de masse des 300 logements choisis pour l'étude.
 (Source : Office de promotion et de gestion immobilière d'El-Tarf)

Les îlots sont séparés par des voies de circulation et des parkings goudronnés.

Les bâtiments de chaque îlot entourent des aires de jeux et de détente coupées par des passages piétons, alors que les espaces verts sont complètement absents dans le projet.



Photo V.2: L'aménagement extérieur d'un îlot.

Les logements du projet sont conçus comme des prototypes où on trouve les mêmes plans et les mêmes façades. Ainsi tous les appartements sont de type F3 avec une surface égale à 68 m². Cependant, l'étude se déroule dans l'îlot (5) parce qu'il regroupe quatre bâtiments d'orientations différentes.

Le système constructif est en poteaux poutres. Les cloisons sont composées d'une paroi en briques creuses et d'un enduit en plâtre, et leurs épaisseurs sont de 15 cm. Les murs extérieurs sont composés d'un doublage en briques creuses, d'une lame d'air, d'un enduit en plâtre sur le côté intérieur et d'un enduit en mortier sur le côté extérieur, et leurs épaisseurs sont de 30 cm. La pièce choisie pour le déroulement de l'étude est le séjour, ses dimensions sont de 3.60 m x 5.50 m avec une hauteur sous plafond de 2.90 m. La distribution spatiale des logements étudiés est représentée par la figure ci-dessous.

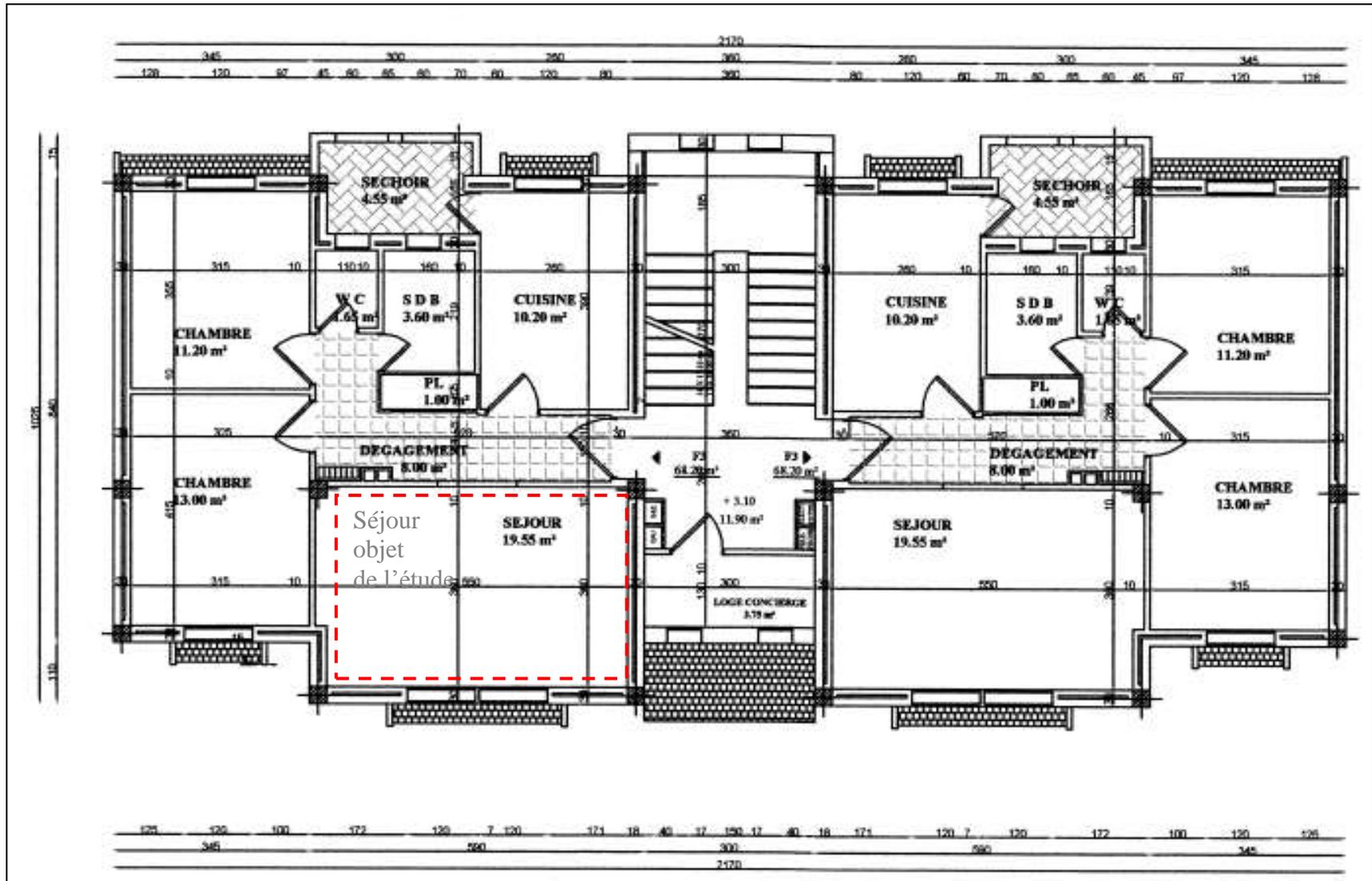


Figure V.3 : Plan du 1^{er} étage. (Source : Office de promotion et de gestion immobilière d'El-tarf).

Les façades sont peintes en blanc. Les fenêtres sont composées d'un vitrage simple de 3 mm d'épaisseur, et sont équipées par des persiennes qui s'ouvrent horizontalement ou verticalement. Le type de persiennes est choisi indépendamment de l'orientation du bâtiment. Des auvents de 0.4 m sont placés au dessus des fenêtres des étages supérieurs et inférieurs.



Photo V.3: La façade principale des immeubles étudiés.



Photo V.4 : La façade postérieure des immeubles étudiés.

Les mesures se sont déroulées dans le 5ème ilot dans lequel les séjours choisis sont orientés selon quatre orientations différentes:

- Séjour (A) est orienté au sud-est d'un azimut égal à $- 28^\circ$.
- Séjour (B) est orienté au sud-ouest d'un azimut égal à $+ 62^\circ$.
- Séjour (C) est orienté au nord-ouest d'un azimut égal à $+ 152^\circ$.
- Séjour (D) est orienté au nord-est d'un azimut égal à $- 118^\circ$.

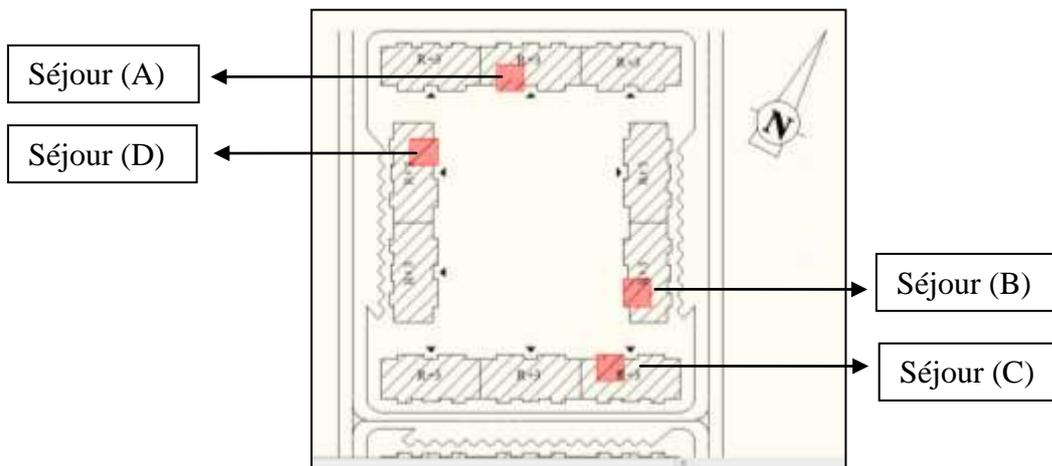


Figure V.4: La disposition des séjours étudiés dans l'ilot N°5.

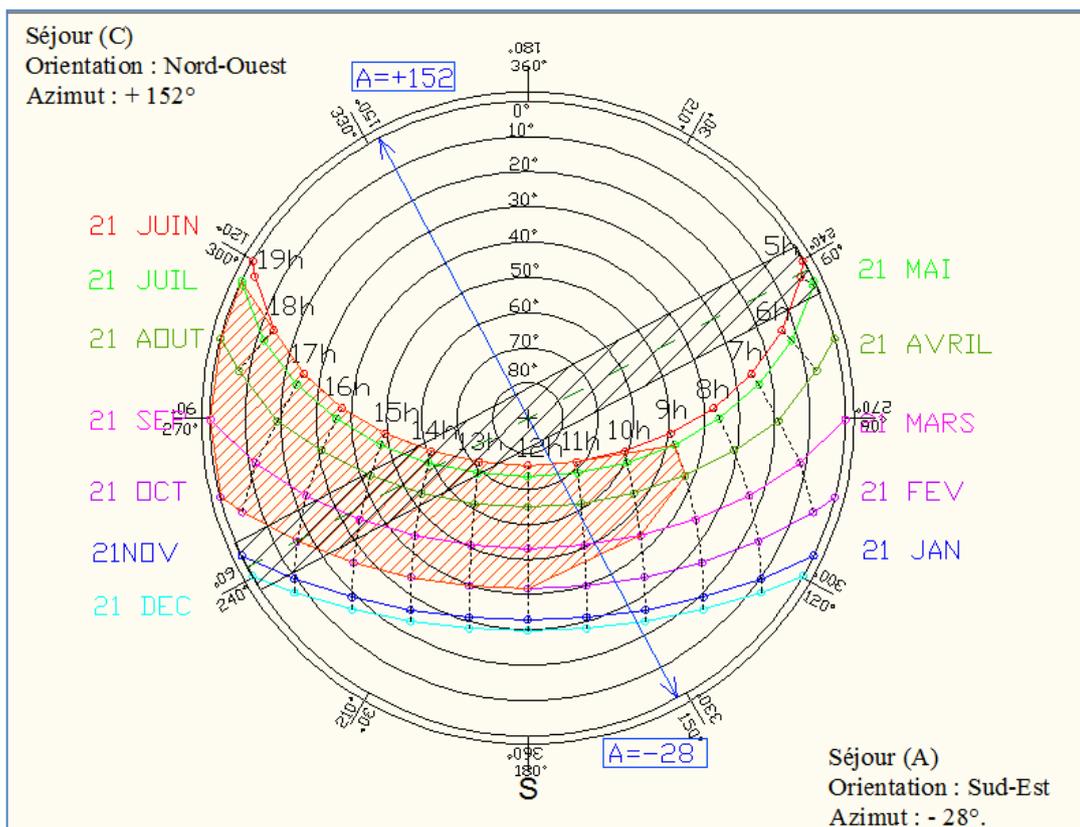


Figure V.5 : L'orientation des séjours (A) et (C) par rapport à la course du soleil.

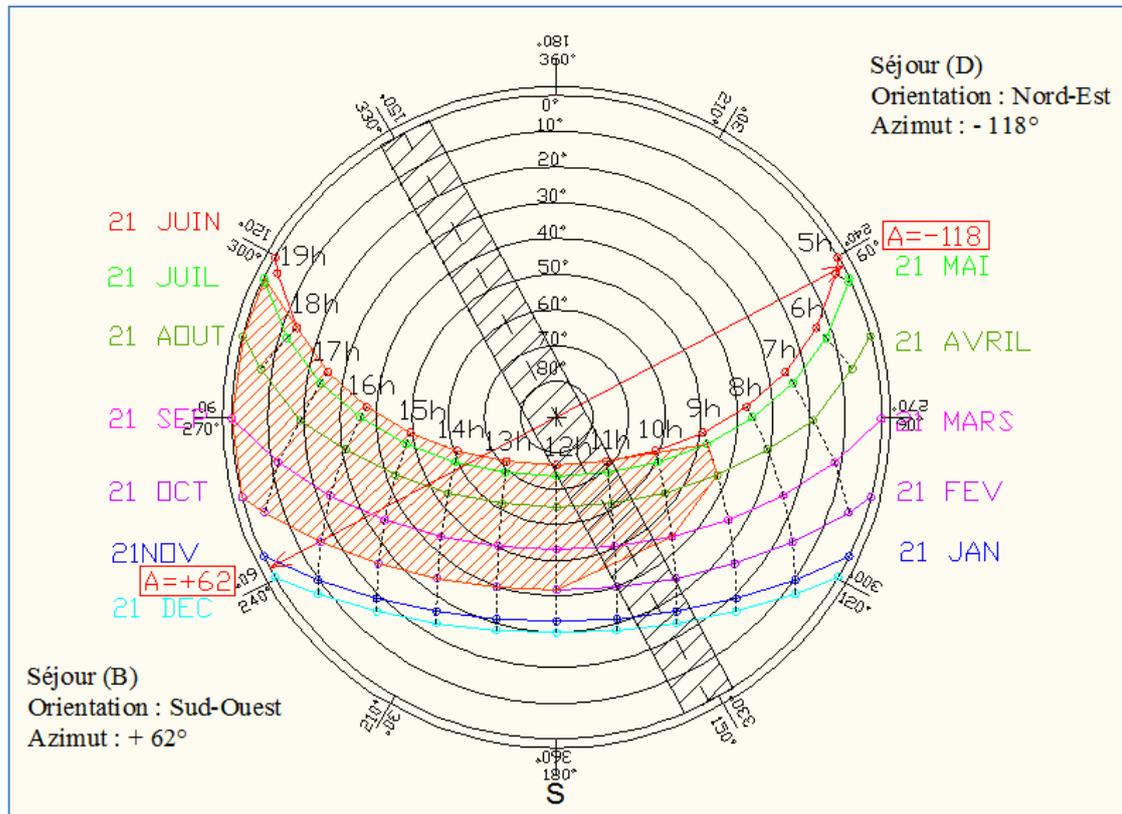


Figure V.6: L'orientation des séjours (B) et (D) par rapport à la course du soleil.

2. DESCRIPTION DE LA METHODOLOGIE ADOPTEE.

Avant de détailler la méthodologie utilisée dans l'étude pratique, nous rappelons brièvement la problématique et l'hypothèse de ce travail.

2.1. Rappel de la problématique et de l'hypothèse.

Les logements sociaux, comme le reste du secteur du bâtiment, sont conçus dans la négligence des exigences du confort thermique et de l'efficacité énergétique. Par conséquent, les habitants à faible revenu souffrent de plusieurs difficultés notamment: l'incapacité de chauffer suffisamment leur logement par manque de moyens, et les dépenses consacrées au paiement des factures d'énergie constitue une part importante de leur faible revenu.

La conception des logements sans tenir compte de l'efficacité énergétique est en opposition avec le développement durable, surtout lorsqu'il s'agit des habitants à faible revenu des logements sociaux.

C'est pourquoi nous avons consacré ce mémoire à l'étude des mesures architecturales permettant l'amélioration du confort thermique dans les logements sociaux tout en réduisant la consommation de l'énergie. Nous avons proposé l'hypothèse suivante: l'amélioration du confort thermique dans les logements sociaux d'une manière naturelle passe par le choix de l'orientation adéquate, et l'adaptation des caractéristiques de l'enveloppe au climat local.

2.2. Méthodologie.

La méthodologie suivie pour la vérification de l'hypothèse est conduite selon deux étapes principales :

- La première étape vise l'étude de l'effet de l'orientation sur les variations des températures intérieures et la détermination de l'orientation optimale pour le confort thermique à travers:
 - Des mesures de températures à l'extérieur et à l'intérieur des séjours de quatre logements publics locatifs d'orientations différentes et proches des orientations cardinales.
 - Une simulation thermique, par le logiciel ECOTECT, des variations des températures intérieures et de la quantité de l'énergie solaire absorbée par les murs externes des séjours de logements orientés selon huit orientations différentes.
- La deuxième étape vise la détermination des caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment adaptées au climat d'El-tarf, et qui doivent être appliquées par la suite à la conception des logements sociaux de cette région, pour cela:
 - L'analyse des données climatiques de la région en vue de connaître les caractéristiques climatiques de la région et les contraintes qu'elles présentent sur le confort thermique.
 - L'interprétation des données climatiques par le diagramme bioclimatique, les tables de Mahoney et l'indicateur d'occultation superposé au diagramme solaire polaire d'El-tarf afin de déterminer les mesures bioclimatiques adaptées au climat d'El-Tarf.

2.3. Moyens utilisés.

- Les données climatiques relevées à la station météorologique de la région sur une période de 10 ans.
- Le diagramme bioclimatique, les tables de Mahoney et l'indicateur d'occultation superposé au diagramme solaire polaire d'El-tarf. Ces outils sont utilisés tels qu'ils sont décrits dans le deuxième chapitre.
- Les plans et les façades du projet de l'étude retirés à partir de l'office de la promotion et de la gestion immobilière d'El-tarf.
- La centrale météo de type Otio 810034 avec capteur extérieur sans fil d'une distance de transmission de 30 m en champs libre. La station météo mesure les températures intérieures et extérieures, le taux d'humidité intérieure. La plage des températures intérieures est de 0°C à 50°C, et la plage d'humidité intérieure est de 20% à 95%.



Photo V. 5: La centrale météo avec le capteur extérieur sans fil utilisée dans les mesures

- La simulation est effectuée par le logiciel ECOTECT. Le logiciel dispose d'une interface de modélisation en trois dimensions totalement intégrée avec l'éventail des fonctions d'analyse et de simulation qu'il offre : analyse thermique, exposition solaire, consommation des ressources, analyse acoustique, et coût de réalisation.

Ecotect peut être utilisé pour visualiser et animer les ombres et les réflexions, pour produire des diagrammes solaires, pour calculer le rayonnement solaire incident sur n'importe quelle surface, et pour calculer les variations des températures.

Il constitue un outil complet d'analyse et de simulation adapté à tous les stades de la conception depuis la phase d'avant projet jusqu'à celle des détails.

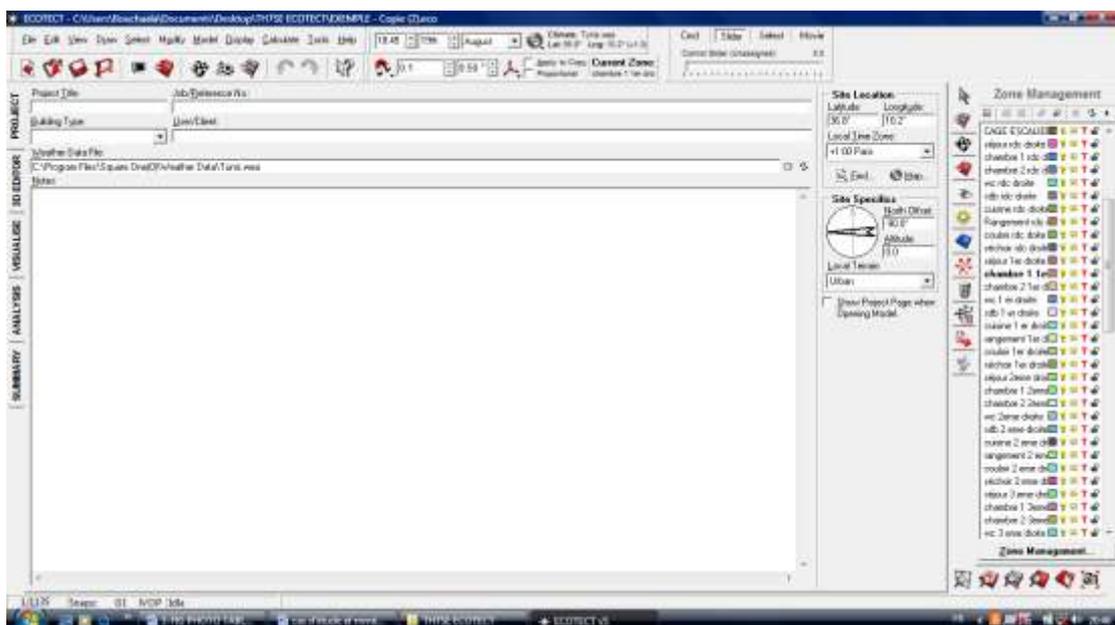


Figure V. 7: L'interface du logiciel ECOTECT version.5.5

La caractéristique la plus importante du logiciel est son approche interactive d'analyse. Par exemple, après avoir ajouté une fenêtre au modèle de conception, on peut voir immédiatement son effet thermique, ses effets sur l'éclairage naturel, le rayonnement solaire incident et le coût global de la construction.

Une autre caractéristique importante du logiciel est son interface innovante de modélisation en trois dimensions. Un système de CAO traditionnel n'est pas si approprié pour le développement précoce de la conception étant très onéreux et précis dans ces exigences d'entrée, forçant le concepteur de réfléchir mathématiquement à un moment où il doit réfléchir intuitivement. Ainsi, un système de conception en trois dimensions souple et intuitive a été conçu qui exploite un simple ensemble de relations intrinsèques entre les éléments du bâtiment pour simplifier grandement la création des géométries les plus complexes.

2.4. Déroulement des mesures.

La première étape des mesures s'est déroulée pendant la période d'été, et plus précisément pendant le 31 Aout et le 12 Septembre. La deuxième étape des mesures s'est déroulée pendant la période d'hiver, et plus précisément pendant le 26 Janvier et le 20 Février.

En raison du nombre limité des appareils de mesure, les températures intérieures de chaque deux séjours ont été mesurées dans une journée. Elles ont été relevées et enregistrées par les habitants chaque deux heures sur des tableaux préparés à cette fin, tandis que nous sommes chargés de l'enregistrement des températures extérieures.

L'espacement entre les périodes de mesure revient aux conditions météorologiques nécessaires au bon déroulement des mesures. Elles se sont déroulées dans des journées à ciel dégagé pour connaître les variations des températures intérieures sous l'effet de l'orientation par rapport au soleil.

Les séjours dans lesquels se sont déroulées les mesures des températures ont été choisis sur la base des critères suivants:

- La situation dans les étages intermédiaires pour éviter l'influence de l'énergie solaire sur la toiture et celle de la fraîcheur de la terre sur le plancher bas.
- L'occupation en permanence des logements pour garantir l'enregistrement régulier des températures intérieures.
- L'absence des climatiseurs et des ventilateurs dans les logements choisis pour l'étude.

Les séjours étudiés sont peints en blanc, et ne disposent pas de portes qui les séparent par rapport au reste des logements. Leurs aménagements sont presque identiques: deux banquettes avec matelas, une table basse, un vaisselier, une télévision et un tapis.

Cependant, en plus de leur orientation par rapport au soleil, les séjours étudiés diffèrent dans leur taux d'occupation, les activités qui se déroulent dedans, ainsi que la gestion des fenêtres et des persiennes.

Les familles rencontrées pendant le déroulement des mesures, au nombre de sept, sont des petites familles composées généralement des parents, dont le père travaille dans les métiers libres comme la pêche et la maçonnerie, et la mère est une femme de foyer, ou bien des familles composées de femmes divorcées avec leurs enfants.

Ces familles, dont le nombre varie de 4 à 7 membres, comptent sur le faible revenu d'une seule personne, ce qui rend difficile l'achat d'un climatiseur. Et même lorsqu'elles achètent un climatiseur, elles choisissent un de faible coût, mais avec le temps il s'avère plus coûteux parce qu'il consomme plus d'énergie. Concernant le chauffage, le projet n'est pas encore raccordé au réseau de gaz de ville, le robinet d'arrêt est placé sur le mur du couloir, seuls le gaz de ville et l'appareil de chauffage qui manquent.

2.5. Déroulement de la simulation.

Dans une première étape, on a commencé par la modélisation du bâtiment. Pour ce faire, chaque pièce du bâtiment, y compris la cage d'escalier, a été modélisée sous forme de zone thermique totalement enfermée définies par des murs, planchers, plafonds ou toiture auxquelles on ajoute les fenêtres et les portes.

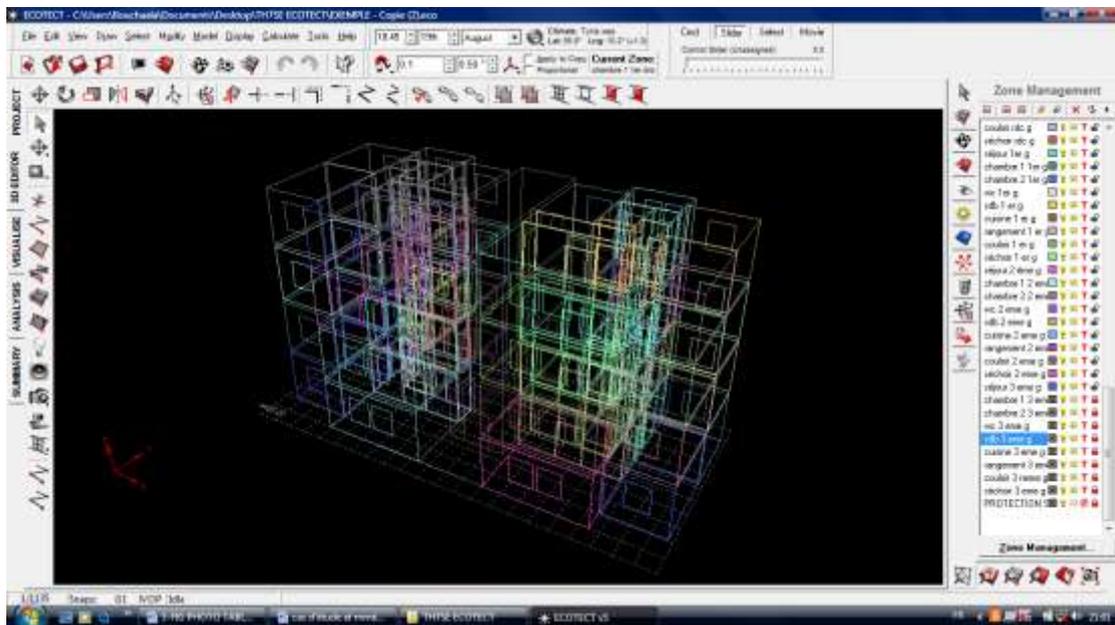


Figure V. 8: La modélisation des pièces du bâtiment étudié dans le logiciel en zones thermiques.

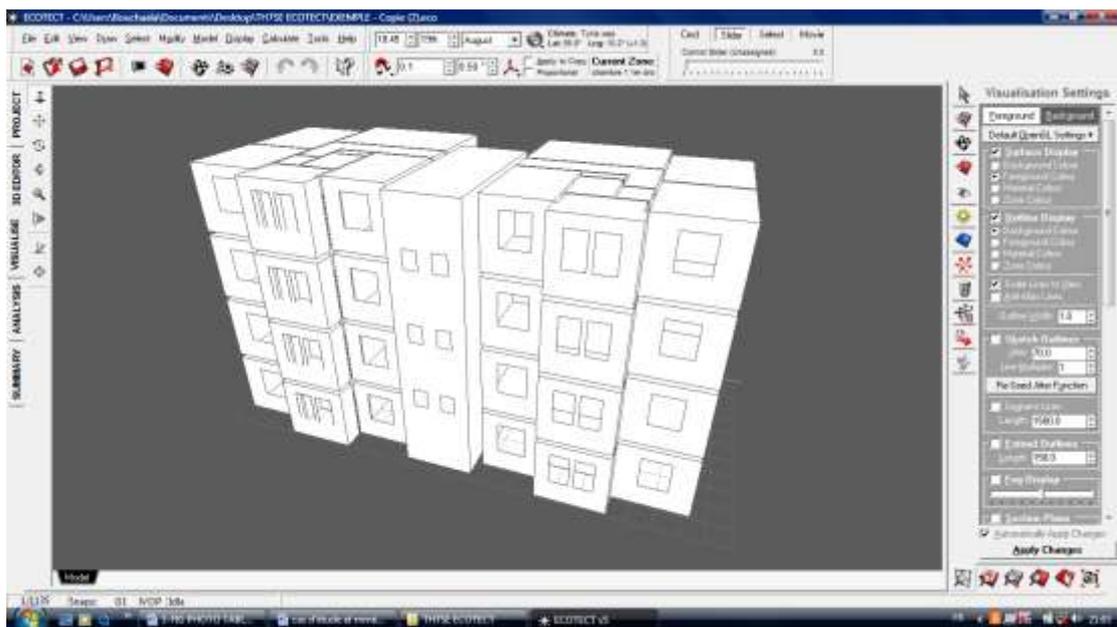
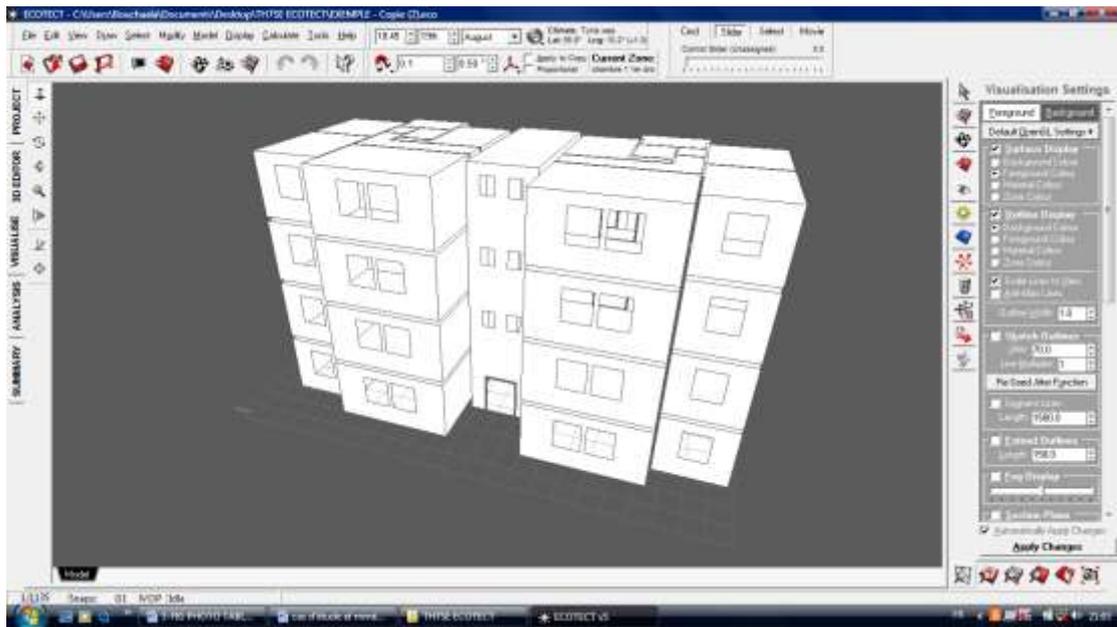


Figure V.9: Vues sur le bâtiment modélisé dans le logiciel

Dans une deuxième étape, on a défini les propriétés thermiques des matériaux de construction utilisés dans la simulation.

Parties du bâtiment	Matériaux	Epaisseur (e) (mm)	Densité (ρ) (Kg/m ³)	Capacité thermique (c) (J/Kg °c)	Conductivité thermique (λ) (w/m°C)
Mur extérieur	Enduit extérieur de ciment	25	1900	1080	1.15
	Brique creuse	100	900	936	0.48
	Lame d'air	50	1200	1000	/
	Enduit intérieur de plâtre	25	750 à 1000	936	0.35
Cloison	Enduit intérieur de plâtre	25	750 à 1000	936	0.35
	Brique creuse	100	900	936	0.48
	Enduit intérieur de plâtre	25	750 à 1000	936	0.35
Plancher / plafond	Carrelage	20	2200	936	2.1
	Dalle de compression sur hourdis	40	1450	1080	1.45
	Hourdis en béton	160	1950 à 2250	1080	1.15
	Enduit de ciment	20	1900	1080	1.15
Porte	Contre plaqué en bois	3	450-550	1512	0.15
	Lame d'air	34	1200	1000	/
	Contre plaqué en bois	3	450-550	1512	0.15
Fenêtre	Vitrage simple	3	2700	792	1.1

Tableau V.1: Les propriétés thermiques des matériaux de construction du logement étudié. (Source: Règlementation thermique des bâtiments d'habitation, Règles de calcul des déperditions calorifiques, fascicule 1, D.T.R. C 3-2, Ministère de l'habitat).

Dans une troisième étape, les caractéristiques de chaque pièce (Zone thermique) ont été définies :

- les conditions de confort (vêtements, humidité relative, vitesse de l'air et niveau d'éclairage)
 - le système de ventilation (aucun, ventilation naturelle, système mixte, conditionnement d'air, climatisation uniquement, chauffage uniquement).
 - les limites de confort (limite supérieure, limite inférieure).
 - l'occupation (le nombre maximal des personnes occupant les pièces, les activités).
 - les gains internes dus à l'éclairage artificiel et aux équipements électroménagers.
 - le taux d'infiltration d'air.
- La définition des calendriers pour l'ouverture des fenêtres et des portes de toutes les pièces, le taux d'infiltration d'air, le taux d'occupation, et le taux des gains internes.

Les simulations sont effectuées sans compter les apports internes dus à l'occupation et aux équipements électriques pour connaître les variations des températures intérieures uniquement sous l'influence de la température extérieure et du rayonnement solaire. Le renouvellement d'air du bâtiment hors infiltration est durant toute la journée.

CONCLUSION

Le projet de logements publics locatifs, choisi pour l'étude pratique, constitue un échantillon des logements sociaux conçus et construits dans la négligence des exigences du confort thermique et les impératifs de l'efficacité énergétique. En effet, les bâtiments sont orientés dans différentes orientations malgré qu'ils aient les mêmes façades et les mêmes organisations spatiales.

Les orientations des bâtiments négligent l'effet du rayonnement solaire qui est désirable pour le chauffage en hiver, mais, il engendre des surchauffes en été, ainsi que l'effet bénéfique des vents dominants sur le refroidissement en été. A titre d'exemple, en hiver, les pièces principales du bâtiment orienté au sud-est reçoivent le rayonnement solaire durant toute la journée, tandis que les pièces principales du bâtiment orienté nord-est ne reçoivent pas le rayonnement solaire.

Dans chaque bâtiment, la plupart des fenêtres sont équipées de persiennes qui s'ouvrent verticalement, ces persiennes n'empêchent la pénétration des rayons solaires que lorsqu'elles sont fermées ce qui réduit la ventilation et l'éclairage naturel. D'autres fenêtres sont équipées de persiennes qui s'ouvrent horizontalement, ces persiennes réduisent la pénétration des rayons solaires en hiver pour les fenêtres orientées au sud, mais protègent efficacement celles qui sont orientées à l'est ou à l'ouest.

Pour compenser le manque de confort thermique dans leur logement, certains habitants utilisent en été des climatiseurs achetés à faible coût, mais avec le temps, ils s'avèrent énergivores et coûtent plus chers, ils pèsent donc sur les faibles revenus des habitants. La souffrance des habitants augmente en hiver étant donné que les logements sociaux, situés sur les franges des villes, ne sont pas raccordés au réseau de gaz de ville. Certains habitants utilisent les résistances thermiques qui consomment beaucoup d'énergie pour un minimum de confort thermique. D'autres habitants utilisent des équipements de chauffage alimentés par les bouteilles de gaz naturel, qui sont utilisées également pour la cuisson et le bain et doivent être déplacées et remplis régulièrement.

SIXIEME CHAPITRE

ANALYSE DE L'EFFET DE L'ORIENTATION

SUR LE CONFORT THERMIQUE

INTRODUCTION

Ce chapitre vise la détermination de l'orientation optimale pour un logement social, étant donné que l'orientation constitue l'étape décisive qui détermine son potentiel d'exploitation de l'énergie solaire pour le chauffage et des vents dominants pour le refroidissement.

Comme il a été mentionné dans la description de la méthodologie adoptée, des mesures des températures ont été effectuées à l'extérieur et à l'intérieur de quatre séjours de logements publics locatifs orientés dans différentes orientations. Ces mesures visent la connaissance de l'effet de l'orientation par rapport au soleil sur les variations de la température intérieure.

Par ailleurs, un bâtiment composé des mêmes logements publics locatifs a été modélisé par le logiciel ECOTECH tel qu'il est sur le terrain, puis les variations des températures intérieures dans le séjour de l'étage intermédiaire et la quantité de l'énergie solaire absorbée par son mur extérieur ont été simulé pour déterminer l'orientation optimale parmi les huit orientations séparées par un intervalle de 45°. Dans ce chapitre, nous analyserons les résultats des mesures des températures et de la simulation thermique.

1. LES MESURES DES TEMPERATURES

1.1. La période d'été.

Durant la nuit, les régimes des températures intérieures dans les quatre séjours sont à peu près semblables : la température intérieure diminue de manière modérée par rapport à la température extérieure jusqu'à ce qu'elles atteignent leur minimum peu avant le lever du soleil. La diminution des températures intérieures revient aux déperditions de chaleur à travers le mur extérieur et la ventilation nocturne à travers les persiennes qui remplace l'air intérieur chaud par de l'air extérieur froid.

Après le lever du soleil, la température extérieure se met à croître progressivement jusqu'à atteindre son maximum l'après-midi. L'augmentation de la température de l'air extérieur élève la température de la surface externe du mur extérieur. Ainsi, un flux de chaleur se produit progressivement jusqu'à la face interne du mur ce qui échauffe l'air intérieur. Par ailleurs, la ventilation à travers les fenêtres et les persiennes ouvertes apporte l'air chaud à l'intérieur.

Cependant, lorsque le mur extérieur est exposé à l'énergie solaire, sa température de surface augmente sous l'effet de l'énergie solaire absorbée et qui se transforme aussitôt en chaleur, et passe progressivement vers l'intérieur. Aussi, selon l'efficacité du dispositif de protection solaire, l'énergie solaire pénètre directement à travers la fenêtre et accélère l'augmentation de la température intérieure. Néanmoins, l'effet de l'énergie solaire interceptée sur les variations de la température intérieure varie d'une orientation à une autre, et d'une saison à une autre.

1.1.1. Le séjour orienté au Nord-Est.

La façade est exposée aux rayons solaires du lever du soleil vers 6h jusqu'à 11h, elle dispose de 5 h d'ensoleillement. Mais, jusqu'à 8h, l'augmentation de la température intérieure est modérée en comparant avec la température extérieure parce que le soleil est bas dans le ciel, ses rayons sont de faible intensité et peuvent être interceptés par le bâtiment en face.

L'augmentation de la température intérieure s'accélère entre 8h et 10h lorsque le soleil augmente en hauteur en raison de l'exposition aux rayons solaires dont l'angle d'incidence diminue et l'intensité augmente progressivement. Les rayons solaires interceptés par le mur extérieur du séjour se transforment aussitôt en chaleur qui est conduite à travers le mur vers l'intérieur. Par ailleurs, les rayons solaires passent directement à travers les fenêtres selon la protection fournie par la persienne et échauffent l'air intérieur.

L'augmentation de la température intérieure se ralentit à partir de 11h parce que la façade n'est pas exposée au soleil. Elle atteint une valeur maximale de 31.2°C à 14h simultanément avec la température extérieure qui atteint une valeur maximale de 34.5°C. L'écart entre la température maximale intérieure et extérieure est 3.3°C.

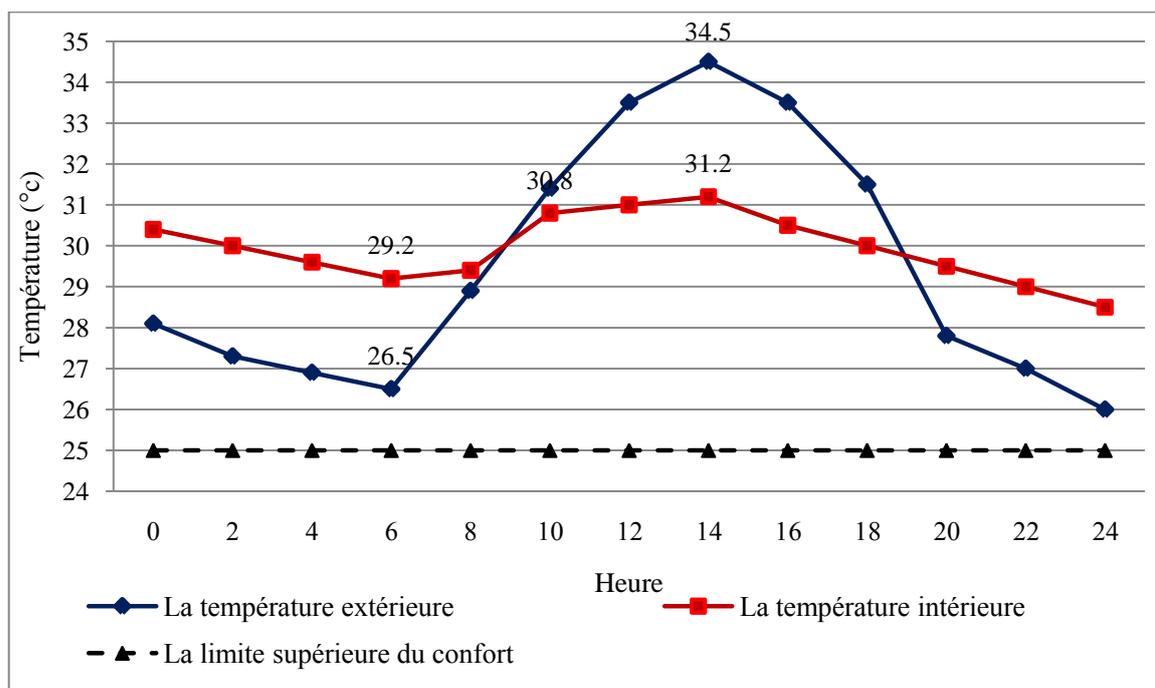


Figure VI.1: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Nord-Est par rapport à la limite supérieure du confort. Le 31 Aout 2015

Heure	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Température extérieure (°C)	28.1	27.3	26.9	26.5	28.9	31.4	33.5	34.5	33.5	31.5	27.8	27	26
Température Intérieure (°C)	30.4	30	29.6	29.2	29.4	30.8	31	31.2	30.5	30	29.5	29	28.5

Tableau VI.1: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Nord-Est. Le 31 Aout 2015

1.1.2. Le séjour orienté au Nord-Ouest.

La façade reçoit les rayons solaires de 15h au coucher du soleil vers 19h, elle dispose de 4 h d'ensoleillement.

La température intérieure augmente d'une manière uniforme jusqu'à atteindre un maximum de 31°C à 14h simultanément avec la température extérieure qui atteint un maximum de 34.5°C. Ensuite, elle diminue d'une manière uniforme avec la diminution de la température extérieure jusqu'au coucher du soleil.

Donc, la température intérieure n'est influencée que par les gains de chaleur malgré que la façade reçoive le rayonnement solaire dès 15h. Cependant, le rayonnement solaire reçu est presque parallèle à la façade (grand angle d'incidence) et donc de faible intensité, et lorsque son angle d'incidence diminue, la hauteur du soleil baisse et ses rayons peuvent être interceptés par le bâtiment en face, voilà pourquoi la température intérieure n'est pas influencé par l'énergie solaire reçu par la façade. L'écart entre la température maximale intérieure et extérieure est de 3.5°C.

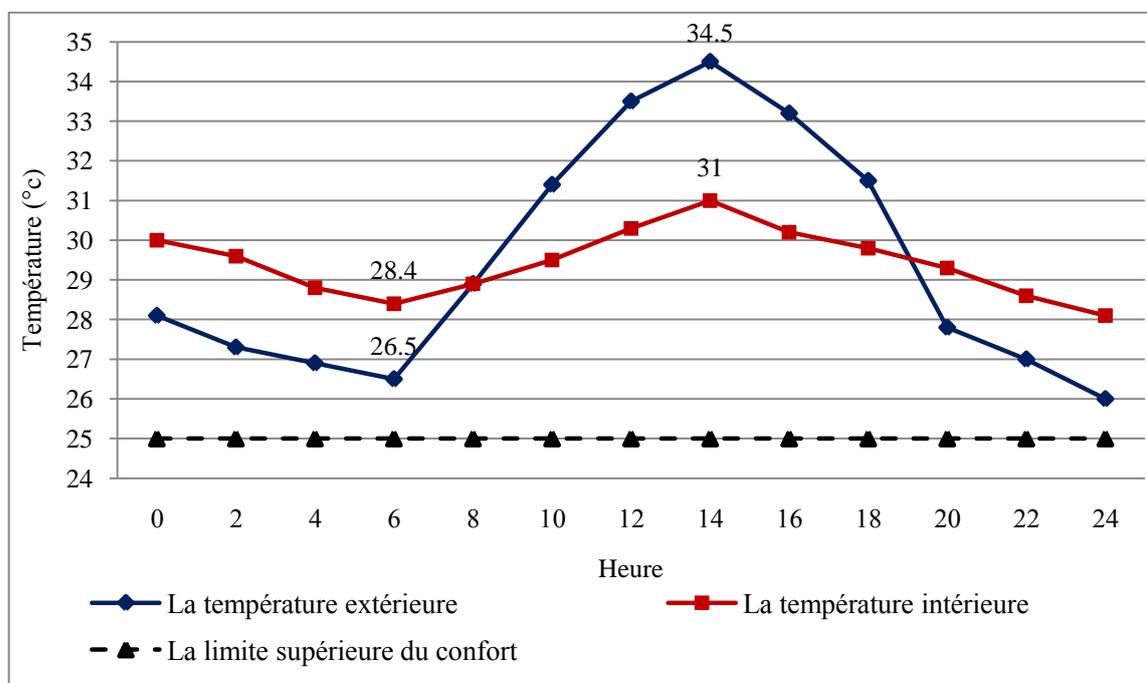


Figure VI.2: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Nord-Ouest par rapport à la limite supérieure du confort. Le 31 Aout 2015.

Heure	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Température extérieure(°C)	28.1	27.3	26.9	26.5	28.9	31.4	33.5	34.5	33.2	31.5	27.8	27	26
Température intérieure(°C)	30	29.6	28.8	28.4	28.9	29.5	30.3	31	30.2	29.8	29.3	28.6	28.1

Tableau VI. 2 : Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Nord-Ouest. Le 31 Aout 2015

1.1.3. Le séjour orienté au Sud-Est.

La façade est exposée aux rayons solaires du lever du soleil vers 6h jusqu'à 15h, elle dispose donc de 9h d'ensoleillement. Jusqu'à 8h, l'augmentation de la température intérieure est modérée parce que le soleil est bas et ses rayons sont interceptés par le bâtiment en face.

L'augmentation de la température intérieure s'accélère entre 8h et 12h en raison de l'exposition de la façade aux rayons solaires qui échauffent l'air intérieur par leur pénétration à travers la fenêtre ouverte ou par leur passage progressif à travers le mur extérieur. Au milieu de la journée, la température intérieure atteint une valeur maximale de 28.7 °c simultanément avec la température extérieure qui atteint une valeur maximale de 30.1 °c.

Par la suite, la température intérieure diminue d'une manière uniforme avec la diminution de la température extérieure. L'écart entre la température maximale intérieure et extérieure est de 1.4 °c.

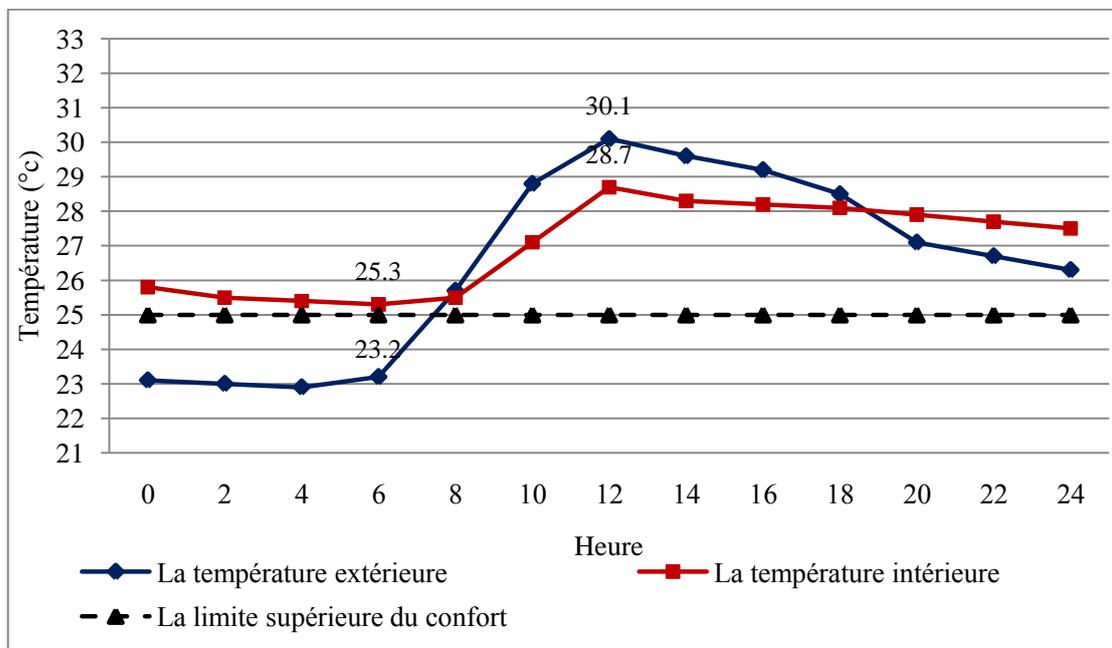


Figure VI.3: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Est par rapport à la limite supérieure du confort. Le 12 Septembre 2015.

Heure	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Température extérieure (°C)	23.1	23	22.9	23.2	25.7	28.8	30.1	29.6	29.2	28.5	27.1	26.7	26.3
Température intérieure (°C)	25.8	25.5	25.4	25.3	25.5	27.1	28.7	28.3	28.2	28.1	27.9	27.7	27.5

Tableau VI. 3: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Est . Le 12 Septembre 2015

1.1.4. Le séjour orienté au Sud-Ouest.

La façade est exposée aux rayons solaires de 11h au coucher du soleil vers 19 h, elle dispose donc de 8h d'ensoleillement.

Dès le lever du soleil, la température intérieure augmente d'une manière modérée avec l'augmentation de la température extérieure jusqu'à 11h. Après, l'augmentation de la température intérieure s'accélère parce que la façade devient exposée aux rayons solaires jusqu'à atteindre une valeur maximale de 27.9°C à 16h lorsque le soleil descend dans le ciel: ces rayons deviennent perpendiculaires à la façade (l'angle d'incidence diminue) et donc leur intensité s'élève, alors que la température extérieure a déjà atteint sa valeur maximale de 30.1°C au milieu de la journée.

Après 16h, la température intérieure commence à diminuer avec la diminution de la température extérieure jusqu'au coucher du soleil. L'écart entre la température maximale intérieure et extérieure est de 2.2°C.

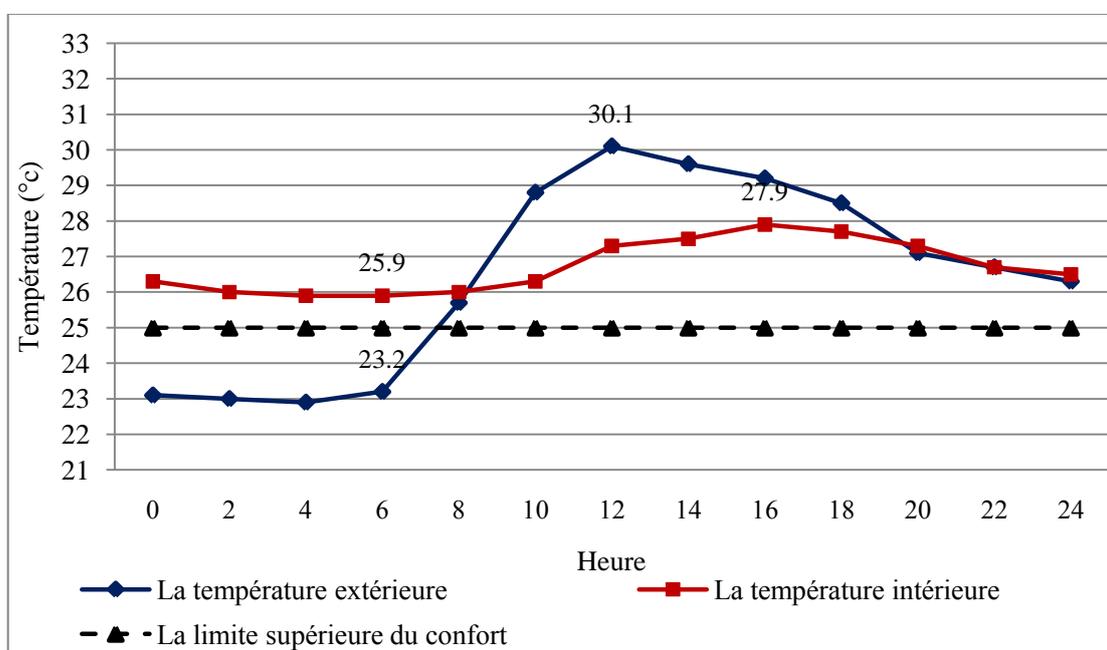


Figure VI. 4: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Ouest par rapport à la limite supérieure du confort. Le 12 Septembre 2015

Heure	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Température extérieure (°C)	23.1	23	22.9	23.2	25.7	28.8	30.1	29.6	29.2	28.5	27.1	26.7	26.3
Température Intérieure (°C)	26.3	26	25.9	25.9	26	26.3	27.3	27.5	27.9	27.7	27.3	26.7	26.5

Tableau VI. 4: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Ouest. Le 12 Septembre 2015

1.2. La période d'hiver.

Durant la nuit, La température intérieure diminue d'une manière uniforme avec la diminution de la température extérieure en raison des déperditions thermiques vers l'air extérieur froid à travers le mur extérieur du séjour et les infiltrations d'air aux alentours de la fenêtre.

Dès le lever du soleil, la température extérieure augmente jusqu'à atteindre une valeur maximale l'après midi, mais elle reste inférieure à la température intérieure. Donc, les déperditions thermiques diminuent, mais elles ne s'arrêtent pas. Par conséquent, la température intérieure devient plus stable.

Mais, lorsque la façade est exposée aux rayons solaires, ceux-ci sont transmis à travers le vitrage, ils se trouvent piégé et s'accumulent par l'effet de serre, ce qui élève la température de l'air intérieur selon l'orientation par rapport au soleil.

1.2.1. Le séjour orienté au Nord-Ouest.

Le séjour orienté au nord-est ne reçoit pas les rayons solaires durant toute la journée. La température intérieure varie entre une valeur minimale de 17.2°C enregistrée à 8h avec l'ouverture des persiennes en raison de l'augmentation des déperditions de chaleur à travers le vitrage, et une valeur maximale de 17.9°C enregistrée à 20h en raison des apports internes. L'amplitude des températures est de 0.7°C.

La stabilité de la température intérieure revient à la réduction des déperditions thermiques en raison de l'augmentation de la température extérieure, et, à l'absence des apports de chaleur parce que la façade ne reçoit pas le rayonnement solaire, à l'exception des apports internes. L'écart entre la température maximale intérieure et extérieure est de 3°C.

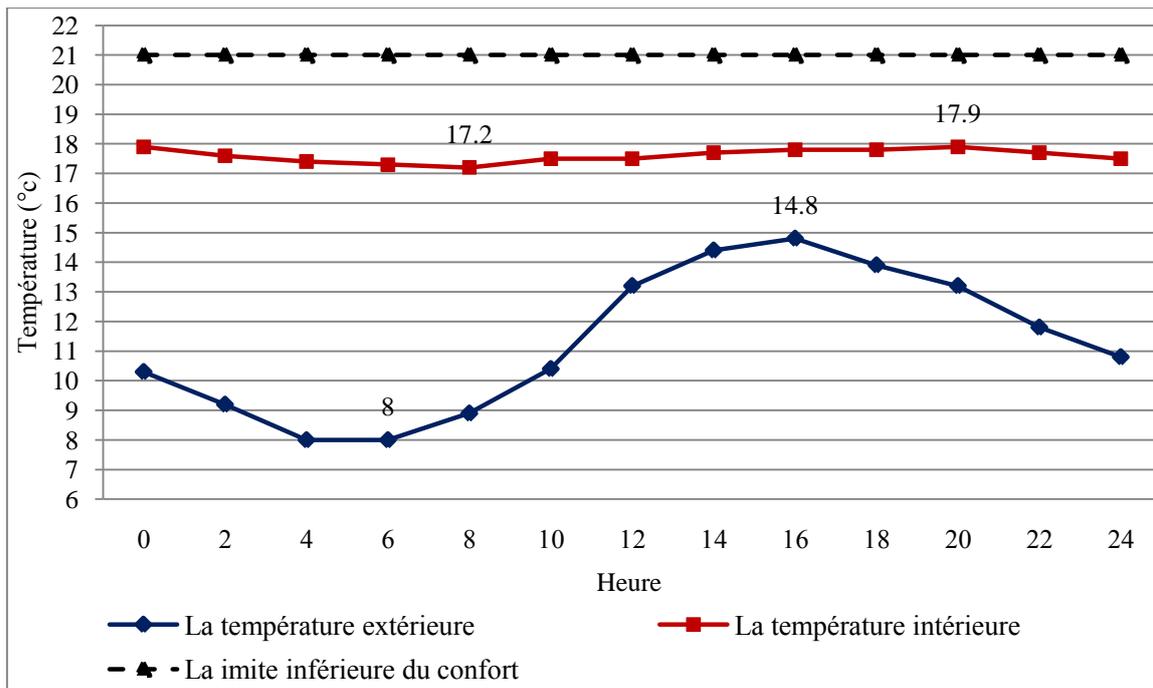


Figure VI. 5 : Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Nord-Ouest par rapport à la limite inférieure du confort. Le 26 Janvier 2016.

Heure	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Température extérieure(°c)	10.3	9.2	8	8	8.9	10.4	13.2	14.4	14.8	13.9	13.2	11.8	10.8
Température intérieure(°c)	17.9	17.6	17.4	17.3	17.2	17.5	17.5	17.7	17.8	17.8	17.9	17.7	17.5

Tableau VI. 5 : Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Nord-Ouest. Le 26 Janvier 2016.

1.2.2. Le séjour orienté au Sud-Est.

Le séjour reçoit le rayonnement solaire durant toute la journée, il dispose donc de 9 h d'ensoleillement. La température intérieure atteint une valeur minimale à 8h avec l'ouverture des persiennes en raison de l'augmentation des déperditions thermiques à travers le vitrage de faible résistance thermique. Ensuite, elle augmente jusqu'à atteindre une valeur maximale de 20.7°C entre 14 h et 16h sous l'effet de l'énergie solaire transmise à travers le vitrage, celle-ci se transforme en chaleur et s'accumule par l'effet de serre. Les rayons solaires reçus sont proches de la perpendiculaire à la façade (petit angle d'incidence), et donc leur intensité est élevée.

Lorsque les apports solaires cessent avant le coucher du soleil, les persiennes sont fermées pour limiter les déperditions de la chaleur accumulée durant la journée. Après le coucher du soleil, la température intérieure reste presque stable malgré la baisse de la température extérieure grâce à la chaleur accumulée durant la journée qui retarde la chute de la température intérieure, ainsi que les apports internes (occupation, éclairage, cuisson, équipements électriques). L'écart entre la température maximale et la température minimale est de 2.8°C. Alors que l'écart entre la température maximale intérieure et extérieure est de 6°C.

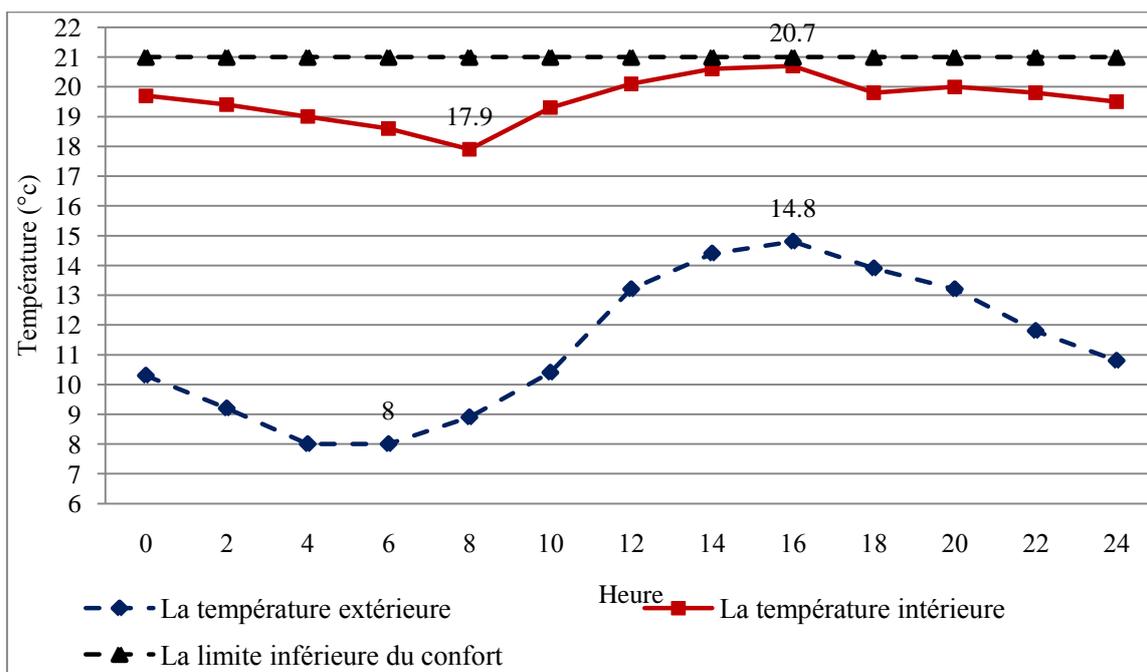


Figure VI.6: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Est par rapport à la limite inférieure du confort. Le 26 Janvier 2016.

Heure	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Température extérieure(°C)	10.3	9.2	8	8	8.9	10.4	13.2	14.4	14.8	13.9	13.2	11.8	10.8
Température intérieure(°C)	19.7	19.4	19	18.6	17.9	19.3	20.1	20.6	20.7	19.8	20	19.8	19.5

Tableau VI. 6: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au Sud-Est. Le 26 Janvier 2016.

1.2.3. Le séjour orienté au Sud-Ouest.

Le séjour est exposé au rayonnement solaire de 11h au coucher du soleil, il dispose donc de 7 h d'ensoleillement.

La température intérieure atteint une valeur minimale de 17.3°C à 8h avec l'ouverture des persiennes, puis elle devient plus stable en raison de l'augmentation de la température extérieure, ce qui réduit les déperditions de la chaleur à travers le vitrage.

A partir de 11h, l'augmentation de la température intérieure s'accélère jusqu'à atteindre une valeur maximale de 19.3°C à 14h lorsque le soleil descend dans le ciel: l'angle d'incidence des rayons solaires diminue et leur intensité augmente. Les persiennes sont fermées dès que les apports solaires cessent pour éviter les déperditions de la chaleur accumulée durant la journée. Après le coucher du soleil, cette chaleur accumulée ainsi que les apports internes retardent la chute de la température intérieure qui reste presque stable.

L'écart entre la température intérieure maximale et minimale est de 2°C, tandis que l'écart entre la température maximale extérieure et intérieure est 4.5°C.

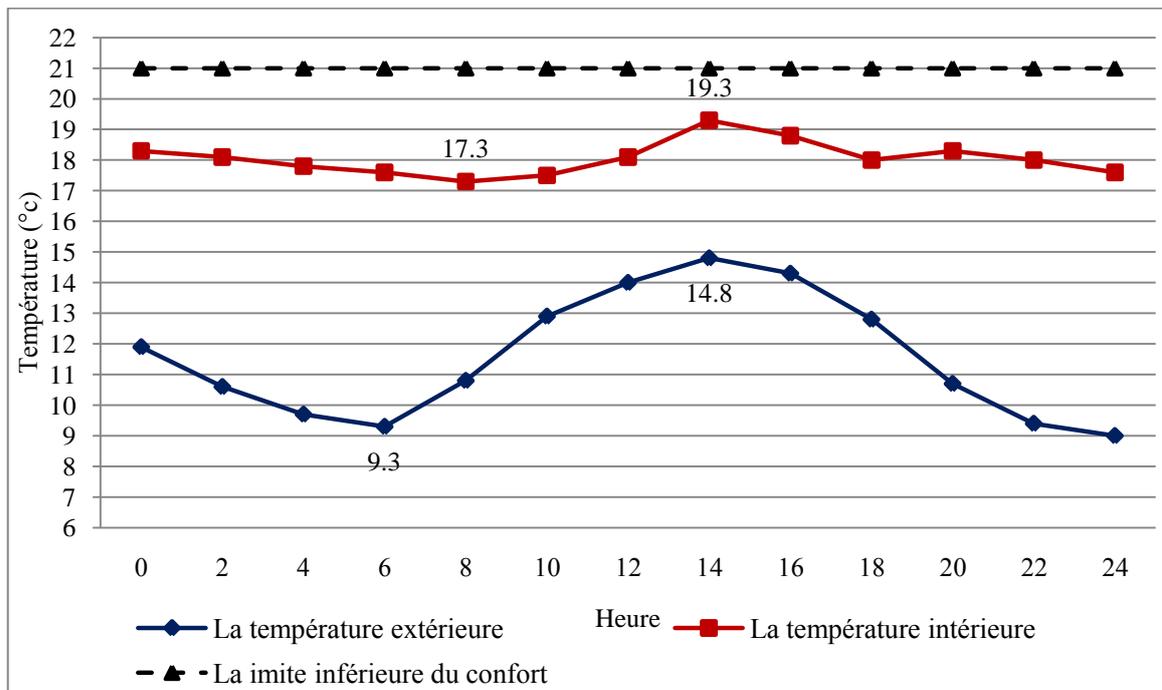


Figure VI.7: Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au sud-ouest par rapport à la limite inférieure du confort. Le 20 Février 2016.

Heure	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Température extérieure(°c)	11.9	10.6	9.7	9.3	10.8	12.9	14	14.8	14.3	12.8	10.7	9.4	9
Température intérieure(°c)	18.3	18.1	17.8	17.6	17.3	17.5	18.1	19.3	18.8	18	18.3	18	17.6

Tableau VI. 7 : Les variations de la température à l'extérieur et à l'intérieur du séjour orienté au sud-Ouest. Le 20 Février 2016.

1.3. L'évaluation du confort thermique dans les logements étudiés

Les limites du confort pour la région d'El-tarf sont déduites à travers le calcul de la température de neutralité en utilisant la formule de Fanger.

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_m$$

La température moyenne (T_m) est égale à 18.26° . D'après la formule, La température de neutralité est égale donc à 23.26°C . Les limites de confort sont donc égales à $T_n \pm 2$. La limite supérieure du confort est de 25°C tandis que la limite inférieure est de 21°C .

Toutes les températures mesurées que se soit à l'extérieur ou à l'intérieur des logements étaient en dehors de la zone de confort. Néanmoins, la température intérieure mesuré en hiver dans le séjour sud-est s'approche de la limite du confort avec un écart de 0.3°C sous l'effet de l'énergie solaire transmise à travers le vitrage et accumulée à l'intérieur par l'effet de serre, ce qui montre l'importance du chauffage solaire passif dans l'amélioration du confort thermique.

Par ailleurs, en été, la température nocturne diminue jusqu'à s'approcher de la limite du confort. Une ventilation nocturne efficace rend les logements plus confortables.

2. LA SIMULATION

2.1. L'effet de l'orientation sur la température intérieure.

L'effet de l'orientation sur la température intérieure a été étudié en tournant le bâtiment avec un angle de 45° jusqu'à accomplir un tour complet. Ainsi, huit orientations distinctes ont été simulées pour le bâtiment : 0° Nord, 45° Nord-Est, 90° Est, 135° Sud-Est, 180° Sud, 225° Sud-Ouest, 270° Ouest, 315° Nord-Ouest.

Les températures intérieures des séjours des différentes orientations se rapprochent la nuit parce qu'elles sont uniquement influencées par la température extérieure.

2.1.1. La période d'été.

- L'orientation Nord enregistre la température intérieure maximale la plus faible durant toute la journée, 29.1°C à 12 h, parce que la paroi extérieure ne reçoit pas le rayonnement solaire durant toute la journée.

- Les orientations Nord-Est et Nord-Ouest enregistrent des températures intérieures maximales plus élevées que celle de l'orientation Nord. En effet, l'orientation Nord-Est reçoit le rayonnement solaire de 6 h à 10 h, la température intérieure atteint son maximum de 30.1°C à 8 h, tandis que l'orientation Nord-Ouest de 14 h à 18 h, et elle enregistre une température intérieure maximale de 30.2°C à 16 h.

- L'orientation Sud reçoit le rayonnement solaire de 8h à 16h, la température intérieure atteint un maximum de 30.6°C à 12h, avec un écart de 1.5°C par rapport à la température intérieure maximale de l'orientation Nord.

- L'orientation Sud-Est reçoit le rayonnement solaire de 6h à 14h tandis que l'orientation Sud-Ouest le reçoit de 10h à 18h. Elles enregistrent une température intérieure maximale de 31.2°C à 10h et 14h respectivement. Ces températures sont plus élevées que celle de l'orientation Sud.

- L'orientation Est reçoit le rayonnement solaire de 6h à 12 h et enregistre une température maximale qui oscille entre 30.9°C à 8 h et 31.4°C à 10 h. L'orientation Ouest reçoit le rayonnement solaire de 12h à 18h, la température intérieure varie entre 31.3°C à 14h et 30.8°C 16h. Les températures maximales enregistrées dans les orientations Est et Ouest sont les plus élevées par rapport aux autres orientations.

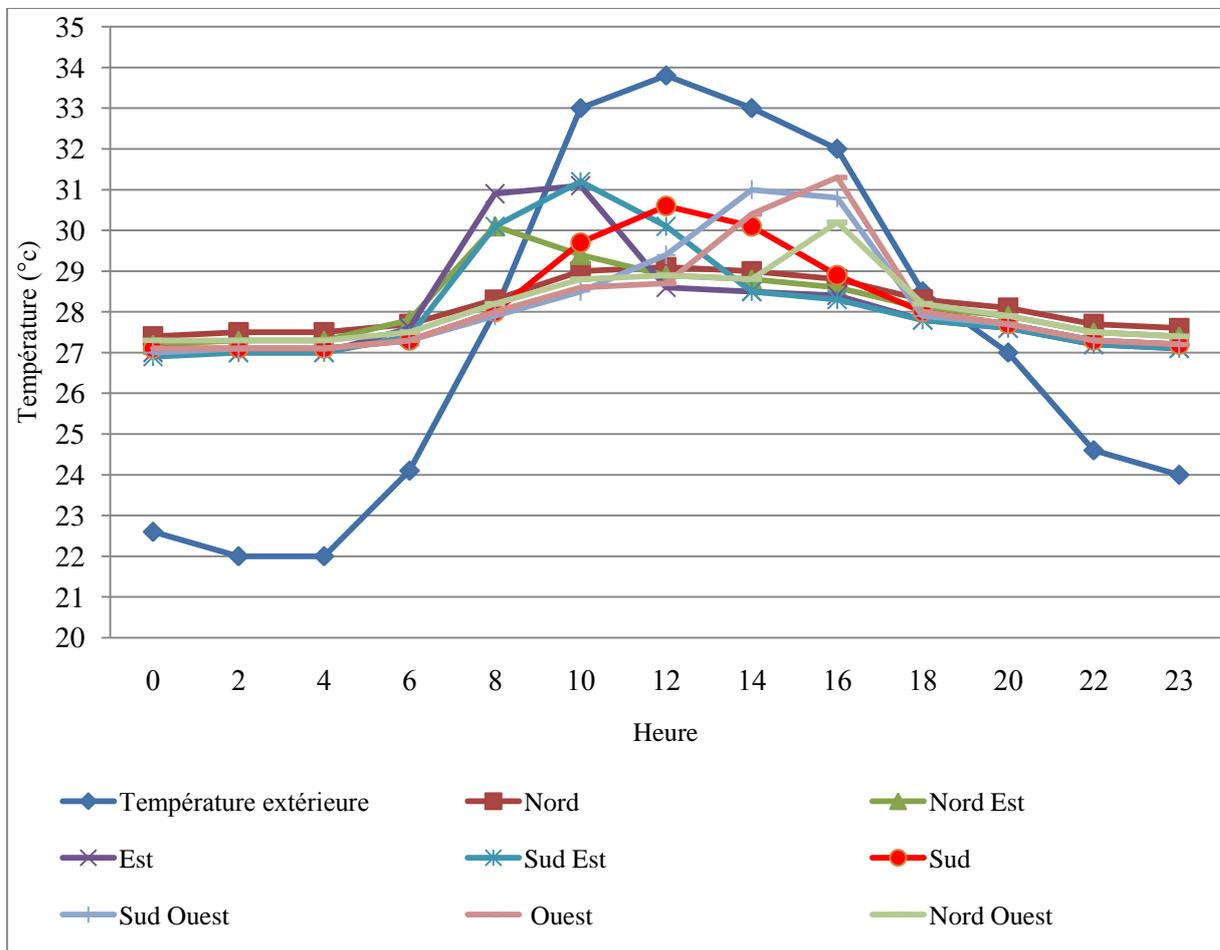


Figure VI. 8: Variation de la température intérieure en fonction de l'orientation durant la période estivale. Journée du 19 Août.

2.1.2. La période d'hiver.

- Les orientations Nord-Est, Nord et Nord-Ouest enregistrent les températures maximales les plus faibles par rapport aux autres orientations, 12.3°C à 12h, parce qu'elles ne reçoivent pas le rayonnement solaire durant toute la journée.

- L'orientation Est reçoit le rayonnement solaire de 8h à 12h, elle enregistre une température maximale de 13.8°C à 10h, tandis que l'orientation Ouest reçoit le rayonnement solaire de 12h à 16h, elle atteint une valeur maximale de 13.4°C à 14h.

- L'orientation Sud-Est reçoit le rayonnement solaire de 8h à 14h, elle enregistre une température maximale de 14.6°C de 10 h à 12 h, tandis que l'orientation Sud-Ouest reçoit le rayonnement solaire de 10h à 16h, la température maximale est de 14.7°C à 14h. Les orientations Sud-Est et Sud-Ouest enregistrent des températures intérieures maximales plus élevées que les orientations précédentes.

- L'orientation Sud reçoit le rayonnement solaire de 8 h à 16 h, la température maximale enregistrée est de 15.1°C à 12 h, soit un écart de 2.8°C par rapport aux orientations Nord-Est, Nord et Nord-Ouest. Elle enregistre la température maximale la plus élevée par rapport à toutes les autres orientations.

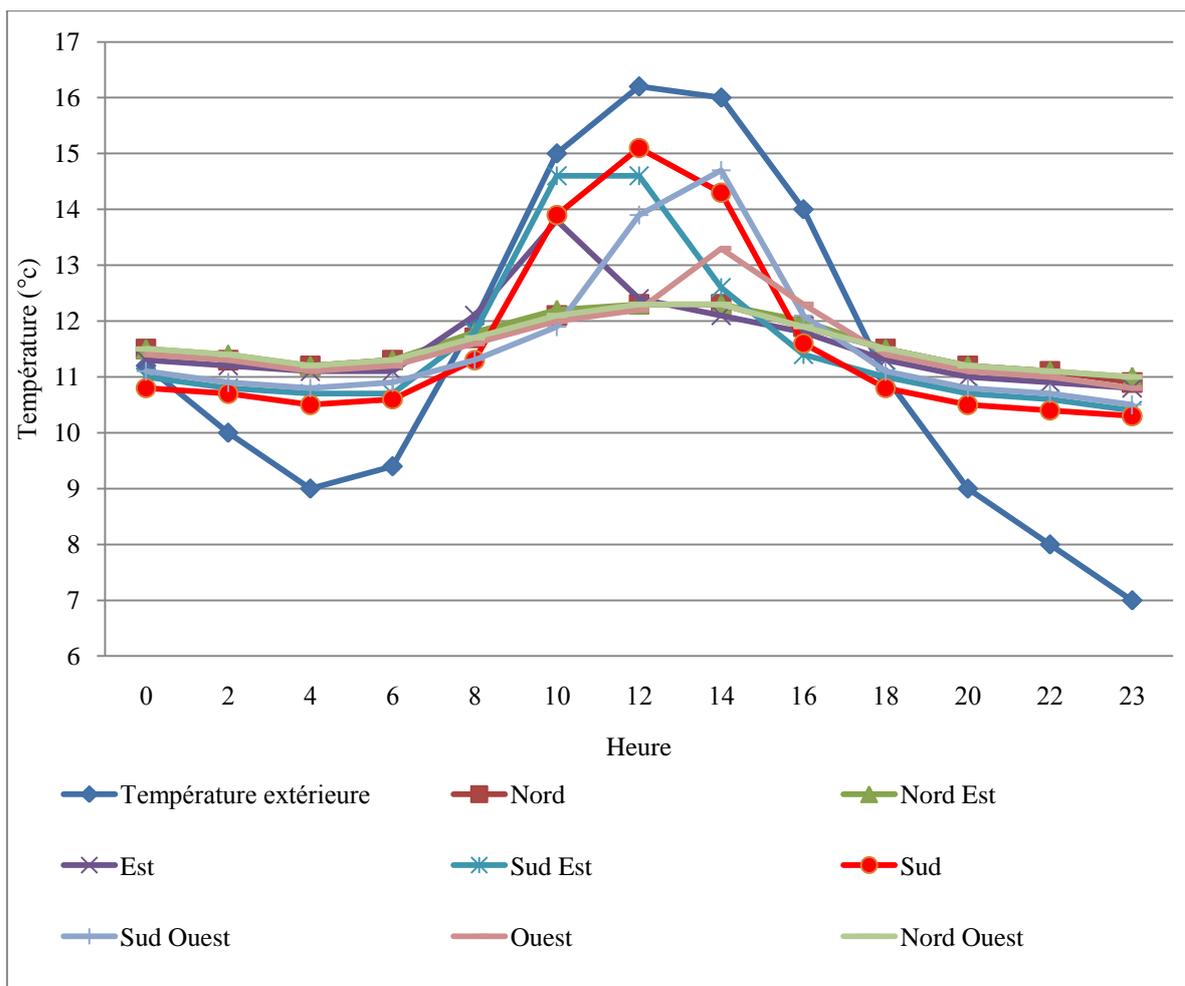


Figure VI. 9: Variation de la température intérieure en fonction de l'orientation durant la période hivernale. Journée du 16 Janvier.

D'après les résultats de la simulation, on conclut que l'orientation Sud est la plus favorable parce qu'elle présente un compromis entre les températures intérieures maximales les plus élevées en hiver et les plus faibles en été.

Les orientations Sud-Est et Sud-Ouest sont moins favorables parce qu'elles enregistrent des températures maximales plus élevées en été et plus faibles en hiver que celle de l'orientation Sud.

Les orientations Est et Ouest sont défavorables parce que leurs températures maximales sont plus élevées que celles des orientations Sud-Est et Sud-Ouest et plus faibles en hiver que celles des orientations précédentes. Par ailleurs, le rayonnement solaire perpendiculaire à la façade génère un éblouissement difficile à s'en protéger.

Les orientations Nord-Est, Nord et Nord-Ouest sont les plus défavorables parce qu'elles enregistrent les températures intérieures les plus faibles par rapport aux autres orientations en été comme en hiver.

2.2. L'effet de l'orientation sur la quantité du rayonnement solaire absorbé.

La quantité du rayonnement solaire en été est plus importante parce que la durée d'ensoleillement est plus longue qu'en hiver. C'est pourquoi, le rayonnement solaire est distribué en été de l'orientation Nord-Est vers l'orientation Nord-Ouest, tandis qu'en hiver, il est distribué du Sud-Est vers le Sud-Ouest.

En hiver, l'orientation Sud reçoit plus de rayonnement solaire (340 w/m^2) que l'orientation Est (95 w/m^2) et Ouest (63 w/m^2). Cependant, en été, l'orientation Est reçoit plus de rayonnement solaire (156 w/m^2) que l'orientation Sud (149 w/m^2).

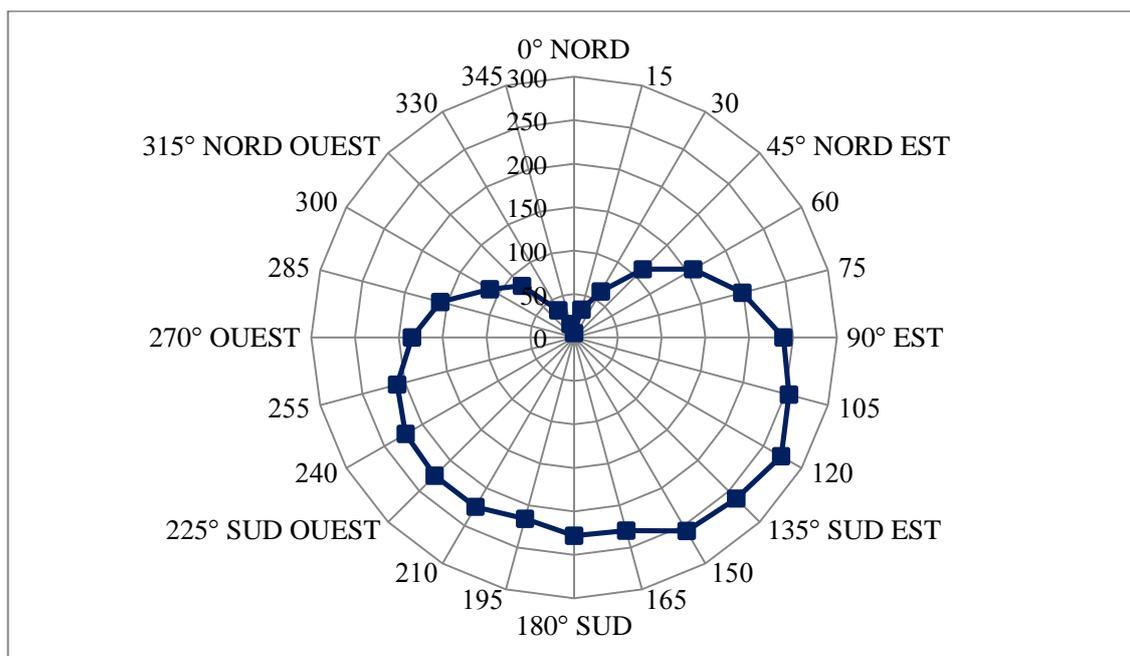


Figure VI. 10: La quantité du rayonnement solaire absorbé selon l'orientation de la paroi extérieure durant le période estivale (w/m^2).

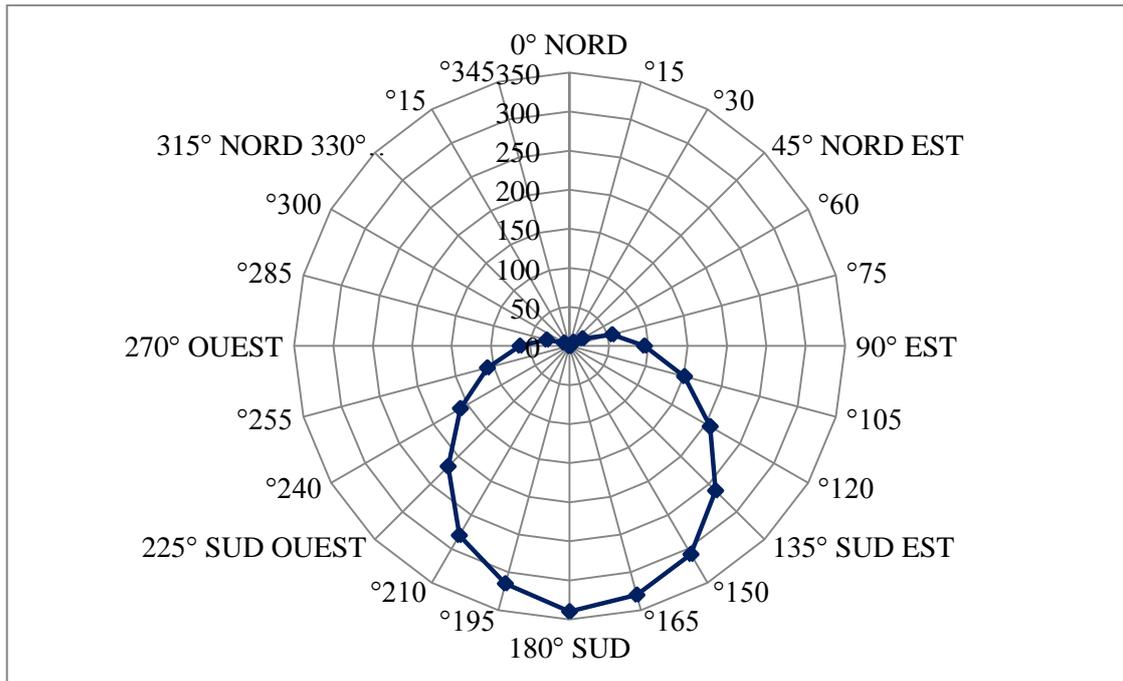


Figure VI. 11: La quantité du rayonnement solaire absorbé selon l'orientation de la paroi extérieure durant le période hivernale (w/m^2).

CONCLUSION

Les mesures des températures confirment l'effet de l'orientation par rapport au soleil sur les variations de la température intérieure. Bien que toutes les orientations reçoivent les rayons solaires en été parce que la course solaire s'étend du nord-est au nord-ouest, l'effet des rayons solaires sur la température intérieure varie en fonction de son angle d'incidence qui détermine l'intensité énergétique, et qui varie d'une orientation à une autre avec la variation de la position du soleil dans le ciel.

L'effet des rayons solaires sur la température intérieure est négligeable lorsqu'ils s'éloignent de la perpendiculaire à la façade comme c'est le cas du séjour nord-ouest. Tandis qu'il est plus marqué lorsque les rayons solaires s'approchent de la perpendiculaire à la façade comme c'est le cas du séjour sud-est et notamment du séjour sud-ouest

En hiver, la température intérieure est plus élevée que la température extérieure, donc il y a toujours des déperditions thermiques. Mais, lorsque la façade reçoit les rayons solaires, ceux-ci sont transmis à travers le vitrage et s'accumulent par l'effet de serre, ce qui élève la température de l'air intérieur. La course solaire s'étend en hiver de sud-est au sud-ouest. Ainsi, Le séjour nord-est ne reçoit pas le rayonnement solaire durant toute la journée, sa température reste presque stable et elle est la plus faible, tandis que le séjour orienté sud-est est exposé au soleil bas dans le ciel et ses rayons sont perpendiculaires à la façade, la température intérieure s'élève jusqu'à atteindre la limite du confort.

Les mesures des températures confirment le manque de confort thermique à l'intérieur des logements publics locatifs étudiés parce que toutes les températures intérieures mesurées étaient en dehors de la zone de confort. Cependant l'orientation

sud-est est la plus proche du confort thermique. En hiver, la température intérieure s'élève jusqu'à atteindre le confort thermique sous l'effet des rayons solaires perpendiculaires à la façade. En été, le soleil est plus élevé dans le ciel qu'en hiver, et donc son intensité est plus faible que pour l'orientation sud-ouest pour laquelle les rayons solaires sont perpendiculaires à la façade. Malgré que cette orientation ait enregistré la température la plus élevée, ceci revient aux variations dans le réglage des protections solaires entre les habitants des deux logements. En effet, les habitants du séjour sud-est laissent la persienne semi-ouverte tandis que les habitants du séjour sud-ouest la tiennent fermée durant toute la journée.

L'analyse des résultats de la simulation indique que l'orientation la plus favorable par rapport au soleil est l'orientation sud: en hiver, elle enregistre la température maximale la plus élevée et reçoit la quantité la plus élevée de l'énergie solaire; tandis qu'en été, elle enregistre la température maximale la plus faible et reçoit moins d'énergie solaire. Les orientations sud-est et sud-ouest sont moins favorables, les orientations est et ouest sont défavorables en raison des surchauffes en été, tandis que l'orientation nord est défavorable en raison des déperditions de chaleur en hiver.

Sur le plan de la conception, pour tirer parti des avantages de l'orientation sud, il faut que la façade sud soit la plus grande, tandis que les façades est et ouest doivent être réduites. Par ailleurs, il faut agrandir les fenêtres orientées au sud pour capter le maximum d'énergie solaire en hiver, réduire les fenêtres orientées à l'est et à l'ouest, et réduire encore plus les dimensions des fenêtres orientées au nord.

Les caractéristiques de l'enveloppe doivent permettre de maximiser les apports d'énergie solaire en hiver et de minimiser leur pénétration en été. L'amélioration du confort thermique dans les logements publics locatifs par l'adaptation des caractéristiques de l'enveloppe à celles du climat local fera l'objet du prochain chapitre.

SEPTIEME CHAPITRE

DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DE L'ENVELOPPE ADAPTEES AU CLIMAT D'EL-TARF

INTRODUCTION

Ce chapitre commence par une analyse des données climatiques relevées à la station météorologique de la wilaya d'El-Tarf en vue de connaître les caractéristiques climatiques de la région. Par ailleurs, une analyse microclimatique a été menée sur le site de l'étude situé à l'ouest d'El-kala en vue de connaître les modifications que peuvent apporter les éléments du site aux données climatiques.

L'analyse bioclimatique par l'utilisation des tableaux de Mahoney et du diagramme bioclimatique vise à déterminer les caractéristiques de l'enveloppe à employer lors de la conception des logements pour assurer le confort thermique des habitants lorsque les conditions extérieures de température ambiante et de l'humidité de l'air sortent de la zone de confort, et ce avec une utilisation rationnelle des équipements de chauffage et de climatisation. Par ailleurs, la superposition de l'indicateur d'occultation avec le diagramme solaire polaire établis pour la région d'El-tarf permet de déterminer les dimensions des dispositifs de protection solaire pour que la pénétration des rayons solaires soit maximale en hiver et minimale en été.

1. PRESENTATION DE LA REGION D'EL TARF

1. 1. Situation de la wilaya d'El-Tarf.

La wilaya d'El-Tarf est située à l'extrême nord-est du pays entre 36° 37' et 36°95' de latitude, et entre 7° 73' et 8°68'de longitude. Le territoire de la wilaya est délimité comme suit:

- La république de la Tunisie à l'est.
- La wilaya d'Annaba à l'ouest et au nord-ouest, et la wilaya de Guelma à l'ouest et au sud-ouest.
- La wilaya de Souk-Ahras au sud.
- La mer méditerranée au nord, soulignons que le littoral de la wilaya est d'environ 90 Km.

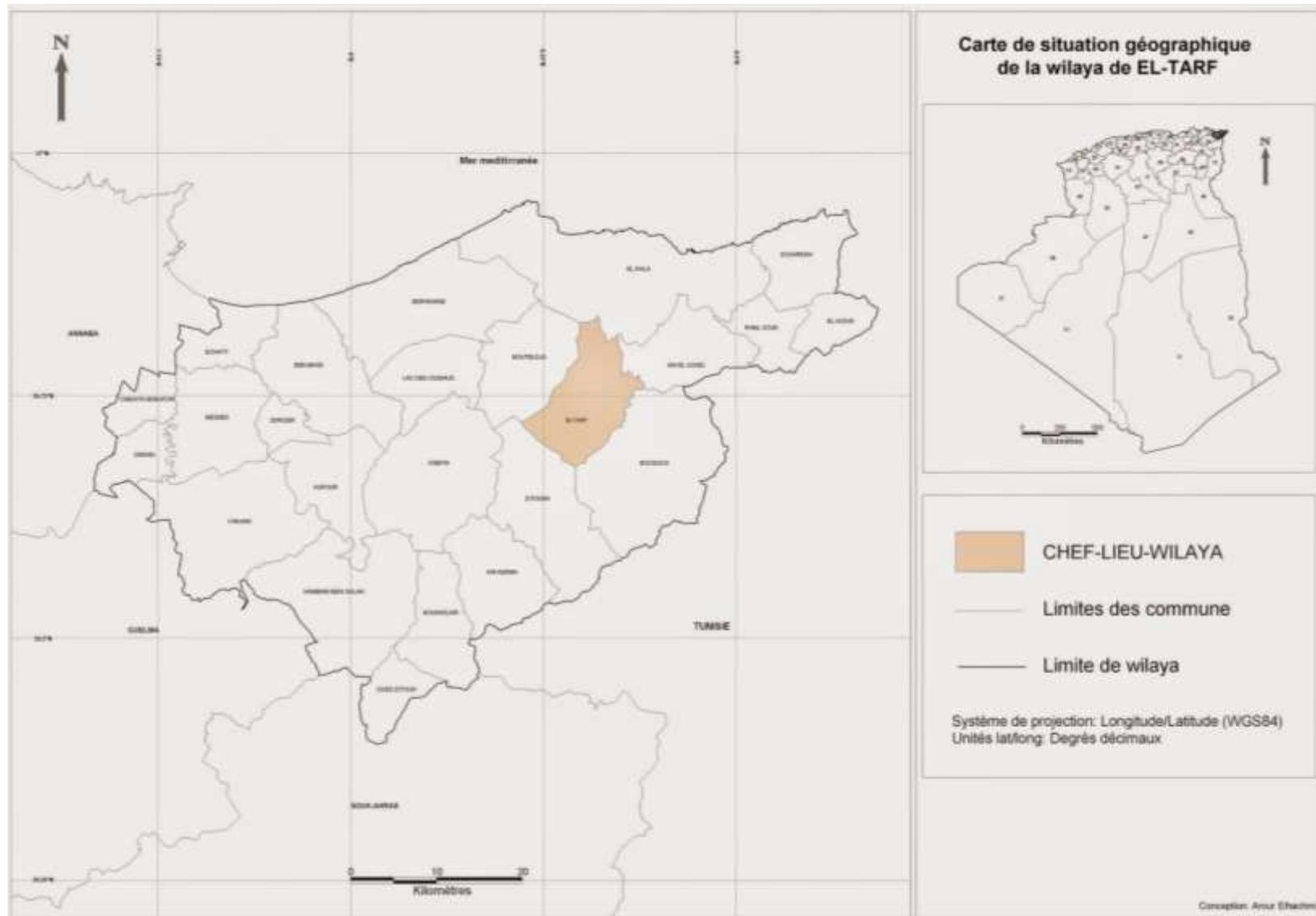


Figure VII.1: Carte de situation géographique de la wilaya d'El-Tarf. (Source: <http://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/>)

Le relief de la wilaya est constitué de deux ensembles nettement différenciés du nord au sud:

- **La zone des plaines** se caractérise surtout par des plaines et des piémonts, des dunes littorales, des étendus lacustres et marécageuses. Elle s'étend sur un littoral de 90km. Elle dispose de 4 lacs : Le lac El-melleh, le lac Obeira, le lac des oiseaux, et le lac Tonga.

- **La zone de montagnes** est constituée d'un ensemble collinaire et montagneux et d'une couverture forestière très dense. Le relief de cette zone est accidenté (la pente dépasse 12%).

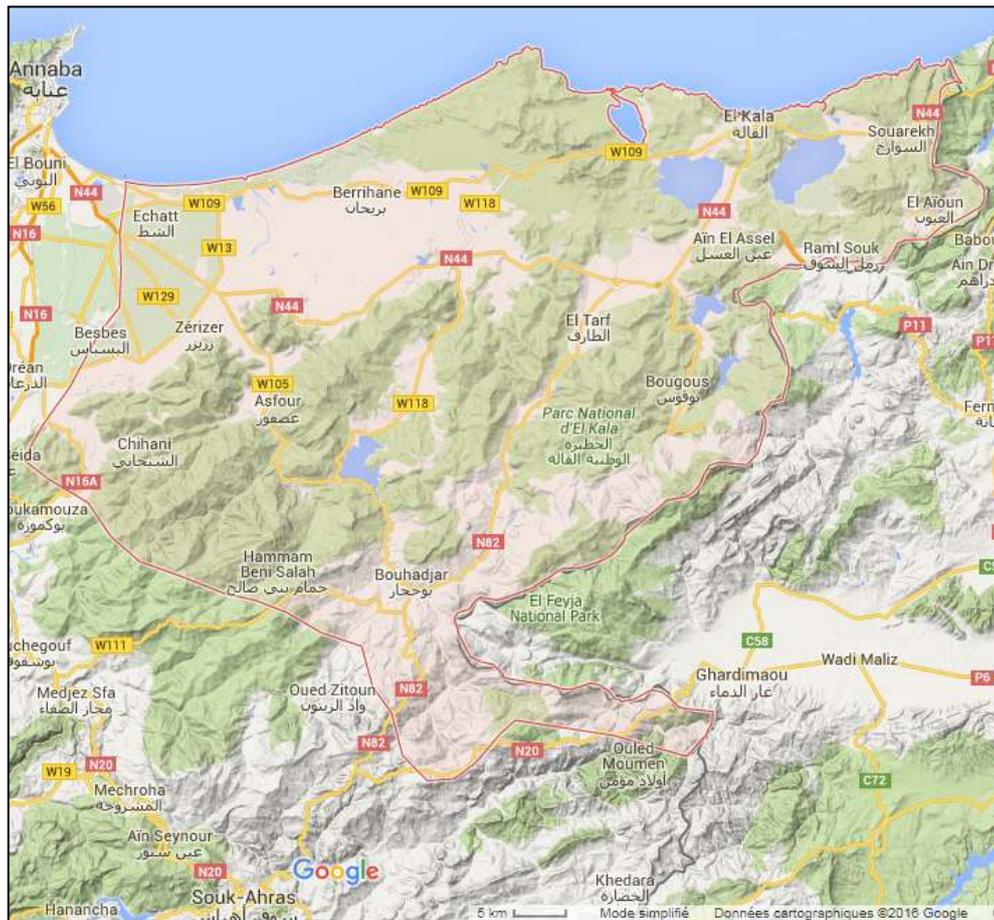


Figure VII.2: Le relief de la wilaya d'El-tarf (Source : Google maps)

1.2. Analyse des données climatiques.

La région d'El-Tarf appartient au climat méditerranéen de type littoral caractérisé par :

- la concentration des pluies en hiver et été sec;
- été chaud à torride, hiver frais à froid;
- rayonnement solaire intense surtout en été.

Les données climatiques sont collectées depuis la station météorologique d'El-Tarf sur une période de 10 ans qui s'étend de l'année 2005 à 2014.

- La température

Le mois de Février est le plus froid avec une température moyenne maximale de 16.3°C et une température moyenne minimale de 6.61°C, tandis que l'amplitude des températures est de 9.69°C et la température moyenne est de 11.45 °C.

Par contre, le mois d'Aout est le plus chaud, avec une température moyenne maximale de 31.37°C et une température moyenne minimale de 19.77°C, tandis que l'amplitude des températures est de 11.6°C et la température moyenne est de 25.57°C.

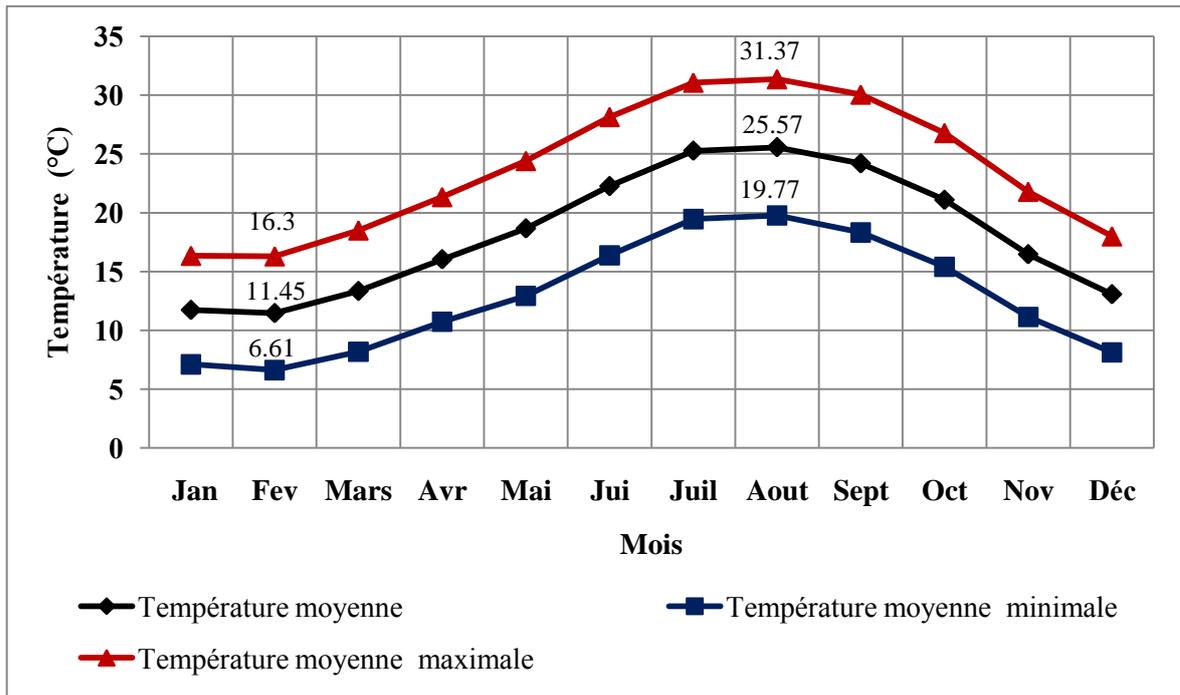


Figure VII.3: Les variations de la température de l'air extérieur pour la période de 2005 à 2014. (Source : La station météorologique de la wilaya d'El-Tarf).

- L'humidité relative

L'humidité relative moyenne est élevée durant toute l'année, sa moyenne annuelle est de 71.53%. La valeur maximale de l'humidité relative est enregistrée pendant le mois de Janvier (73.70%) tandis que la valeur minimale est enregistrée pendant le mois d'Aout (68.90%).

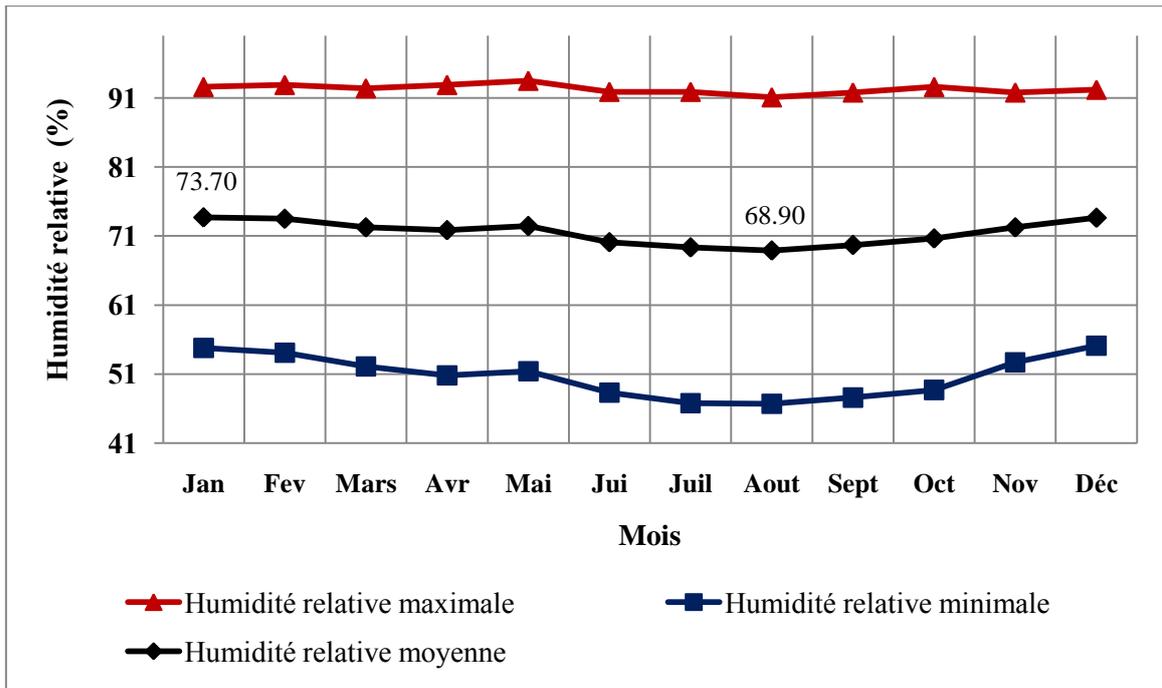


Figure VII.4: Les variations de l'humidité relative pour la période de 2005 à 2014.
(Source : La station météorologique de la wilaya d'El-Tarf).

- La vitesse du vent

Les vents sont faibles à modérés, leurs vitesses varient de 3.39 m/s (la valeur minimale enregistrée pendant le mois d'Octobre) à 4.11 m/s (la valeur maximale enregistrée pendant le mois de Juillet). En hiver, les vents dominants soufflent du nord-ouest et apportent les précipitations les plus importantes. A l'opposé, le sirocco qui souffle en été venant du secteur sud-est assèche l'atmosphère et favorise avec les températures élevées les incendies des forêts.

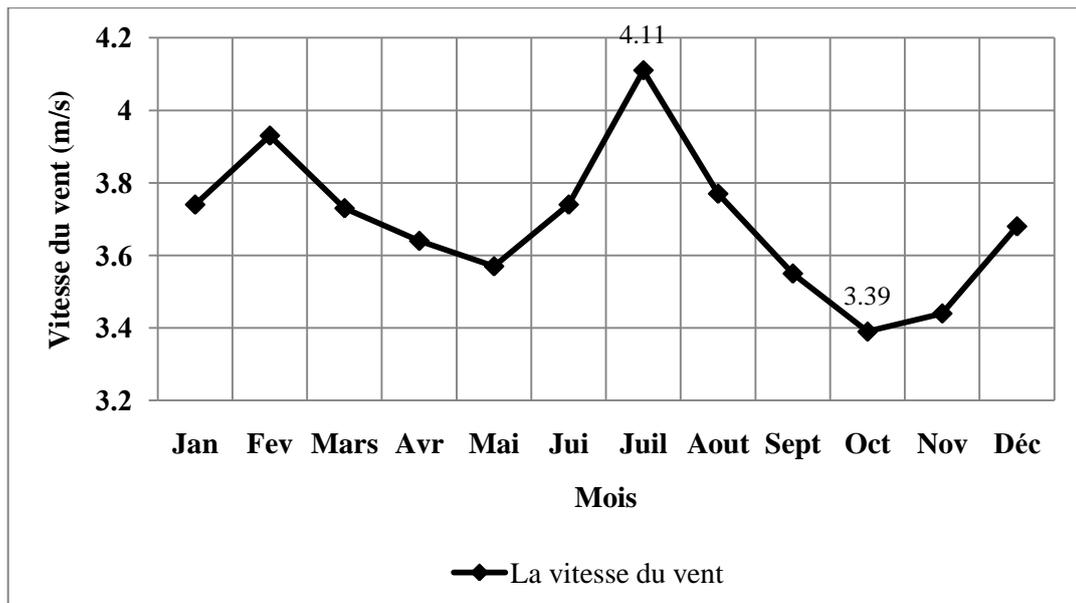


Figure VII. 5: Les variations de la vitesse du vent pour la période de 2005 à 2014.
(Source : La station météorologique de la wilaya d'El-Tarf).

- Les précipitations

La région est considérée parmi les plus pluvieuses en Algérie, avec un total annuel de 651.22 mm. Les mois de Décembre, Janvier, Février, Mars sont les plus pluvieux (plus de 55%) avec un maximum de précipitation pendant le mois de Janvier (90.78 mm). Les mois de Juin, Juillet et Aout sont les plus secs (3%) avec un minimum de précipitations pendant le mois de Juillet (1.99 mm).

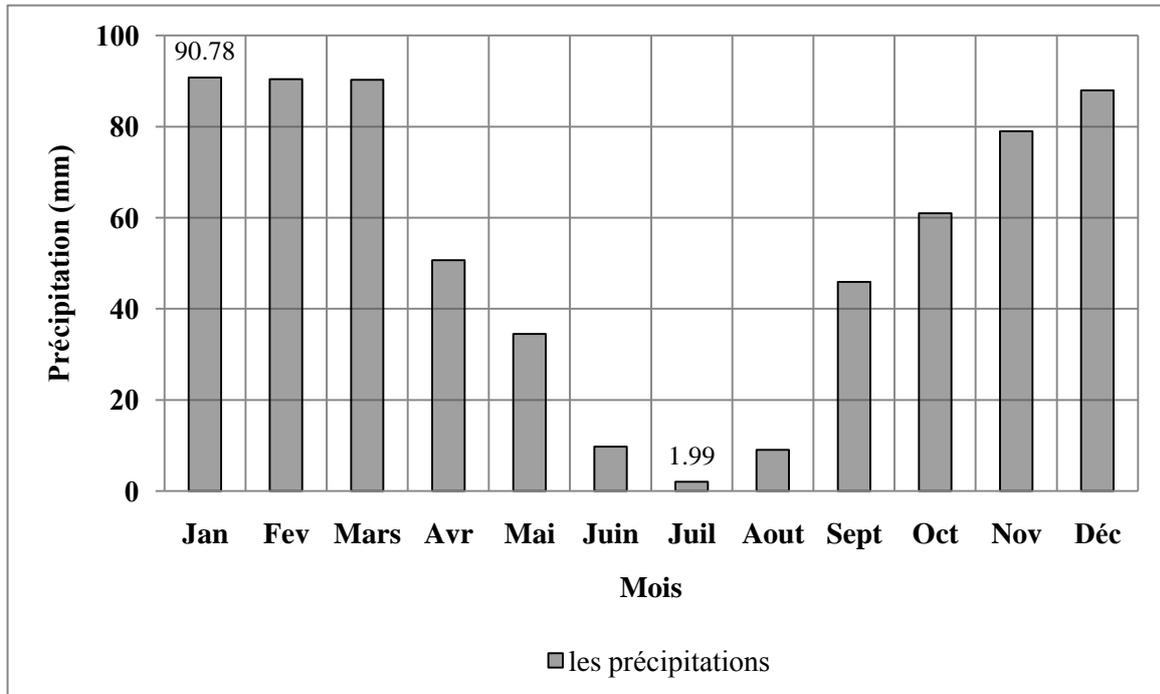


Figure VII.6: Les variations des précipitations pour la période de 2005 à 2014.
(Source : La station météorologique de la wilaya d'El-Tarf).

1.3. Analyse microclimatique

Le site de l'étude (les 300 logements publics locatifs construits à la cité Gharcî Amara) est situé à l'ouest de la commune d'El-kala située à son tour au nord-est de la wilaya d'El-tarf. La commune possède une façade maritime de 56.7 Km et elle fait partie du parc national d'El-Kala, créé en 1983. Le parc est composé d'une mosaïque d'écosystèmes marins, lacustres, dunaires et forestiers, lui ont valu son inscription en tant qu'une des réserves de la biosphère depuis le 17 décembre 1990.

Trois lacs sont disposés en arc de cercle autour de la ville d'El-Kala, à savoir:

- le lac Mellah d'une superficie de 860 HA,
- le lac Obéira d'une superficie de 3160 HA
- le lac Tonga d'une superficie de 2700 HA. Ces deux derniers lacs sont protégés par la convention RAMSAR relative aux zones humides d'importance internationale.

El-Kala est l'une des régions les plus humides dans le bassin méditerranéen en raison de l'évaporation, qui caractérise ces lacs ainsi que les terrains et la végétation qui les abondent.

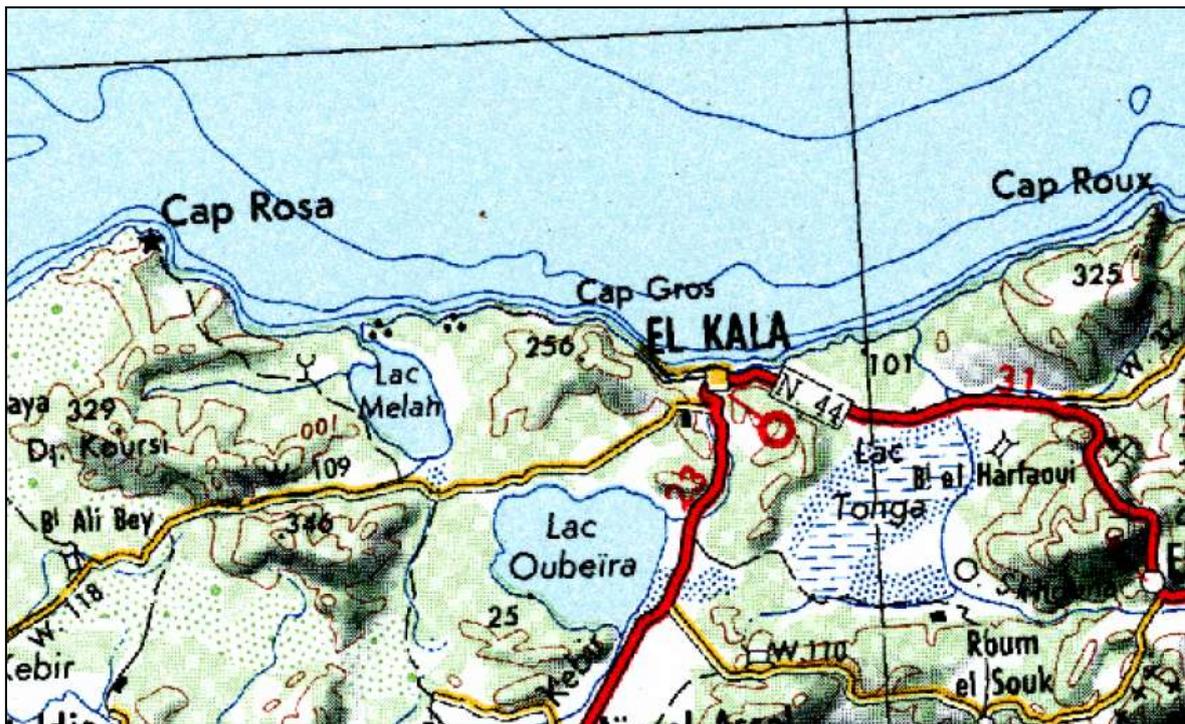


Figure VII.7: Carte illustrant les trois lacs disposés en arc de cercle autour de la ville d'El-Kala (Source : <http://www.asal.dz/files/atlas/Parcs%20nationaux2.pdf>)

Le site de l'étude est entouré par trois étendus d'eau importantes:

- au nord, il est éloigné de la mer méditerranéenne par 2.4 Km.
- au sud, il est éloigné du lac Obéira par 2.5 Km.
- à l'est, il est éloigné du lac Mellah par 6 Km.

Par ailleurs, le site est limité par un couvert végétal de faible hauteur du nord jusqu'à l'ouest.

Ces facteurs cités modifient certainement les éléments climatiques qui caractérisent cette région, et engendrent un microclimat propre au site qu'il est important de le connaître:

- La mer et les lacs se caractérisent d'une part par leur capacité thermique; ils s'échauffent et se refroidissent plus lentement que la terre, d'autre part, leur évaporation augmente le taux d'humidité dans l'air. Par conséquent, les fluctuations des températures sont modérées au niveau du site. Par ailleurs, les différences de températures entre ces étendus d'eau et la terre créent des brises rafraichissantes en été.

- Le couvert végétal augmente également le taux d'humidité dans l'air grâce à l'évapotranspiration de l'eau, ce qui réduit les fluctuations des températures. Le site, situé dans une zone dégagée, est exposé aux vents froids et forts d'hiver qui soufflent du nord au nord-ouest.



Figure VII.8: Carte illustrant les paramètres agissant sur le microclimat du site d'étude.
(Source: Google maps).

D'après l'analyse microclimatique, on peut déduire que les principaux apports bénéfiques du site que la conception des bâtiments doit permettre d'en profiter sont:

- Les fluctuations modérées des températures qui réduisent les besoins de chauffage et de climatisation,
- Les brises rafraichissantes en été.

Tandis que les principales contraintes que la conception des bâtiments doit réduire leur impact sont:

- Les vents d'hiver qui soufflent du nord-ouest,
- Le taux élevé de l'humidité qui ralentit le refroidissement du corps par évapotranspiration,
- La chute des températures pendant les nuits d'hiver et le problème de condensation qui en résulte.

2. IDENTIFICATION DES MESURES BIOCLIMATIQUES ADAPTEES AU CLIMAT D'EL-TARF

2.1. Mesures bioclimatiques recommandées par les tables de Mahoney.

- La température de l'air (°c)

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Température mensuelle maximale	16.34	16.3	18.5	21.34	24.41	28.15	31.08	31.37	30.06	26.79	21.79	18
Température mensuelle minimale	7.1	6.61	8.17	10.73	12.92	16.38	19.46	19.77	18.32	15.4	11.13	8.12
Température mensuelle moyenne	11.72	11.45	13.33	16.03	18.66	22.26	25.27	25.57	24.19	21.09	16.46	13.06

La température moyenne annuelle = \sum Températures mensuelles moyennes / 12 = 19.80°C

- L'humidité relative (%)

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Humidité relative mensuelle moyenne	73.7	73.5	72.25	71.85	72.45	70.1	69.35	68.9	69.7	70.65	72.25	73.65
Groupe d'humidité	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4

On distingue le groupe d'humidité d'après le tableau suivant:

Groupe d'humidité	Humidité relative
1	HR<30%
2	30% - 50%
3	50% - 70%
4	HR>70%

- Les précipitations (mm)

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Précipitations mensuelles	90.78	90.45	90.26	50.67	34.5	9.71	1.99	9.02	45.89	61.01	79	87.94
Taux annuel de précipitations	651.22											

- Les vents (m/s)

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Vitesse du vent	3.74	3.93	3.73	3.64	3.57	3.74	4.11	3.77	3.55	3.39	3.44	3.68

Limites de confort

Les limites de confort sont définies à partir de la température moyenne annuelle (TMA) et le groupe d'humidité.

Groupe d'humidité	TMA>20°C		15°C<TMA<20°C		TMA<15°C	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
1	26-34	17-25	23-32	14-23	21-30	12-21
2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
3	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

Diagnostic des températures

La classification des températures par rapport aux limites de confort se fait en comparant les températures mensuelles maximales avec celles des limites du confort du jour, et en comparant aussi les températures mensuelles minimales avec celles des limites de confort de la nuit.

H (chaud) : si la température mensuelle est au dessus des limites de confort.
 O (confortable): si la température mensuelle est entre les limites de confort.
 C (froid): si la température mensuelle est au dessous des limites de confort.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Température mensuelle maximale	16.34	16.3	18.5	21.34	24.41	28.15	31.08	31.37	30.06	26.79	21.79	18
Limite confort jour supérieure	25	25	25	25	25	25	28	28	28	25	25	25
Limite confort jour inférieure	20	20	20	20	20	20	21	21	21	20	20	20
Confort thermique jour	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>C</i>
Température mensuelle minimale	7.1	6.61	8.17	10.73	12.92	16.38	19.46	19.77	18.32	15.4	11.13	8.12
Limite confort nuit supérieur	20	20	20	21	20	20	21	21	21	20	20	20
Limite confort nuit inférieure	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Confort thermique nuit	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>C</i>	<i>C</i>

Les indicateurs

Les besoins en confort sont représentés par six groupes d'indicateurs : H1, H2, H3, A1, A2, A3.

Applicable quand	Indicateurs	Confort thermique		Précipitations	Groupe d'humidité	Ecart mensuel de la température
		Jour	Nuit			
Mouvement d'air essentiel	H1	H			4	
		H			2,3	<10°C
Mouvement d'air désirable	H2	O			4	
Protection contre la pluie	H3			+200mm		
Capacité thermique nécessaire	A1				1, 2,3	>10°C
Dormir dehors	A2		H		1,2	
		H	O		1,2	>10°C
Protection du froid	A3	C				

En comparant les indicateurs contenus dans le tableau ci-dessus avec le tableau du diagnostic des températures, on peut déduire les indications spécifiques au climat d'El-tarf:

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
H1	O	O	O	O	O	V	V	V	V	O	O	O	4
H2	O	O	O	V	V	O	O	O	O	V	V	O	4
H3	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	0
A1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	0
A2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	0
A3	V	V	V	O	O	O	O	O	O	O	O	V	4

Recommandations spécifiques

Indicateurs					
H1	H2	H3	A1	A2	A3
4	4	0	0	0	4

Plan de masse

			0-10			V	1	Orientation nord et sud (le long de l'axe est –ouest)
					5-10			
			11-12				2	Plan de masse compact avec cour intérieure

Espacement entre bâtiments

11-12							3	Grand espacement permettant la pénétration des brises.
2-10						V	4	Comme précédent, mais avec protection contre vent chaud et froid.
0-1							5	Plan de masse compact.

Mouvement d'air

3-12			0-5			V	6	Chambres individuelles, provision permanente de l'air
1-2			6-12					
							7	Chambres doubles, provision permanente de l'air.
0	2-12						8	Mouvement d'air non recommandé.
	0-1							

Fenêtres

			0-1		0		9	Larges : 40% à 80%
			11-12		0-1		10	Très petites : 10% à 20%
Aucune condition						V	11	Moyennes : 20% à 40%

Murs

			0-2			V	12	Murs légers, temps de déphasage court.
			3-12				13	Murs extérieurs et intérieurs épais.

Toitures

			0-5			V	14	Toitures légères.
			6-12				15	Toitures épaisses, temps de déphasage plus de 8H.

Espace extérieur

				2-12			16	Espace pour dormir la nuit en plein air.
--	--	--	--	------	--	--	----	--

Protection de la pluie

		3-12					17	Protection nécessaire contre la pluie.
--	--	------	--	--	--	--	----	--

Recommandations détaillées

Indicateurs					
H1	H2	H3	A1	A2	A3
4	4	0	0	0	4

Dimensions des fenêtres

			0-1		0	V	1	Larges : 40% à 80%.
					1-12		2	Moyennes: 25% à 40%.
			2-5					
			6-10				3	Petites : 15% à 25%.
			11-12		0-3		4	Très petites : 10% à 20%
					4-12		5	Moyennes : 20% à 40%.

Emplacement des fenêtres

3-12						V	6	Au nord et au sud du mur face au vent.
1-2			0-5					
			6-12				7	Ouvertures hautes dans les murs intérieurs.
0	2-12							

Protection des fenêtres

					0-2		8	Exclure le rayonnement solaire direct.
		2-12					9	Prévoir une protection contre la pluie.

Murs et planchers

			0-2			V	10	Léger, faible capacité thermique.
			3-12				11	Épais, plus de 8h temps de déphasage.

Toiture

10-12			0-2				12	Légère, surfaces réfléchives, cavité.
			3-12				V	13
0-9	2-12		0-5				14	Massive, plus de 8H de déphasage.
			6-12					

Eléments extérieurs

				1-12			15	Espace pour dormir la nuit en plein air.
		1-12					16	Drainage adéquat des eaux de pluie.

L'application de la méthode de Mahoney sur la région d'El-Tarf permet de déduire les recommandations suivantes:

- Des bâtiments d'une forme allongée dans la direction est-ouest, avec de grands espacements entre les bâtiments permettant la pénétration des brises, mais avec des protections contre les vents chauds et froids.
- Des fenêtres d'une taille moyenne de 20% à 40% ; placées au nord et au sud face au vent.
- Des toitures légères avec isolation ;
- Des murs et des planchers légers avec un temps de déphasage court et d'une faible capacité thermique.

2.2. Mesures bioclimatiques recommandées par le diagramme bioclimatique.**- La zone de confort.**

Elle est définie par son point neutre obtenu par l'intersection de la température de neutralité et l'humidité relative portée à 50%, et délimitée par quatre points de températures humides:

- Les points T1 et T2 sont portés à la ligne d'humidité absolue 12g/kg.
- Les points T4 et T5 sont portés à la ligne d'humidité absolue 4 g/kg.

$$T_n = 17.6 + (0.31 * T_m)$$

$$T_m = \sum T_m / 12$$

$$T1 = Tn + (Ahn - 12) * 0.025 * (Tn - 14) - 2.$$

Ahn représente l'humidité absolue du point de neutralité.

$$T2 = T1 + 4.$$

$$T3 = T1 + 0.2 * (T1 - 14).$$

$$T4 = T2 + 0.2 * (T2 - 14).$$

$$T_M = \sum T_m / 12 = \mathbf{18.26^\circ c.}$$

$$T_n = 17.6 + (0.31 * 18.26) = \mathbf{23.26^\circ c.}$$

$$T1 = 23.26 + (9.37 - 12) * 0.025 * (23.26 - 14) - 2 = \mathbf{20.65^\circ c.}$$

$$T2 = 20.65 + 4 = \mathbf{24.65^\circ c.}$$

$$T3 = 20.65 + 0.2 * (20.65 - 14) = \mathbf{21.98^\circ c.}$$

$$T4 = 24.65 + 0.2 * (24.65 - 14) = \mathbf{26.78^\circ c.}$$

- La zone de contrôle potentiel pour les périodes froides : Zone de chauffage solaire passif.

Elle est délimitée par un seul point de la température humide porté à la courbe de saturation HR=100%.

$$T5 = Tn + 0.36 - (0.0025 * H_v)$$

▪ H_v représente la moyenne journalière totale d'irradiations solaires en Wh/m² d'une surface verticale sud pour le mois le plus froid).

$$H_v = 5670 \text{ Wh/m}^2.$$

$$T5 = 23.26 + 0.36 - (0.0025 * 5670) = \mathbf{9.44^\circ c.}$$

- La zone de contrôle potentiel pour les périodes chaudes.

- La zone d'effet de masse.

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

Les autres points qui délimitent cette zone sont :

- Le point T6 situé à la ligne d'humidité absolue qui correspond à 12g/kg.
- Le point T7 correspond à la ligne 14g/kg d'humidité absolue.
- Le point T8 correspond à la ligne 4g/kg d'humidité absolue.
- La limite d'humidité la plus élevée correspond à la courbe d'humidité relative du premier point de la zone de confort.

$$\Delta T_m = T_{\text{moy max}} - T_{\text{moy min.}}$$

$$T6 = T2 + 0.5 * (\Delta T_m).$$

$$T7 = T6 - 0.05 * (T6 - 14).$$

$$T8 = T6 + 0.2 * (T6 - 14).$$

$$\Delta T_m = 31.37 - 19.77 = \mathbf{11.6^\circ c.}$$

$$T6 = 24.65 + 0.5 (11.6) = \mathbf{30.45^\circ c.}$$

$$T7 = 30.45 - 0.05 * (30.45 - 14) = \mathbf{29.63^\circ c.}$$

$$T8 = 30.45 + 0.2 * (30.45 - 14) = \mathbf{33.74^\circ c.}$$

- La zone d'effet de masse avec ventilation nocturne.

Cette zone est délimitée par les points suivants :

- Le point T9 situé à la ligne d'humidité absolue qui correspond à 12g/kg.
- Le point T10 correspond à la ligne 14g/kg d'humidité absolue.
- Le point T11 correspond à la ligne 4g/kg d'humidité absolue.
- La limite d'humidité la plus élevée correspond à la courbe Hr du premier point de la zone de confort.

$$T9 = T2 + 0.8 * (\Delta T_m).$$

$$T10 = T9 - 0.05 * (T9 - 14).$$

$$T11 = T9 + 0.2 * (T9 - 14).$$

$$T9 = 24.65 + 0.8 * (11.6) = \mathbf{33.93^\circ c}.$$

$$T10 = 33.93 - 0.05 * (33.93 - 14) = \mathbf{32.93^\circ c}.$$

$$T11 = 33.93 + 0.2 * (33.93 - 14) = \mathbf{37.92^\circ c}.$$

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

Cette zone est limitée par les quatre points suivants :

- Le point T12 correspond à la ligne d'humidité absolue 12g/kg.
- Le point T13 correspond à la ligne d'humidité absolue 4g/kg.
- Le point T14 est localisé sur la courbe 90% d'humidité relative.
- Le point T15 est localisé sur la courbe 90% d'humidité relative.

$$T12 = T2 + 5.$$

$$T13 = T12 + 0.1 * (T12 - 14).$$

$$T14 = T1.$$

$$T15 = T12 - 0.18 * (T12 - 14).$$

$$T12 = 24.65 + 5 = \mathbf{29.65^\circ c}.$$

$$T13 = 29.65 + 0.1 * (29.65 - 14) = \mathbf{31.21^\circ c}.$$

$$T14 = \mathbf{20.65^\circ c}.$$

$$T15 = 29.65 - 0.18 * (29.65 - 14) = \mathbf{26.83^\circ c}.$$

- La zone de refroidissement évaporatif direct.

Elle est délimitée par un seul point, où la température limite qui délimite cette zone est T16.

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.

$$T16 = T_n + 12$$

$$T16 = 23.26 + 12 = \mathbf{35.26^\circ c}.$$

- La zone de refroidissement évaporatif indirect.

Elle est délimitée par un seul point (T17), la limite supérieure de cette zone correspond à la ligne 14g/kg.

$$T_{17} = T_n + 15$$

$$T_{17} = 23.26 + 15 = 38.26^\circ \text{C}$$

La représentation des mois sur le diagramme bioclimatique.

Chaque mois est représenté par une ligne joignant deux points :

- La température mensuelle maximale avec l'humidité relative minimale.
- La température mensuelle minimale avec l'humidité relative maximale.

	Température mensuelle maximale (°c)	Humidité relative mensuelle minimale (%)	Température mensuelle minimale (°c)	Humidité relative mensuelle maximale (%)
Janvier	16.34	54.8	7.1	92.6
Février	16.3	54.1	6.61	92.9
Mars	18.5	52.1	8.17	92.4
Avril	21.34	50.8	10.73	92.9
Mai	24.41	51.4	12.92	93.5
Juin	28.15	48.3	16.38	91.9
Juillet	31.08	46.8	19.46	91.9
Aout	31.37	46.7	19.77	91.1
Septembre	30.06	47.6	18.32	91.8
Octobre	26.79	48.7	15.4	92.6
Novembre	21.79	52.7	11.13	91.8
Décembre	18	55.1	8.12	92.2

Le diagramme bioclimatique d'El-tarf, présenté dans la figure VII.9 indique que la majeure partie de l'année est située en dehors de la zone de confort. Les recommandations déduites à partir de la lecture du diagramme se résument comme suit:

- Le chauffage solaire passif est recommandé pour les mois de Novembre jusqu'à Avril. Durant ces mois, les températures diurnes et nocturnes sont inférieures à la limite du confort. L'énergie solaire pénètre à travers le vitrage des fenêtres et échauffe l'air intérieur. Une partie de cette énergie est stockée dans les murs et le plancher, puis elle est restituée à l'intérieur lorsque les températures commencent à baisser, ce qui réduit l'utilisation du chauffage. Néanmoins, un équipement de chauffage reste indispensable pour les nuits des mois de Décembre jusqu'à Mars.

- L'effet de masse est recommandé pour les mois de Septembre et Juin. Durant ces mois, les températures diurnes s'élèvent au dessus la zone du confort tandis que les températures nocturnes restent inférieures. La bonne inertie thermique, accompagnée d'une protection solaire efficace des fenêtres, absorbe et emmagasine la chaleur provenant de l'exposition de la façade à l'énergie solaire, ce qui évite l'échauffement de l'air intérieur. La chaleur sera restituée la nuit lorsque la température extérieure baisse.

- La ventilation naturelle est recommandée pour les mois de Juillet et Août. Durant ces deux mois, la température diurne élevée au dessus de la limite du confort s'accompagne avec un taux élevé d'humidité. La ventilation naturelle pendant la journée et la nuit refroidit la peau en accélérant l'évaporation de la transpiration par les mouvements d'air.

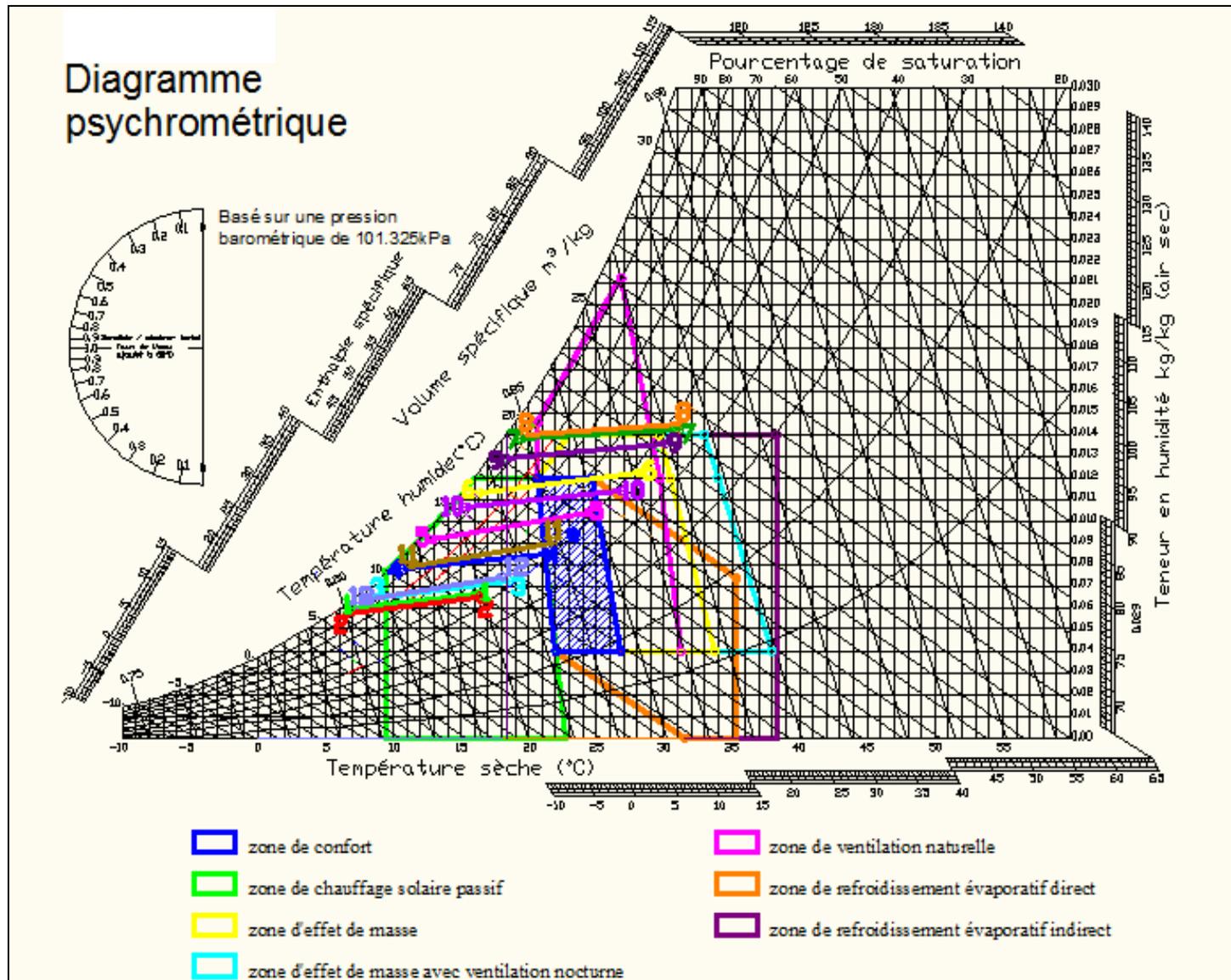


Figure VII.9: Le diagramme psychrométrique de la région d'El-Tarf.

2.3. Etude de l'ensoleillement et dimensionnement des protections solaires.

Sur la calculatrice des températures horaires, les températures maximales et minimales de chaque mois sont projetées respectivement sur les axes des températures maximales et minimales. La mesure de la distance entre l'heure choisie située sur l'axe gauche des heures et la ligne du mois donne la valeur de la température.

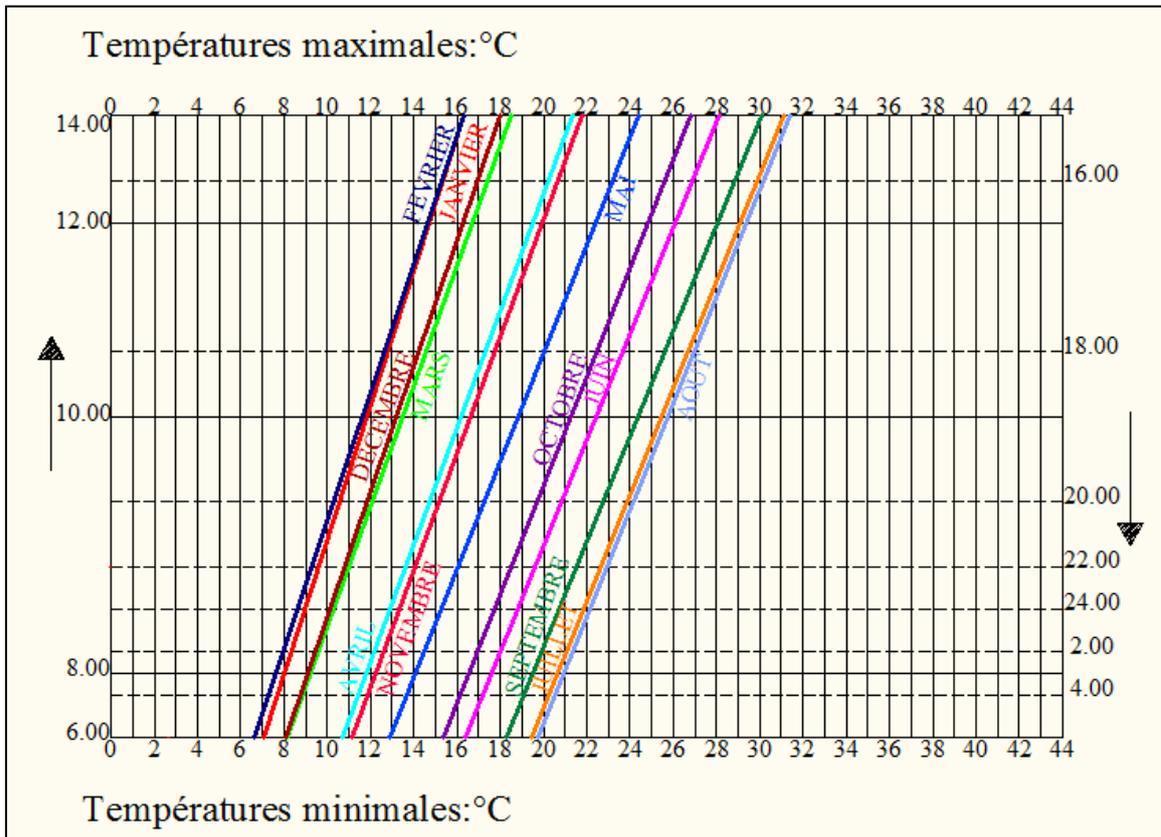


Figure VII.10: La calculatrice des températures horaires pour la région d'El-Tarf

Les températures déterminées à partir de la calculatrice des températures horaires sont représentées sur le tableau ci-dessous. La zone de confort pour la région d'El-tarf est définie à travers le calcul de la température de neutralité en utilisant la formule de Fanger :

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_m$$

La température moyenne (T_m) est égale à 18.26° .

D'après la formule, La température de neutralité est égale donc à 23.26° . Les limites de confort sont donc $T_n \pm 2$. La limite supérieure du confort est de 25° tandis que la limite inférieure est de 21° .

Sur le tableau, les températures égales aux limites supérieure et inférieure du confort sont regroupées par des isothermes (courbes joignant les mêmes températures), ce qui permet de distinguer trois zones:

- **Une zone de sous-échauffement** au dessous de la limite inférieure du confort (21°C) et dans laquelle les rayons solaires sont désirables.
- **Une zone de confort** limitée entre 21°C et 25°C dans laquelle les rayons solaires sont acceptables.
- **Une zone de sur-échauffement** au dessus de la limite supérieure du confort (25°C) dans laquelle les rayons solaires ne font qu'aggraver l'inconfort des habitants, c'est pourquoi la protection solaire des ouvertures est nécessaire.

MOIS HEURE	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	9.02	8.62	10.30	12.92	15.30	18.82	21.86	22.18	20.74	17.76	13.34	10.16
2	8.38	7.94	9.60	12.20	14.50	18.00	21.06	21.38	19.94	16.98	12.60	9.48
4	7.74	7.28	8.88	11.46	13.72	17.20	20.26	20.56	19.12	16.18	11.86	8.80
6	7.10	6.62	8.18	10.74	12.92	16.38	19.46	19.78	18.32	15.40	11.14	8.12
8	8.06	7.62	9.24	11.82	14.10	17.60	20.66	20.98	19.54	16.58	12.24	9.14
10	11.88	11.62	13.52	16.22	18.88	22.46	25.48	25.78	24.40	21.30	16.64	13.24
12	14.74	14.62	16.72	19.52	22.42	26.12	29.08	29.38	28.04	24.82	19.96	16.30
14	16.3	16.30	18.50	21.34	24.42	28.16	31.08	31.38	30.06	26.80	21.80	18.00
16	15.38	15.30	17.44	20.24	23.22	26.94	29.88	30.18	28.84	25.62	20.68	16.98
18	12.84	12.62	14.58	17.32	20.06	23.68	26.68	26.98	25.60	22.46	17.74	14.26
20	10.60	10.28	12.08	14.76	17.28	20.84	23.86	24.16	22.78	19.72	15.18	11.86
22	9.64	9.28	11.02	13.66	16.08	19.62	22.66	22.98	21.56	18.84	14.08	10.84

Tableau VII. 1: Les isothermes représentant les limites de la zone de confort pour la région d'El-tarf

Les valeurs des coordonnées solaires sont déterminées à partir des formules de calcul de l'azimut et de la hauteur du soleil expliquées en détail dans l'annexe (2). Les coordonnées solaires sont calculées pour la latitude d'El-Tarf.

Heure	Angle horaire (°)	Hauteur et l'azimut (°)	21 juin	21Mai Et 21 Juil	21Avr Et 21Aout	21Mars Et 21 Sept	21fev Et 21 Oct	21 Jan Et 21 Nov	21Dec
12	0	H	76.68	73.52	64.9	53.03	41.74	32.94	29.78
		A	0	0	0	0	0	0	0
13	15	H	71.45	68.96	61.50	50.50	39.72	31.21	28.14
		A	48.28	42.55	32.09	24.01	19.25	16.49	15.62
14	30	H	61.00	59.12	53.17	43.76	34.10	26.30	23.47
		A	71.11	66.03	54.77	43.81	36.28	31.54	30.00
15	45	H	49.28	47.63	42.52	34.36	25.84	18.89	16.35
		A	83.93	79.78	69.98	58.93	50.35	44.51	42.54
16	60	H	37.28	35.68	30.89	23.48	15.86	9.68	7.43
		A	86.87	90	81.23	70.77	61.92	55.49	53.25
17	75	H	25.37	23.71	18.91	11.84	4.81	/	/
		A	101.27	98.31	89.3	80.72	71.79	/	/
18	90	H	13.78	11.98	6.95	/	/	/	/
		A	109.16	106.5	99.40	/	/	/	/
19	105	H	2.75	0.75	/	/	/	/	/
		A	117.48	115.03	/	/	/	/	/
L'azimut du lever et du coucher du soleil			119°79'	115°65'	104°63'	89°75'	75°60'	64°35'	60°21'
L'heure du lever du soleil			4h 4mn	4h 20mn	5h 4mn	6h 4mn	7h	7h 44mn	7h 58mn
L'heure du coucher du soleil			19h 56mn	19h 40mn	18h 56mn	17h 56mn	17h	16h 16mn	16h 2mn

Tableau VII.2: Valeurs des coordonnées solaires de la région d'El-tarf. (Latitude 36°77')

Les valeurs des coordonnées solaires puis les limites de la période de sur-échauffement sont ensuite projetées sur le diagramme de la course solaire.

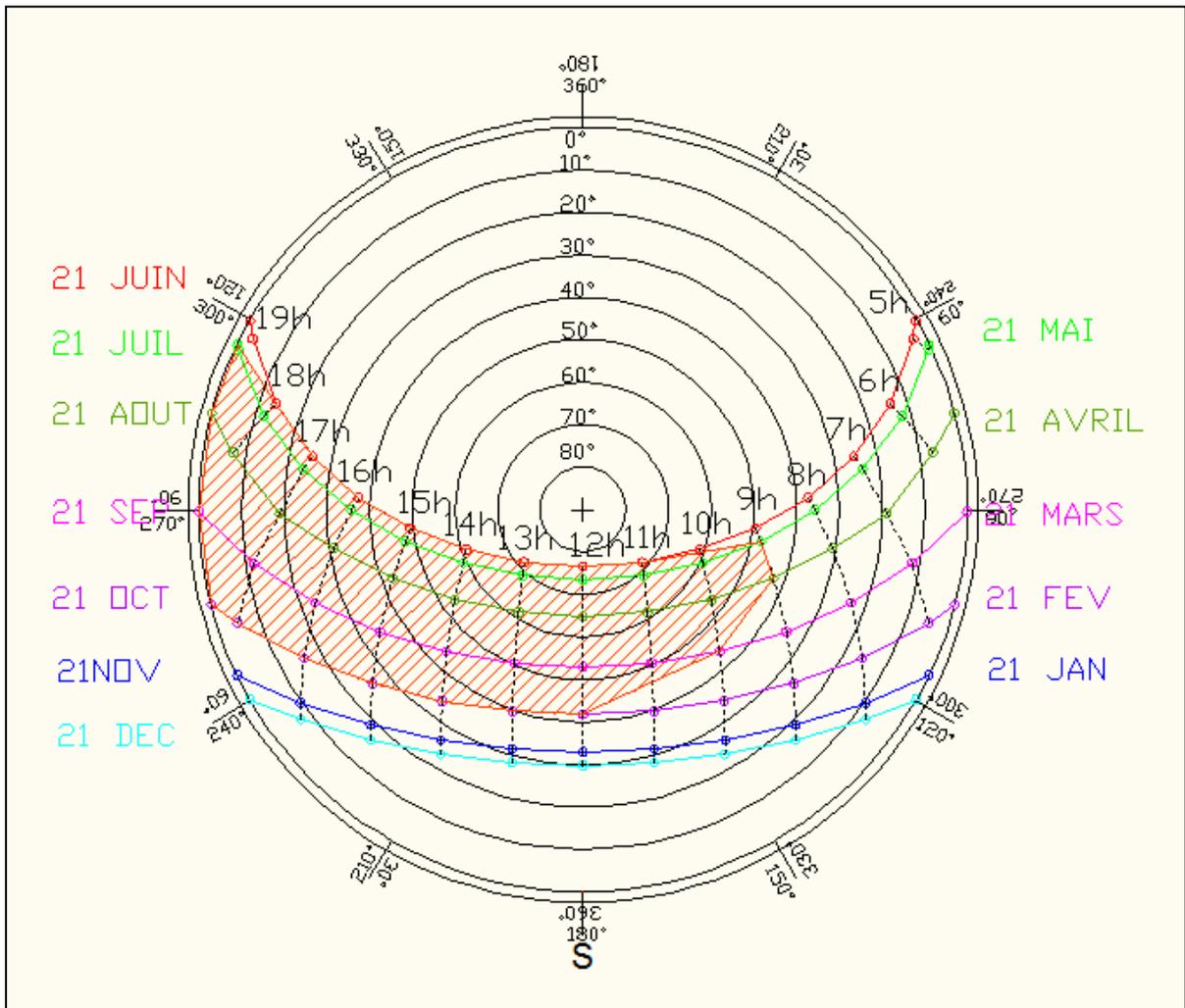


Figure VII.11: Le diagramme solaire polaire de la région d'El-Tarf. (Latitude 36°77')

Ensuite, l'indicateur d'occultation est superposé au diagramme solaire d'El-tarf sur lequel est projetée la zone de sur-échauffement, et orienté selon l'orientation de la fenêtre en vue de déterminer les dimensions des dispositifs de protection solaire.

- *La largeur du dispositif de protection solaire de la fenêtre orientée au sud.*

Pour déterminer les dimensions du dispositif de protection solaire, il faut d'abord indiqué sur le diagramme solaire la période durant laquelle la protection solaire est nécessaire.

En effet, d'après le tableau VII. 1 des isothermes, la période de surchauffe dans laquelle la protection solaire est nécessaire s'étend de Juin à Octobre. Mais, sur le diagramme solaire, la position du soleil durant le mois d'Octobre est la même que durant le mois de Février durant lequel le chauffage solaire passif est recommandé.

Le dispositif d'occultation doit permettre une protection modulable selon les saisons. La solution consiste à prévoir une occultation complète de la fin d'Avril jusqu'à la fin d'Août, cette période correspond aux mois chauds du printemps et de l'été. Le niveau de protection diminue au fur et à mesure avec la baisse de la hauteur du soleil dans le ciel, ce qui permet d'équilibrer entre une protection partielle durant la fin de l'été et le début de l'automne d'un côté, et une pénétration partielle des rayons solaires pendant la fin de l'hiver et le début du printemps de l'autre côté. Lorsque le soleil descend au plus bas dans le ciel, durant les mois de Novembre, Décembre, Janvier, le maximum de l'énergie solaire pénètre pour le chauffage solaire.

Ainsi la période durant laquelle la protection totale est nécessaire s'étend de la fin avril jusqu'à la fin Août, elle correspond à l'angle d'occultation vertical (VSA) de 65° sur l'indicateur d'occultation.

$Tg(VSA) = \text{Hauteur de la fenêtre} / \text{Largeur de l'élément horizontal}$.

$Tg(65^\circ) = 1.5 / L$.

$L = 1.5 / Tg(65^\circ)$.

$L = 0.70 \text{ m}$.

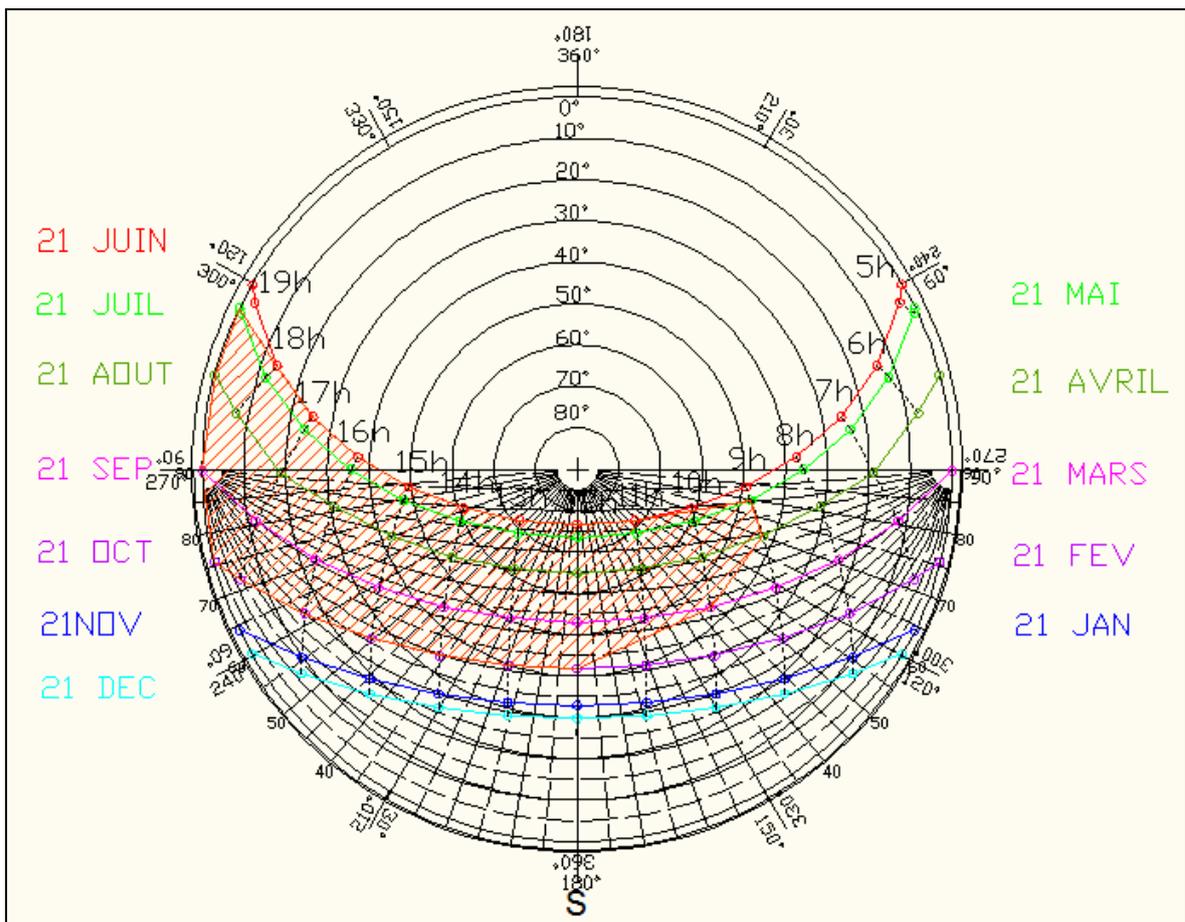


Figure VII.12: L'indicateur d'occultation superposé au diagramme solaire pour déterminer les dimensions de la protection solaire pour l'orientation Sud.

Le dispositif approprié à la protection solaire d'une fenêtre orientée au Sud est un auvent de 70 cm de largeur. Mais, il doit être surdimensionné par rapport aux deux côtés latéraux de la fenêtre pour la protéger efficacement même lorsque le soleil n'est pas en plein sud. L'auvent protège la fenêtre des rayons solaires tout en lui préservant son rôle d'éclairage naturel et surtout de ventilation naturelle indispensable pour ce climat humide.

Le débord de toiture constitue également une protection efficace pour les fenêtres et les murs extérieurs de l'étage supérieur.

- La largeur du dispositif de protection solaire de la fenêtre orientée à l'est.

La période durant laquelle l'occultation est nécessaire commence en aout à 9 h, elle correspond à l'angle d'occultation horizontal (HSA) de 20° sur l'indicateur d'occultation.

$Tg(HSA) = \text{Largeur de la fenêtre} / \text{Largeur de l'élément vertical}$.

$$Tg(20^\circ) = 1.5 / L$$

$$L = 1.5 / Tg(20^\circ).$$

$$L = 4.10 \text{ m.}$$

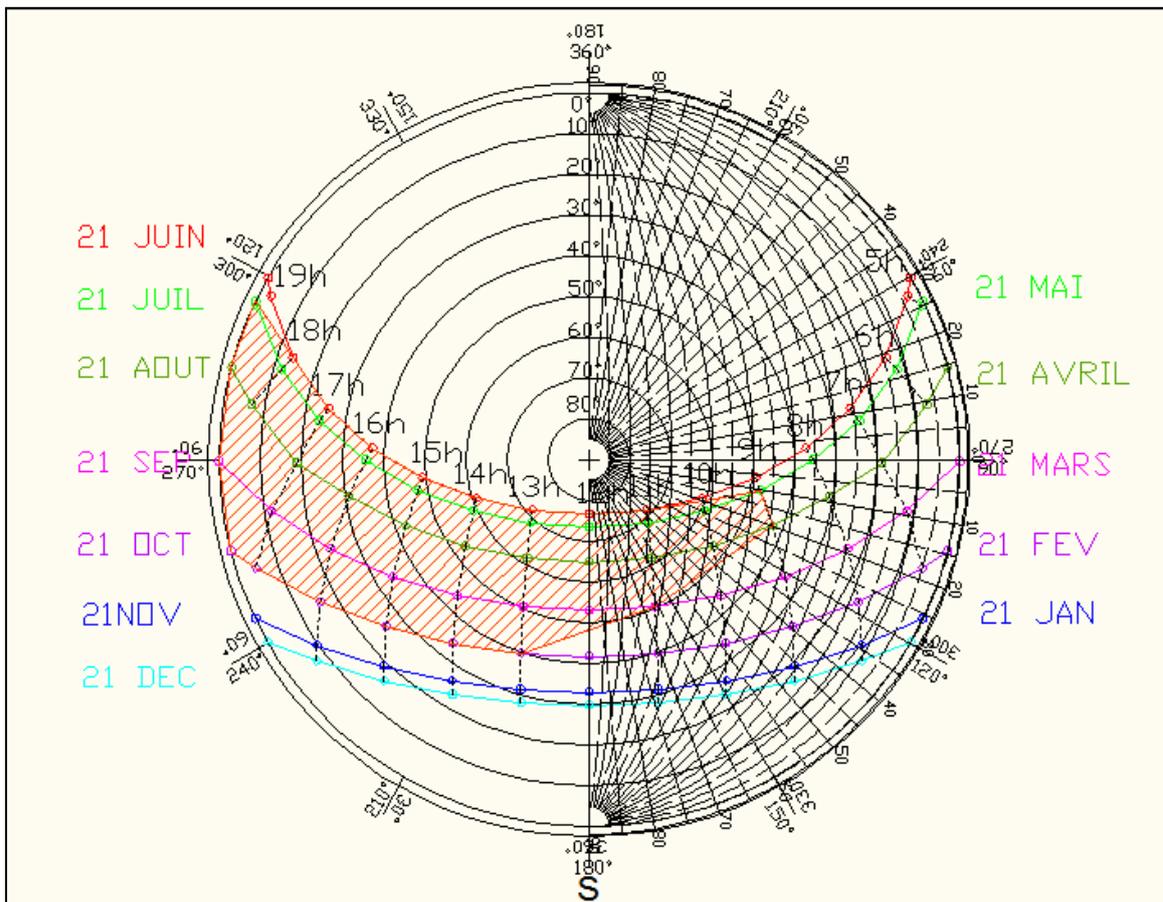


Figure VII.13: L'indicateur d'occultation superposé au diagramme solaire pour déterminer les dimensions de la protection solaire pour l'orientation Est.

La largeur du dispositif de protection solaire est importante (4.10 m), il empêche la pénétration des rayons solaires durant les mois de Novembre jusqu'à Avril pour lesquels le chauffage solaire est recommandé.

- La largeur du dispositif de protection solaire de la fenêtre orientée à l'ouest.

La période durant laquelle l'occultation est nécessaire s'étend durant toute l'après midi de Juin jusqu'à Aout, l'angle d'occultation horizontal (HSA) à choisir est de 10° sur l'indicateur d'occultation.

$Tg(HSA) = \text{Largeur de la fenêtre} / \text{Largeur de l'élément vertical.}$

$Tg(10^\circ) = 1.5 / L$

$L = 1.5 / Tg(10^\circ).$

$L = 8.50 \text{ m.}$

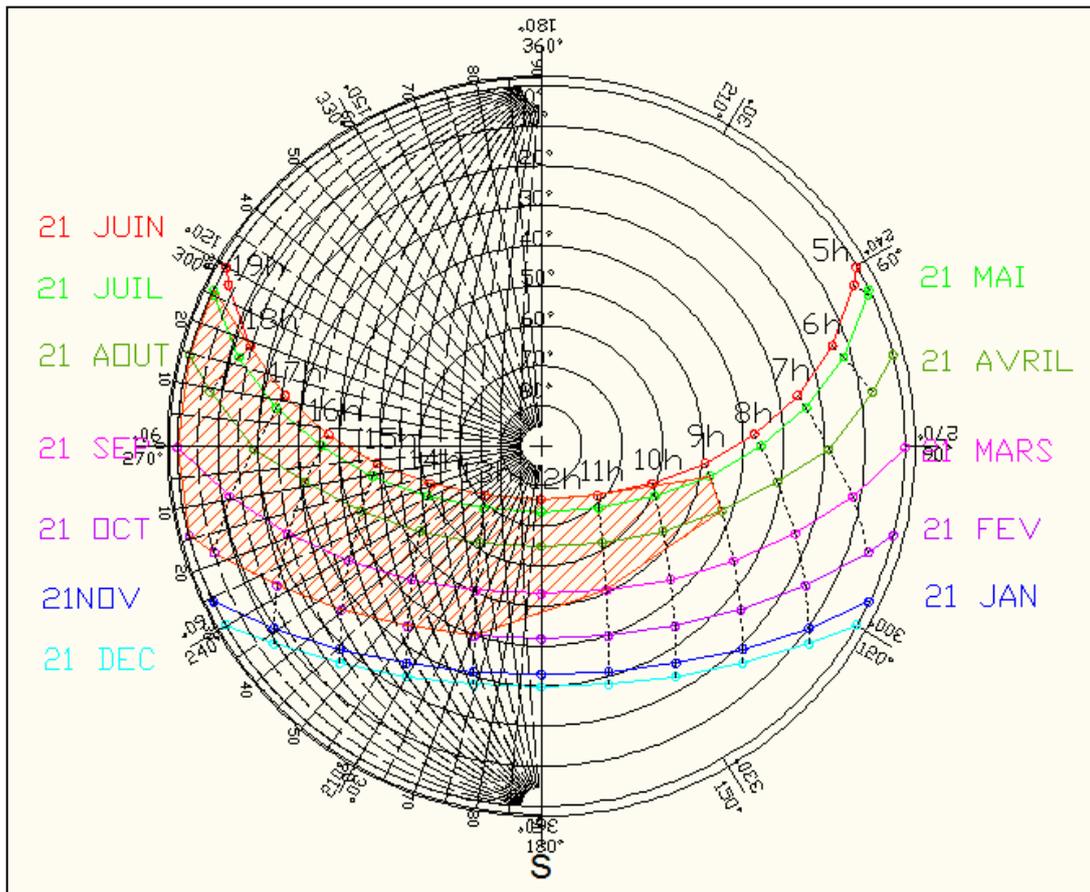


Figure VII.14: L'indicateur d'occultation superposé au diagramme solaire pour déterminer les dimensions de la protection solaire pour l'orientation Ouest.

La largeur du dispositif de protection solaire est importante (8.5 m), et elle ne protège pas de l'éblouissement lorsque les rayons solaires sont perpendiculaires à la façade durant les mois de surchauffe (Juin, Juillet et Aout). La solution consiste à utiliser des

dispositifs réglables tels que les volets roulants ou les volets verticaux qui peuvent s'adapter aux exigences de protection solaire et du mouvement du soleil.

CONCLUSION

La région d'El-tarf est caractérisée par un climat méditerranéen maritime, avec un été chaud et sec, et un hiver doux et pluvieux. La température varie entre 16 et 6°C en février qui est le mois le plus froid de l'année alors qu'elles oscillent entre 31°C et 19°C en août qui est le mois le plus chaud de l'année. Le taux de l'humidité est élevé durant toute l'année avec une moyenne de 71%. Les pluies se concentrent durant des périodes de quelques jours avec une forte intensité et elles sont accompagnées de forte vitesse du vent. Durant le reste de l'année, les vents soufflent du nord-ouest avec des vitesses de faibles à modérées variant de 3.5 à 4 m/s. Parfois, le sirocco, un vent saharien très sec et très chaud souffle du sud-est, et il est le plus fréquent au printemps et en automne.

Le site de l'étude, situé à l'ouest de la ville d'El-kala, est à proximité de la mer, de deux lacs et d'un couvert végétal. Il se caractérise par des fluctuations des températures plus modérées et un taux d'humidité plus élevé. Par ailleurs, le site bénéficie des brises rafraichissantes provenant de la mer, mais il est exposé aux vents d'hiver qui soufflent du nord-ouest.

La conception du bâtiment doit permettre de profiter des brises de mer rafraichissantes qui compensent la faible vitesse du vent, et accélèrent le refroidissement du corps par évapotranspiration qui est ralentie dans ce climat caractérisé par un été chaud et humide. En hiver, la conception du bâtiment doit réduire les chutes des températures nocturnes et la condensation qui en résulte en raison du taux élevé de l'humidité, elle doit également protéger des vents de l'hiver.

Dans ce climat méditerranéen maritime, le maintien du confort thermique exige le chauffage solaire passif en hiver, cela implique :

- La forme allongée dans la direction est/ouest pour que la façade sud soit exposée au maximum de l'énergie solaire en hiver,
- Les fenêtres d'une taille moyenne comprise entre 20% et 40% pour transmettre le maximum de l'énergie solaire vers l'intérieur.
- La bonne inertie thermique des pièces orientées au sud pour emmagasiner la chaleur provenant de la transmission de l'énergie solaire, et la restituer la nuit.
- L'isolation extérieure de l'enveloppe conserve l'énergie accumulée dans les parois de la dissipation.

En été, le maintien du confort thermique exige une combinaison de la ventilation naturelle permanente et une protection solaire efficace des fenêtres à travers:

- L'espacement entre les bâtiments pour permettre la pénétration des brises rafraichissantes, mais ils doivent être protégés des vents d'hiver soufflant du nord-ouest et du sirocco venant du sud-est.
- L'orientation des fenêtres face aux brises rafraichissantes provenant de la mer.
- La protection des fenêtres orientées au sud par des auvents, de 70cm de largeur pour les fenêtres d'une hauteur de 1.5 m, ou par des débords de toiture pour l'étage supérieur.
- La protection des fenêtres orientées à l'est et à l'ouest par des persiennes ou des volets roulants pour éviter l'éblouissement.

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

L'orientation du bâtiment est généralement choisit en fonction des contraintes urbanistiques, de la vue, des paysages, etc. Mais, l'ensoleillement et la prédominance des vents doivent également intervenir dans ce choix.

En effet, l'orientation par rapport au soleil influe considérablement sur les variations de la température intérieure. Cette influence dépend de l'angle d'incidence des rayons solaires par rapport à la façade qui détermine leur intensité, et qui varie selon l'orientation et la saison.

La zone de confort de la région d'El-tarf est comprise entre 21°C et 25°C. En été, les températures intérieure et extérieure sont au dessus de la zone de confort, la pénétration de l'énergie solaire augmente les surchauffes, elle est donc indésirable. Alors qu'en hiver, elles sont au dessous de la zone de confort, la pénétration de l'énergie solaire est le seul moyen pour chauffer l'air intérieur. Une orientation favorable du point de vue du confort thermique doit combiner entre la réception du maximum d'énergie solaire en hiver, et du minimum en été.

Par conséquent, L'orientation sud est la plus favorable parce qu'elle associe entre: la température la plus élevée en hiver, lorsque le soleil est au plus bas dans le ciel (29.8° en janvier) et la quantité d'énergie solaire reçue est importante, la température la plus faible en été lorsque le soleil est au plus haut dans le ciel (76,68° en juin) et la quantité d'énergie solaire reçue est plus faible.

La région d'El-tarf est caractérisée par un climat méditerranéen maritime avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec. Les fluctuations des températures sont modérées en raison de la capacité thermique des étendes d'eau. Le taux d'humidité est élevé durant toute l'année en raison de la forte pluviométrie en hiver, et l'évaporation des étendues d'eau en été. Les vents froids d'hiver soufflent du Nord-Ouest, tandis que le sirocco souffle du Sud-Est.

En hiver, le maintien du confort thermique exige le chauffage solaire passif. Par conséquent, les pièces qui ont le plus besoin de chauffage doivent être disposées le long de la façade sud, et avec des fenêtres d'une taille moyenne comprise entre 20% et 40% pour capter le maximum d'énergie solaire. Ainsi, l'énergie transmise à travers le vitrage s'accumule par l'effet de serre. Puis, elle est absorbée et stockée dans les parois grâce à leur bonne inertie thermique, pour être restituée progressivement la nuit, ce qui réduit la chute des températures. L'isolation de l'enveloppe empêche la dissipation de la chaleur accumulée dans les parois et prévient le problème de condensation dû au contact de l'air intérieur chaud et humide avec les parois froides.

En été, le maintien du confort thermique nécessite la combinaison d'une ventilation naturelle permanente avec une protection solaire efficace. En effet, l'évapotranspiration est le seul moyen pour le refroidissement du corps lorsqu'il fait chaud. Cependant, la combinaison d'une température élevée et d'une forte humidité comme l'été chaud et humide

qui caractérise El-tarf, l'évapotranspiration est ralentie parce que la peau, et parfois les vêtements, restent mouillés par la sueur. Par conséquent, la chaleur ressentie par le corps est plus élevée que la chaleur ambiante.

La solution consiste à déclencher des mouvements d'air en permanence et avec une vitesse suffisante sur la surface de la peau pour favoriser l'évapotranspiration. Donc, la ventilation naturelle permanente est indispensable pour atteindre le confort thermique dans ce climat. Puisque les brises de mer soufflent du nord, l'orientation du bâtiment selon l'axe est/ouest est à la fois avantageuse pour le chauffage solaire, la ventilation naturelle, et la protection solaire.

Cependant, outre l'orientation des fenêtres face aux brises rafraichissantes, les bâtiments doivent être suffisamment espacés entre eux pour permettre la pénétration des brises, mais ils doivent être protégés des vents froids qui soufflent du nord-Ouest, et du sirocco qui souffle du sud-est.

Le maintien des fenêtres ouvertes pour assurer une ventilation permanente en été exige de les équiper par des protections solaires efficaces. Les fenêtres orientées au sud qui constituent les sorties des flux d'air, en opposition avec les fenêtres orientées au nord, les entrées d'air, sont les plus faciles à protéger par des auvents. Ces dispositifs permettent au maximum d'énergie solaire de pénétrer à l'intérieur en hiver et offrent une protection solaire totale en été.

Enfin, on constate que dans une conception adaptée au climat local, les mêmes mesures architecturales assurent à la fois le chauffage solaire passif, la ventilation naturelle et la protection solaire de l'enveloppe. Par ailleurs, ces mesures architecturales, gratuites ou à faible coût, ne nécessitent que l'ingéniosité de l'architecte, elles sont donc adaptées aux critères de sélection des logements sociaux qui sont basés sur le coût le moins-disant fixé à certain seuil.

CONCLUSION GENERALE

La réduction de la consommation des énergies fossiles est la solution la plus efficace et la plus rapide pour diminuer les émissions des gaz à effet de serre qui accélèrent le réchauffement climatique, et pour faire face à la raréfaction inéluctable de ces ressources énergétiques ainsi que les fluctuations considérables et imprévues de leurs prix. Elle passe par le développement des énergies renouvelables et l'investissement dans l'efficacité énergétique.

Le secteur du bâtiment mérite d'être le plus visé par l'efficacité énergétique puisqu'il est le plus gros consommateur d'énergie en Algérie avec une part de 40.34% de l'énergie finale. Parmi les causes de la consommation élevée de ce secteur se trouve le manque de confort thermique qui est dû à la conception inadaptée aux caractéristiques du climat local, ce qui pousse les habitants à l'utilisation des équipements de chauffage et de climatisation pour rendre l'environnement intérieur confortable.

Face à cette situation, les habitants des logements sociaux utilisent des équipements précaires qui consomment beaucoup d'énergie pour peu de confort thermique ce qui se répercute sur leur santé surtout en hiver. Par ailleurs, le paiement des factures d'énergie constitue une part considérable de leurs faibles revenus. Les logements sociaux énergivores sont en opposition avec le développement durable que l'Algérie prétend intégrer dans les différents secteurs économiques et sociaux. En effet, outre les émissions des gaz à effet de serre et le gaspillage des ressources énergétiques, ces logements négligent le droit des populations à faible revenu de bénéficier du confort thermique au même titre que les autres couches sociales, contrairement à ce que recommande le développement durable concernant la prise en compte des besoins des plus démunis.

L'intégration de l'efficacité énergétique dans les logements sociaux exige l'amélioration de leur confort thermique en vue de mener les habitants à se passer délibérément des équipements de chauffage et de climatisation. Dans ce cadre, ce mémoire de magister était consacré aux mesures architecturales à appliquer dans la conception des logements sociaux en vue d'améliorer leur confort thermique et réduire leur consommation en énergie.

L'architecture bioclimatique est la clé pour concevoir des bâtiments confortables et économes en énergie. Elle repose sur la conception du bâtiment en adéquation avec les caractéristiques du climat dans lequel le bâtiment s'implante afin de garantir le maintien du confort thermique d'une manière passive tout en réduisant la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation.

Parmi les éléments climatiques, les rayons solaires et les vents dominants constituent deux sources d'énergie dont l'exploitation est conditionnée par l'orientation appropriée du bâtiment. En effet, une orientation arbitraire augmente la consommation de l'énergie pour le chauffage et la climatisation. Par ailleurs, le climat extérieur variable et parfois inconfortable est transformé en un climat intérieur stable et confortable à travers l'enveloppe du bâtiment qui constitue un organe d'échange et de transformation des éléments climatiques. Par conséquent, l'hypothèse proposée comme une réponse préalable

Conclusion générale

à la problématique posée supposait que l'amélioration du confort thermique dans les logements sociaux passe par l'orientation adéquate de ces logements et l'adaptation des caractéristiques de leur enveloppe à celles du climat local.

Selon l'approche bioclimatique, la conception du bâtiment doit être précéder par une analyse minutieuse des caractéristiques du climat local. Pour ce faire, l'architecte procède d'abord à l'analyse des données climatiques relevées de la station météorologique de la région en vue de déterminer les apports bénéfiques du climat (énergie solaire en hiver, brises rafraichissantes en été) et ces contraintes (vents froids ou chauds, surchauffes, taux élevé d'humidité). Ensuite, il procède à l'analyse des caractéristiques du microclimat engendré par les modifications apportées par les facteurs du site (végétation, étendues d'eau, topographie, formes urbaines, altitude, etc) aux éléments du climat régional. Une fois les caractéristiques du climat et du microclimat sont bien déterminées, la conception du bâtiment doit permettre de profiter de leurs apports bénéfiques et se protéger de leurs contraintes par l'orientation adéquate et l'adaptation des caractéristiques de l'enveloppe au climat local.

L'orientation du bâtiment doit permettre de capitaliser et de rentabiliser deux éléments climatiques importants que sont les rayons solaires et leur effet d'échauffement, et les vents dominants et leur effet sur la ventilation naturelle. En effet, un bâtiment orienté incorrectement par rapport au soleil et aux vents dominants souffre des surchauffes en été, du froid en hiver, ne bénéficie pas des brises rafraichissantes, et consomme des quantités importantes d'énergie pour le chauffage et la climatisation. L'orientation idéale est l'orientation sud parce qu'elle reçoit le maximum d'énergie solaire en hiver et le minimum en été, ce qui s'accorde avec les exigences du confort. Les pièces qui ont le plus besoin de chauffage et d'éclairage doivent être disposé le long de la façade sud, et elles doivent être munies par des fenêtres de taille importante pour transmettre le maximum d'énergie solaire à l'intérieur.

La quantité de l'énergie solaire et les régimes des vents dominants, auxquels le bâtiment est exposé grâce à l'orientation adéquate, varient pendant leur passage à travers l'enveloppe. Celle-ci doit les adapter aux exigences du confort thermique qui varient selon les saisons, et ce à travers les caractéristiques suivantes : la couleur des surfaces externes, la bonne inertie thermique des parois des pièces orientées au sud, l'isolation extérieure et la protection solaire de l'enveloppe, ainsi que la répartition et les dimensions des fenêtres.

Les mesures des températures confirmaient l'effet de l'orientation par rapport au soleil sur les variations de la température intérieure: en été, la température intérieure varie selon les gains de chaleur provenant de l'air extérieur plus chaud et l'énergie solaire interceptée par l'enveloppe, alors qu'en hiver, elle varie selon les déperditions de chaleur vers l'air extérieur plus froid et l'énergie solaire interceptée par l'enveloppe. Par conséquent, une orientation adéquate du point de vue du confort thermique doit permettre de capter le maximum d'énergie solaire en hiver et le minimum en été.

Cependant, il faut souligner que l'effet des rayons solaires sur la température intérieure varie selon leur angle d'incidence avec la façade qui détermine leur intensité énergétique. Cet angle varie selon l'orientation et la saison. D'après la simulation, il ressort que l'orientation idéale est l'orientation sud: en hiver, elle enregistre la température intérieure la plus élevée et reçoit la quantité la plus importante d'énergie solaire parce que le soleil est au plus bas dans le ciel et ses rayons sont proches de la perpendiculaire à la façade, tandis qu'en été, elle enregistre la température la plus faible et reçoit le moins

Conclusion générale

d'énergie solaire parce que le soleil est au plus haut dans le ciel, et ses rayons sont proches de la parallèle à la façade.

Le climat méditerranéen maritime qui règne sur El-tarf se caractérise par un été chaud et sec, et, un hiver froid et pluvieux. Le taux d'humidité est élevé durant toute l'année en raison de la forte pluviométrie en hiver, et l'évaporation des lacs et de la mer en été. Les vents de l'hiver soufflent du nord-ouest, et le sirocco souffle au printemps et en automne du sud-est.

Le territoire de la wilaya, et plus précisément de la région d'El-kala, se caractérise par la présence d'un couvert végétal dense, de trois lacs qui entourent la région et la mer. Par conséquent, les fluctuations des températures sont plus faibles, et le taux d'humidité est plus élevé. Plus on s'approche du nord, plus on ressent l'effet rafraichissant des brises de mer.

Néanmoins, Le climat méditerranéen maritime qui caractérise El-tarf présente deux contraintes au confort thermique: la chute des températures pendant les nuits d'hiver, et le problème de condensation qui résulte du contact de l'air chaud et humide avec les parois froides, et en été, la température élevée accompagnée d'une forte d'humidité qui ralentissent le refroidissement du corps par évapotranspiration.

Les mesures architecturales nécessaires pour le maintien du confort thermique sous le climat méditerranéen maritime d'El-tarf se résument en le chauffage solaire passif en hiver, et la combinaison d'une ventilation naturelle permanente et d'une protection solaire efficace de l'enveloppe en été.

Le chauffage solaire passif en hiver exige un bâtiment d'une forme allongée dans la direction Est-Ouest pour que la plus grande façade soit la façade sud exposée au maximum d'énergie solaire en hiver. Ainsi, l'énergie solaire est transmise à travers le vitrage de fenêtres d'une taille moyenne comprise entre 20% et 40% et s'accumule par l'effet de serre, ce qui chauffe l'air intérieur. Une partie de cette énergie solaire est absorbée par les parois grâce à leur bonne inertie thermique, puis elle est restituée progressivement pendant la nuit, ce qui réduit la chute de la température intérieure. L'isolation extérieure de l'enveloppe empêche la dissipation de la chaleur accumulée dans les parois, et prévient la condensation sur les surfaces des parois.

La ventilation naturelle permanente est indispensable pour favoriser le refroidissement du corps par évapotranspiration qui est ralenti à cause de la combinaison de la température élevée et de la forte humidité. L'orientation du bâtiment vers les brises rafraichissantes est aussi importante que l'orientation par rapport au soleil, l'orientation selon l'axe est-ouest est à la fois favorable pour l'ensoleillement et pour bénéficier des brises de mer rafraichissantes. Par ailleurs, Les bâtiments doivent être bien espacés pour permettre la pénétration des brises, mais ils doivent être protégés des vents froids provenant du nord-ouest et du sirocco provenant du sud-est.

Le maintien des fenêtres ouvertes durant l'été pour assurer une ventilation permanente exige de les équiper par des protections solaires efficaces. Les fenêtres orientées au sud sont les plus faciles à occulter par des auvents dimensionnés selon la latitude du lieu. En été, ces dispositifs offrent une protection solaire totale, et permettent le passage du maximum d'énergie solaire en hiver.

Conclusion générale

Résumons-nous les mesures architecturales à appliquer dans la conception des logements sociaux prévus dans la région d'El-tarf en vue d'améliorer leur confort thermique:

1- L'orientation:

Le bâtiment doit être d'une forme allongée dans la direction est-ouest, cependant un écart jusqu'à 25% est acceptable. De cette manière, il expose sa plus grande façade sud aux apports solaires maximaux en hiver, et ses façades les plus réduites est et ouest aux apports solaires maximaux en été.

2- La disposition des pièces selon leur besoins thermiques :

Les pièces principales occupées en permanence (séjours, chambres) doivent être disposées le long de la façade sud pour profiter de l'énergie solaire pour le chauffage et l'éclairage, tandis que les pièces inoccupées (sanitaires, cage d'escalier, séchoir) servent d'espaces tampons entre les pièces chauffées et le côté nord froid en hiver.

3- Les matériaux employés.

L'isolation extérieure de l'enveloppe du bâtiment limite les déperditions thermiques et la protège des sollicitations de climat (variations des températures, condensation),

La bonne inertie thermique des parois des pièces recevant l'énergie solaire stocke la chaleur durant la journée et la restitue progressivement durant la nuit, ce qui retarde la chute de la température intérieure.

4- La taille des fenêtres.

Les fenêtres orientées au sud doivent être d'une taille moyenne comprise entre 20% et 40% de la surface du mur extérieur, et ce pour intercepter le maximum de l'énergie solaire en hiver, et refroidir efficacement le bâtiment même lorsque la vitesse du vent est faible.

Les fenêtres orientées à l'est ou à l'ouest doivent être d'une taille réduite pour limiter les surchauffes en été, et les fenêtres orientées au nord doivent être d'une taille plus réduite pour diminuer les déperditions thermiques en hiver.

5- Les protections solaires.

Les fenêtres orientées au sud sont faciles à protéger par des protections horizontales d'une largeur de 70 cm pour une fenêtre d'une hauteur de 1.5 m, mais elles doivent être complétées par des volets ou des persiennes pour réduire les déperditions thermiques durant les nuits d'hiver. Le débord de toiture avec la même largeur permet également de protéger l'étage supérieur.

Conclusion générale

La seule protection efficace pour les fenêtres orientées à l'est et à l'ouest est le volet roulant ou la persienne qui protègent également de l'éblouissement.

6- La réduction des ponts thermiques.

La limitation des ponts thermiques passe par une mise en œuvre soignée des jonctions entre mur-plancher, mur-toiture, refend-façade; des angles des murs, et de l'étanchéité des pourtours des fenêtres et des portes.

7- La végétation.

La végétation proche du bâtiment améliore le microclimat, elle humidifie l'air par le processus d'évapotranspiration ce qui réduit sa température avant qu'il ne pénètre dans le logement. Les arbres à feuillage caduc doivent être disposés du sud au sud-ouest pour protéger les murs extérieurs des rayons solaires en été et les laisser entrer dans le logement en hiver. Les arbres à feuillage persistant doivent être disposés du nord au nord-ouest pour protéger le bâtiment des vents dominants de l'hiver.

8- La ventilation naturelle.

La ventilation naturelle doit être permanente pour favoriser le refroidissement du corps par évapotranspiration.

Les fenêtres orientées au sud (sorties des flux d'air) doivent être surdimensionnées par rapport aux fenêtres orientées au nord (entrées des flux d'air) pour maximiser les vitesses des flux d'air.

La répartition des fenêtres doit permettre aux flux d'air de balayer le maximum de la surface des pièces.

Outre l'orientation adéquate et l'adaptation des caractéristiques de l'enveloppe à celles du climat local, l'amélioration du confort thermique est tributaire du comportement des habitants:

- l'ouverture des volets ou des persiennes pour capter l'énergie solaire durant les journées d'hiver, et leur fermeture dès que les apports solaires cessent pour limiter les déperditions de la chaleur solaire cumulée durant la nuit.

- l'ouverture des fenêtres pour profiter du rafraîchissement des brises de mer

- l'ajustement des protections solaires réglables selon le mouvement du soleil.

Il faut donc sensibiliser les habitants et les familiariser avec les comportements qui leurs permettent d'atteindre le confort thermique avec peu d'énergie.

Conclusion générale

L'intégration de ces mesures dans la conception des bâtiments est indispensable pour l'amélioration du confort thermique avec une utilisation raisonnable de l'énergie. Cependant, ces mesures nécessitent d'être plus détaillées (nature de l'isolant, son épaisseur, l'inertie thermique des parois, dimensions et répartitions des fenêtres, etc.) et de vérifier leur impact sur le confort thermique par un logiciel de simulation thermique validé et approuvé. Elles nécessitent également de vérifier leur conformité avec les documents techniques réglementaires.

Par ailleurs, les mesures bioclimatiques mentionnées ne sont pas exclusives au logement social, elles peuvent être appliquées même dans les logements appartenant au secteur privé. Cependant, leur application dans la conception des logements sociaux présente plusieurs intérêts qui se résument comme suit :

- La réduction significative de la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment vu la part importante que représente les logements sociaux dans les programmes de logement.
- L'accord avec la mission du logement social de fournir un logement décent et abordable. Le confort thermique est l'un des critères du logement décent parce qu'il influe sur la santé des habitants surtout l'hiver. Le logement social doit être abordable pour son loyer modéré et les dépenses connexes qui englobent les factures d'énergie.
- La contribution au développement durable par la garantie du confort thermique des habitants avec un coût adapté à leur faible revenu.

Le secteur du logement social, chargé de la lourde mission de résoudre la crise du logement avec ses incidences positives sur l'économie nationale en termes de création d'emplois, peut également servir comme un levier pour la diffusion de l'efficacité énergétique dans le bâtiment.

LA BIBLIOGRAPHIE

I- OUVRAGES

- 1- **BAKER N. V.**, *Passive and low energy building design, for tropical island climates*, éditions commonwealth science council, London, 1987, 197 p.
- 2- **BENHADDADI Mohamed, GUY Olivier**, *Dilemmes énergétiques*, éditions presses de l'université de Québec, Canada, 2008, 198 p.
- 3- **BESANCENOT François**, *Territoire et développement durable : Diagnostic*, éditions l'Harmattan, Paris, 2008, 466 p.
- 4- **CHARLOT-VALDIEU C., OUTREQUIN P.**, *Développement durable et renouvellement urbain : des outils opérationnels pour améliorer la qualité de vie dans nos quartier*, éditions l'Harmattan, Paris, 2006, 285 p.
- 5- **Commission mondiale sur l'environnement et le développement**, *Notre avenir à tous*, 1987, 349 p.
- 6- **COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre**, *La conception bioclimatique des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, éditions Terre vivante, Mens, France, 2007, 240 p.
- 7- **DUTREX Armand**, *Bioclimatisme et performances énergétiques des bâtiments*, éditions Eyrolles, Paris Cedex, 2010, 240 p.
- 8- **FERNANDEZ Pierre, LAVIGNE Pierre**, *Concevoir des bâtiments bioclimatiques: fondements et méthodes*, éditions Le moniteur, Paris, France, 2009, 430 p.
- 9- **GAUZIN MULLER Dominique**, *l'architecture écologique, 29 exemples européens*, éditions Le moniteur, 2001, 279 p.
- 10- **GEIGER Rudolf, ARON Robert H., TODHUNTER Paul**, *The climate near the ground*, 6^{ème} édition , éditions Rowman & Littlefield, Maryland, Etats unis, 2003, 584 p.
- 11- **GIVONI Baruch**, *Passive and low energy cooling of buildings*, éditions John Wiley & sons, Les Etats Unis, 1994, 259 p.
- 12- **GIVONI Baruch**, *L'Homme, l'architecture et le climat*, éditions Le moniteur, Paris, 1978, 460 p.
- 13- **GONZALO Roberto, HABERMANN Karl J.**, *Architecture et efficacité énergétique, principe de conception et de construction*, éditions Birkhauser, Berlin, 2006, 223 p.

- 14- **HUFTY** André, *Introduction à la climatologie*, éditions les presses Université Laval, Canada, 2001, 531 p.
- 15- **IZARD** Jean louis, *Architectures d'été, construire pour le confort thermique*, éditions du sud, La calade, Aix-en-provence, 1993, 141 p.
- 16- **KREITH** Frank, **KRUMDIECK** Susan, *Principles of sustainable energy systems*, éditions CRC Press & Taylor and Francis group, Les états unis, 2013, 733 p.
- 17- **KREITH** Frank, **KREIDER** Jan F., *Solar heating and cooling :active and passive design*, éditions CRC Press, Les états unis, 1982, 483 p.
- 18- **LIEBARD** Alain, **DE HERDE** André, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique, concevoir édifier aménager avec le développement durable*, éditions Observ'ER, Paris, 2005, 750 p.
- 19- **MATHIS** Paul, *L'énergie: comprendre les enjeux*, éditions QUAE, Paris, 2011, 252 p.
- 20- **MAZRIA** Edward, *Le guide de l'énergie solaire passive*, éditions Parenthèses, 1981, 342 p.
- 21- **OLIVA** Jean-Pierre, *L'isolation écologique, conception, matériaux, mise en œuvre*, éditions Terre vivante, Mens, France, 2001, 238 p.
- 22- **ROJEY** Alexandre, *Energie et climat, réussir la transition énergétique*, éditions Technip, Paris, 2008, 218 p.
- 23- **ROULET** Claude-Alain, *éco-confort, pour une maison saine et à base consommation d'énergie*, éditions presses polytechniques et universitaires Romandes, Italie, 2012, 200 p.
- 24- **SAFAR ZITOUN** Madani et al, *Habitat social au Maghreb et au Sénégal, gouvernance urbaine et participation en société*, éditions l'Harmattan, Coll. « Habitat et sociétés », Paris, 2009, 290 p.
- 25- **SANTAMOURIS** Mat, **ASIMAKOPOULOS** D., *Passive cooling of buildings*, éditions Earthscan, Royaume unie, 1996, 472 p.
- 26- **SANTAMOURIS** Mat, *Rafraichir les villes*, éditions Presses des mines, Paris, 2004, 257 p.
- 27- **SAYEGH** A M H., **GALLO** C., **SALA** M., *Architecture, comfort and energy*, éditions Pergamon, Royaume Unie, 1998, 239 p.
- 28- **SOUIAH** Sid-Ahmed et al, *L'Algérie, 50 ans après*, éditions l'Harmattan, Paris, 2012. 200 p.
- 29- **SZOKOLAY** Vajk Steven, *Introduction to architectural science, the basis of sustainable design*, éditions Routledge, Les états unis, 2008, 345 p.

30- **SZOKOLAY** Vajk Steven, *Solar geometry*, éditions passive and low energy architecture international, 2^{ème} édition, 2007, 45 p.

31- **WRIGHT** David, *Manuel d'architecture naturelle*, éditions Parenthèses, Marseille, 1979, 2004, 249 p.

II- REVUES

1- **Ministère de l'énergie et des mines**, Bilan énergétique national de l'année 2012, édition 2013, 40 p.

<http://www.aprue.org.dz/PUBLICATION%20CONSOMMATION%20ENERG%20IQUE%20FINALE%202012.pdf>

2- **Ministère de l'habitat et de l'urbanisme**, La revue de l'habitat, Novembre 2008, N°2, Alger, 76 p.

3- **Ministère de l'habitat et de l'urbanisme**, Les mégaprojets en Algérie, le secteur de l'habitat et de l'urbanisme, éditions centre national de documentation de presse et d'information, 2010, N°1, 107 p.

4- **SENIT** Carole-Anne, l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel dans les pays du sud et de l'est de la méditerranée, *idées pour le débat*, 2008, N°14, France, 67 p.

http://www.iddri.org/Publications/Collections/Idees-pour-le-debat/Id_0814_C.A-Senit_efficacite-energetique-PSEM.pdf

III- MEMOIRES DE MAGISTER

1- **BELLARA** Samira, *Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective : cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli*, Mémoire de magister, Département d'architecture et d'urbanisme, Université de Constantine, 2005, 213p.

2- **BERGHOUT** Belgacem, *Effet de l'implantation d'un bâtiment collectif sur le confort hygrothermique intérieur, cas de Biskra*, Mémoire de maîtrise en génie de la construction, Ecole de technologie supérieure, Université de Québec, 2012, 210 p.

3- **MEDJELEKH** Dalel, *Impact de l'inertie thermique sur le confort thermique et la consommation énergétique du bâtiment, cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma*, Mémoire de magister, Département d'architecture et d'urbanisme, Université de Constantine, 2006, 272 p.

4- **SEMAHI** Samir, *Contribution méthodologique à la conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie, développement d'une approche de conception dans les zones arides et semi-arides*, Mémoire de magister, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme, Alger, 2013, 220 p.

IV- ARTICLES

- 1- **AL-OBAYDI M.A.A.H., WOODS P.**, «Investigations on effect of the orientation on thermal comfort in terraced housing in Malaysia», *International journal of low carbon technology*, 2006, pp.167-176. <http://ijlct.oxfordjournals.org/content/1/2/167.full.pdf>
- 2- **AUDURIER-CROSS A., IZARD J.L.**, «Types de temps en climat méditerranéen français et conception architecturale bioclimatique», *Méditerranée*, 1980, N°4, pp.67-79. http://www.persee.fr/doc/medit_0025-8296_1980_num_40_4_1956
- 3- **BEKKOUCHE S.M.A., BENOUAZ T. et CHERIER M.K. HAMDANI M.**, « Study and effect of orientation two room of building located in Ghardaïa, Algeria», *Energy procedia*, 2012, N°18, pp. 632-639. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610212008466>
- 4- **BEKKOUCHE S.M.A., BENZOUAZ M., CHERIER M.K., HAMDANI M., KHERROUR S.**, Effet de l'orientation sur la température intérieure d'un habitat en pierre situé à Ghardaïa. Article présenté dans le séminaire international sur le génie climatique et l'énergétique, 2010. http://labogcc.org/sigcle_2010/pages/themes/thermique_du_batiment/Session%20II/0-1Bekkouche%20Sess%202.pdf
- 5- **BERGHOUT B., FORGUES D., MONFER D.**, Simulation du confort thermique intérieur pour l'orientation d'un bâtiment collectif à Biskra, Algérie. Ecole de technologie supérieure Montréal, Québec.
- 6- **EL KADI G.**, «La démocratisation du logement en Algérie : discours et pratiques», *Le logement, l'état et les pauvres dans les villes du tiers monde*, 1984, N°2, pp. 39-58. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_18-19/23770.pdf
- 7- **GAUZIN MULLER D.**, «une nouvelle approche de l'acte de bâtir, l'architecture éco-responsable», *Panoramas*, pp. 225-236. http://www.envirobat-reunion.com/IMG/pdf_2008.encyclopedia_universalis.pdf

V- TEXTES REGLEMENTAIRES

- 1- **Ministère de l'énergie et des mines**, La loi N° 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie, *Journal officiel*, n° 51 du 02 Février 1999.
- 2- **Ministère de l'énergie et des mines**, La loi n°04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable, *Journal officiel*, n° 52 du 18 Aout 2004.
- 3- **Ministère de l'habitat**, Réglementation thermique des bâtiments d'habitation, règles de calcul des déperditions calorifiques, fascicule 1, D.T.R. C 3-2, Arrêté ministériel du 10 Décembre 1997. <http://www.civil-dz.com/uploads/files/public/files-gDVBl4pCV1.pdf>

VI- ÉMISSIONS

- 1- **HEBBACHE** Souhila, émission ECOLO : L'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment, Radio Algérie internationale, Jeudi 25/02/2016.
<http://www.radioalgerie.dz/rai/fr/ecolo>

VII- QUOTIDIENS

- 1- Le quotidien d'Oran, «La consommation électrique des foyers algériens est 10 fois supérieure à la norme», le 3 février 2016.

VIII- PUBLICATIONS

- 1- **Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie**, *Isoler son logement, pour réduire les dépenses d'énergie et améliorer le confort d'un logement existant*, Juillet 2013, 35 p.
http://www.adil91.org/fileadmin/Sites/Adil_91/documents/Brochures_depliants/guide_ade_me_isoler_son_logement.pdf
- 2- **DOUTRIAUX** Hélène, *Le logement social et les économies d'énergie sur l'agglomération du Grand Lyon*, Juin 2008, 90 p.
- 3- **LETARD** Valérie, *Agir contre la précarité énergétique, une boîte à outils au service des collectivités locales et territoriales*, Septembre 2009. 20 p.
http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/adm00005990_adm_attache1.pdf
- 4- **Ministère de l'énergie et des mines**, *Nouveau programme national sur l'efficacité énergétique (2016-2030)*, 4 p. http://portail.cder.dz/IMG/article_PDF/article_a4445.pdf

IX- SITES INTERNET

- 1- https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9veloppement_durable
- 2- <http://www.rameve.org/>
- 3- <http://portail.cder.dz/spip.php?article2854/>
- 4- <http://www.crasc-dz.org>.
- 5- <http://www.cop21.gouv.fr/comprendre/>
- 6- <http://www.aprue.org.dz/prg-eco-bat.html>
- 7- <http://www.meteo.dz/index.php>
- 8- <http://services.meteofrance.com/e-boutique/climatologie/rose-vent-detail.html>

ANNEXE 1

EXTRAIT DU CAHIER DES CHARGES RELATIF AU CONCOURS NATIONAL
D'ARCHITECTURE POUR 70 LOGEMENTS PUBLICS LOCATIFS A HAUTE
PERFORMANCE ENERGETIQUE A S'HAOULA

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME

OFFICE DE PROMOTION ET DE GESTION IMMOBILIERE
D'HUSSEIN DEY

CAHIER DES CHARGES

AVIS D'APPEL D'OFFRE NATIONAL

OBJET : CONCOURS NATIONAL D'ARCHITECTURE

70 LOGEMENTS PUBLICS LOCATIFS

A HAUTE PERFORMANCE ENERGETIQUE

A S'HAOULA

25/01/2009
07/2009
Habitat... 23-10-2009

Source : **SEMAHI** Samir, *Contribution méthodologique à la conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie, développement d'une approche de conception dans les zones arides et semi-arides*, Mémoire de magister, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme, Alger, 2013, 220 p.

SECTION 03 : PRESCRIPTIONS FONCTIONNELLES, TECHNIQUES ET TECHNOLOGIQUES INTERDISCIPLINAIRES

Les objectifs recherchés doivent traduire la volonté du maître d'ouvrage à trouver les meilleures solutions de manière à répondre qualitativement à une production de logements visant l'optimisation du confort thermique et la réduction de leur consommation énergétique.

Il est visé donc à travers les solutions qui seront apportées de répondre à une logique de réduction des besoins énergétiques et d'optimisation des fonctions de l'enveloppe architecturale : réduire les déperditions thermiques, exploiter l'éclairage naturel et assurer le confort thermique d'été et d'hiver.

La définition et le choix des stratégies à mettre en œuvre pour assurer une économie d'énergie avec une optimisation du confort intérieur, passent d'abord par l'analyse des données climatiques des sites considérés. Toutefois, les recommandations apportées dans ce document précisent des orientations à adopter en général pour atteindre les objectifs fixés. Ces recommandations seront complétées par des orientations émanant des exigences des sites choisis. Elles concerneront :

- La définition précise de la stratégie de chauffage et refroidissement à intégrer (en fonction des données climatiques) ;
- La définition du type d'inertie et d'isolant à intégrer ;
- Le dimensionnement des occultations en fonction de la latitude du site ;
- La définition des matériaux à employer.

Dans le cadre de ce projet, le Maître de l'œuvre aura à faire des propositions qui expriment cette volonté par la présentation d'études visant les solutions optimales en la matière

Il s'agira de veiller principalement à :

- Proposer des cellules de logements fonctionnelles et adaptées au mode de vie de la population concernée ;
- Produire un cadre de vie cohérent et en parfaite intégration avec le lieu d'implantation ;
- Améliorer la qualité architecturale et urbanistique de la ville ;
- Viser l'introduction des nouvelles technologies du bâtiment et des systèmes constructifs de manière à réduire les délais et les coûts de réalisation.
- Promouvoir l'amélioration du climat intérieur des bâtiments en été et en hiver.

PREMIERE PARTIE

PRESCRIPTIONS FONCTIONNELLES

I - COMPOSITION URBAINE :

I.1 - Orientations générales

L'implantation du projet doit être conforme aux prescriptions définies par les instruments d'urbanisme.

Il devra être procédé, dans l'étude préliminaire, à l'analyse détaillée de l'environnement immédiat du projet, de manière à évaluer la nature et l'importance des contraintes et les spécificités afin d'en tenir compte dans la justification du parti adopté et dans la conception du projet en général.

L'architecture adoptée doit apporter les nuances, la souplesse, la variété qui permettront de satisfaire au mieux les exigences des habitants en termes d'esthétique et de confort thermique, et rendront le quartier agréable à habiter.

La constante du repère doit être toujours présente, l'environnement urbain créé doit permettre à chacun de retrouver son lieu, de reconnaître et de s'approprier son espace.

I.2 - Orientations particulières

Le maître de l'œuvre devra lors de la conception veiller à

- Rechercher la notion de quartier dans le projet en renforçant ses limites et ses espaces privés en lui créant ses propres portes virtuelles ;
- Tenir compte du bâti existant, dans son architecture, sa disposition et son contexte (contraste-intégration) ;
- Valoriser l'espace extérieur en créant la relation entre le bâti et l'environnement immédiat, cette relation doit être clairement matérialisée par des espaces hiérarchisés.
- Les candidats devront rechercher et intégrer à leurs travaux un caractère urbain propre, ils devront prévoir des espaces de transition assurant un passage graduel du public au privé
- La création d'espaces de convivialité intra îlot comme éléments d'accompagnement extérieurs aux logements en parfaite harmonie doit être encouragée ;
- Rechercher, selon la taille du programme une variété et une richesse à travers une architecture des traitements et des agencements différenciés par îlot et/ou par entité ;
- Viser, comme objectif à obtenir une architecture aboutie, devant être perçue comme une réponse parfaitement concluante à une demande clairement dimensionnée et énoncée .

Cette notion doit se traduire par l'adoption d'un agencement et d'une architecture qui dissuade les occupants à procéder aux transformations de leur logement .

- Veiller à l'optimisation judicieuse et rationnelle de la morphologie du terrain pour une meilleure composition urbaine et architecturale. Rechercher à travers une conception adaptée, la meilleure

intégration alliant l'optimisation des surfaces et des implantations à la richesse des formes et des volumes, tout en limitant au maximum les travaux de soutènement ;

- Une attention très particulière en plus des prescriptions sus énumérées, doit être apportée lors de la conception à l'économie d'énergie avec une optimisation du confort intérieur passant obligatoirement par l'analyse des données climatiques du site en précisant en détail:
 - 1) La stratégie de chauffage et de refroidissement à intégrer en fonction des données climatiques
 - 2) La définition du type d'inertie et d'isolants à intégrer
 - 3) Le dimensionnement des occultations en fonction de la latitude du site
 - 4) Le type de matériaux de construction à employer et à utiliser.



II - CONCEPTION ARCHITECTURALE :

II.1 Orientations générales

L'organisation spatiale du logement doit s'adapter au mode de vie local et répondre à la réglementation en vigueur.

La conception des logements doit répondre à l'objectif de la fonctionnalité, du bien être des occupants selon les exigences et les spécificités régionales et culturelles du lieu d'implantation du projet et à celui de réduire les déperditions thermiques, exploiter l'éclairage naturel et assurer le confort thermique d'été et d'hiver du site.

La conception doit être l'émanation d'une véritable recherche alliant l'originalité, l'innovation et le respect des éléments du site d'insertion.

II.2 ORIENTATIONS PARTICULIERES

A - Conception des bâtiments

- Des unités en fiots ou en rues doivent être privilégiées, en veillant aux conditions de leur gestion et de leur appropriation
- La densité des bâtiments et leur gabarit doit être conforme aux dispositions prévues par les instruments d'urbanisme
- La conception de logements sur vide sanitaire doit être évitée.
- Dans le cas des entrées surélevées par rapport au trottoir, l'accès à l'immeuble doit comporter une rampe d'accès n'excédant pas 4% de pente avec une largeur d'au moins 0.70 m destinée à l'usage des personnes à mobilité réduite
- La typologie semi collective groupée doit être conçue selon la région et la taille de l'agglomération
- Dans le cas d'une conception offrant un recul par rapport au trottoir, l'espace intermédiaire peut être annexé aux logements du rez-de chaussée. Cet espace privatif planté devra être protégé par une clôture légère dont la partie en dur ne doit pas dépasser 60cm de hauteur.
- Le hall d'entrée du bâtiment pour une typologie en semi- Collectif en RDC + 2 doit être conçu comme un espace d'accueil convenablement dimensionné en hauteur et en largeur ; l'accès à la cage d'escalier sous le palier intermédiaire est à bannir
- Assurer dans la conception le confort thermique d'été et d'hiver de la manière suivante

En hiver

Les économies d'énergie en hiver seront assurées par l'application de deux principes : la réduction des besoins énergétiques et l'optimisation des apports solaires

❖ 1/ La réduction des besoins énergétiques

La réduction des besoins en énergie pour le chauffage nécessite le renforcement du rôle conservatoire de l'enveloppe du logement. Ce renforcement passe par :

- la réduction des déperditions calorifiques à travers les parois en améliorant leurs composantes et leur protection des vents dominants,
- la réduction des ponts thermiques (ou déperditions linéiques) ;
- La réduction des déperditions par le vitrage. Cette réduction peut s'appliquer en favorisant les surfaces vitrées en façades sud et en réduisant le vitrage sur les autres façades aux besoins de éclairage naturel ;
- L'augmentation de la résistance thermique des parois en plaçant des isolants à l'extérieur (pour supprimer les déperditions linéiques et protéger les parois des chocs thermiques) ;
- La réduction des infiltrations d'air incontrôlées en prévoyant les menuiseries adéquates et en assurant un bon suivi de la réalisation.
- La réduction des besoins sera également assurée par une distribution judicieuse des espaces à travers
- L'utilisation d'espaces lampons en orientation nord (tels que les sanitaires et les espaces de rangement) ;
- L'utilisation de SAS d'entrée pour réduire la migration des flux d'air chaud

❖ 2/ L'optimisation des apports solaires

- La quête des apports solaires nécessite de capter et de piéger les rayons solaires au moyen du vitrage et de stocker l'énergie qui en résulte, pour la diffuser à l'intérieur du logement, aux moments où la température extérieure diminue
- L'optimisation des apports solaires sera atteinte en appliquant les principes suivants
- Capturer le rayonnement solaire en favorisant l'orientation du vitrage au sud. Il est également recommandé de concevoir la distribution intérieure des logements de manière à réserver l'orientation sud aux espaces principaux (séjour et chambres)
- Stocker l'énergie captée dans les masses. Le stockage énergétique reposera sur l'inertie thermique des parois du logement qui devront emmagasiner la chaleur puis la restituer au moment de déphasage. C'est pourquoi, il est recommandé d'intégrer dans les parois intérieures, destinées au stockage de l'énergie, des matériaux denses à forte chaleur spécifique (le béton, la pierre...) Ces parois auront une surface d'échange importante avec les espaces intérieurs principaux ;
- Distribuer la chaleur emmagasinée : Ce critère sera assuré par une bonne disposition des espaces des logements : les espaces principaux auront au moins un accès à la surface vitrée.
- Pour faciliter cette disposition, l'intégration d'une véranda peut être considérée...

Il est à noter que :

En été

Il est essentiel que le confort d'été reste une préoccupation constante au moment de la conception architecturale. Pour éviter de transformer les critères du confort d'hiver en source d'inconfort en été, les dispositions suivantes doivent être prises en compte

❖ 1/ Le contrôle de l'ensoleillement

Contrôle de l'ensoleillement par l'intégration de l'élément végétal

- Une attention particulière sera apportée à l'intégration de la dimension paysagère et à la création d'un microclimat dans l'environnement immédiat du projet.
- La masse du feuillage pouvant occulter une part importante du rayonnement solaire, il est recommandé d'intégrer des éléments végétaux à feuilles caduques (laissant pénétrer le rayonnement solaire en hiver). Ces éléments seront constitués d'arbres à grandes hauteurs, prévus à moins de six mètres du projet, du côté ouest et sud-ouest

Contrôle de l'ensoleillement à travers la conception architecturale

- Le contrôle du rayonnement solaire en été passe par la protection des surfaces extérieures des logements (aussi bien des surfaces opaques que des surfaces vitrées). Cette protection devra être assurée par deux éléments :
- L'orientation et la forme architecturale des logements (Réduire au maximum les surfaces des toitures orientées à l'ouest) ;
- L'intégration des éléments architecturaux assurant l'occultation des rayons solaires (à l'horizontal ou verticaux)

Les dimensions des occultations à prévoir ainsi que les heures d'ensoleillement seront étudiées en fonction de la latitude du site considéré. Leur efficacité sera contrôlée au moyen du tracé des abaques solaires.

❖ 2/ La ventilation naturelle

Sur la base de l'identification de la direction et de la vitesse des vents dominants, il est recommandé de définir des stratégies de ventilation en agissant sur :

- La position des ouvertures en fonction de la direction du vent ;
- Les dimensions des ouvertures en fonction du flux d'air circulant et de la vitesse du vent ;
- L'intégration d'accessoires aux fenêtres dans le but d'optimiser la ventilation (par exemple, des lames mobiles orientées vers le bas)

Dans les régions sud, considérant l'importance d'une ventilation nocturne énergétique et efficace (les périodes favorables à la ventilation étant très courtes), il est recommandé de :

- Prévoir de petites ouvertures face aux vents dominants et de grandes ouvertures du côté opposé (une entrée d'air plus petite que la sortie assure une vitesse de flux maximale) ;
- En présence de cloisons intérieures entre les deux faces, nous recommandons l'intégration de petites ouvertures en partie basse et haute de ces cloisons de manière à favoriser la circulation de l'air ;
- Considérer la hauteur des ouvertures de manière à éviter la création de poches d'air chaud contre les linteaux et le plafond du logement.

Dans le cas d'un climat à faible taux d'humidité (climat chaud et sec), il sera nécessaire de recourir à la stratégie de refroidissement par évaporation. Cette stratégie consiste à faire passer l'air nécessaire à la ventilation par une ambiance humide (plan d'eau, fontaine...).

En cas d'absence des conditions permettant d'assurer une bonne ventilation des logements, il sera recommandé d'intégrer des tours à vent fonctionnant par effet de cheminée et assurant le captage des vents en hauteur et leur transmission aux espaces à ventiler.

Dans tous les cas, les installations de ventilation prévues dans les projets de logements doivent se conformer aux dispositions réglementaires prévues au Document Technique Réglementaire C3.31, portant ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation.

❖ 3/ L'inertie

Les masses des parois extérieures et intérieures seront étudiées en fonction des données climatiques des sites considérés : en fonction de la durée de déphasage nécessaire. Par exemple, il sera recommandé d'intégrer dans les régions du nord, des matériaux assurant un déphasage entre 6 et 8 heures tandis qu'au sud, le déphasage devra être supérieur à 8 heures.

L'utilisation de l'inertie dans les cloisons intérieures permettra non seulement de stocker les calories en hiver mais également de conserver les frigories cumulées par la ventilation nocturne, en été.

B- TRAITEMENT DES FAÇADES

- Les façades doivent tenir compte des orientations, du niveau d'ensoleillement et des vents dominants.
- Pour une meilleure réussite de la volumétrie du projet, il est souhaitable de jouer avec les avancées, les toitures et les décrochements. Le jeu de pleins et de vides, d'avancées et de reculs, les ouvertures des fenêtres, les séchoirs, la forme des toitures et des cages d'escaliers peuvent ainsi varier l'aspect des édifices et valenser le paysage urbain.
- Le traitement des façades doit dans tous les cas de figure se référer à l'architecture locale (matériaux, traitement, forme et représentation).
- Les matériaux devront participer de manière significative au traitement des façades par leur texture, leur teinte, leur appareillage et leur mise en œuvre.
- Un traitement particulier, intégré à l'ensemble, doit être réservé aux soubassements afin d'éviter leur usure et salissure ;
- Comme mesure à intégrer à travers les projets de logements à haute performance énergétique l'utilisation des parois extérieures dans une logique d'optimisation des fonctions de l'enveloppe architecturale pour réduire les déperditions thermiques, explorer l'éclairage naturel et assurer le confort thermique d'été (par le contrôle l'ensoleillement et l'utilisation de la ventilation naturelle) et d'hiver (par l'optimisation des apports solaires).
- Les dimensions et le traitement des ouvertures à double vitrage étanche doivent tenir compte du niveau d'ensoleillement selon l'orientation des façades et les autres caractéristiques du climat.

C - ORIENTATION

L'orientation des logements doit permettre le respect des orientations préférées des séjours et cuisines.

En plus de l'ensoleillement souhaitable, il devra être tenu compte du microclimat, de la configuration du terrain, des vues et des vents dominants afin de profiter des conditions de confort offertes par les éléments naturels.

Enfin, il est à noter que pour définir les stratégies conceptuelles bioclimatiques, le maître d'œuvre devra interpréter les données climatiques du site d'implantation du projet.

C'est pourquoi, il sera judicieux de réduire au maximum les surfaces des façades ouest, à l'origine des surchauffes intérieures et d'intégrer selon le cas, les protections suivantes :

- Protections horizontales en orientation sud, sud-ouest et sud-est.
- Protections verticales inclinées vers le nord, pour les façades ouest.
- Protections horizontales contre les rayons solaires bas, avec l'intégration de volets accrochés.

D - AMENAGEMENTS EXTERIEURS

Dans le but de concevoir un projet fini et harmonieux, il y a lieu de

- Prévoir un aménagement extérieur de qualité, avec un mobilier urbain adapté et des espaces verts tenant compte dans leur composition des spécificités climatiques locales et générales ;
- Prévoir pour les voies d'accès et voies mécaniques des revêtements adéquats. Il est recommandé pour les voies mécaniques l'utilisation de l'enrobé à chaud ;
- Eviter la superposition des espaces réservés aux aires de jeu et circulations piétonnes avec celui de la circulation mécanique ;
- Tenir compte, dans l'aménagement des espaces, des personnes à mobilité réduite ;

- prévoir des aires de jeux et de détente pour les trois âges (aire de jeux, espaces de convivialité, de rencontre et de détente en réfléchissant les limites et les croisements) ;
- Prévoir des surfaces de stationnement en nombre suffisant, soit à raison d'un véhicule pour 02 logements à 02 véhicules pour 03 logements selon la localité ;
- Convenir d'une conception générale du projet de façon à ce que la réalisation du logement des VPD et de ses aménagements secondaires y compris les locaux techniques et postes transformateurs, soit menée simultanément ;
- Privilégier les espaces de regroupement par rapport aux espaces de circulation
- Prendre en charge, lors de la conception, le souci d'intégrer le poste transformateur au ras du chaussée du bâtiment en conformité des recommandations et exigences de la SONELGAZ ;
- Prévoir, pour des considérations sanitaires et d'hygiène, des abris pour les dépôts d'ordures ménagères de façon à éliminer toute agression visuelle et nauséabonde ;
- S'assurer que l'éclairage extérieur doit être conçu de façon à garantir une luminosité suffisante.
- Intégrer l'élément végétal : constitué d'arbres à grandes hauteurs prévus à moins de six mètres (06) du projet du côté Ouest et Sud-Ouest.

Une attention particulière doit être apportée à l'intégration de la dimension paysagère et à la création d'un microclimat dans l'environnement immédiat du projet.

III - ORGANISATION SPATIALE DU LOGEMENT

La taille moyenne d'un logement de type F3, correspond à une surface habitable de l'ordre de 67m² avec une tolérance de (+) ou (-) 3%

III.1 CONCEPTION

Chaque logement se composera de :

- 1- Un séjour ,
- 2- Deux chambres,
- 3- Une cuisine ,
- 4- Une salle de bain ,
- 5- Un wc ,
- 6- Un espace de dégagement ,
- 7- Des volumes de rangement ,
- 8- Un séchoir

NB : Les dimensions internes nettes de ces éléments (1 à 7) constituent la surface habitable du logement.

ANNEXE 2

CALCUL DES COORDONNEES SOLAIRES

LES ANGLES D'ALTITUDE ET D'AZIMUT

La position du soleil peut être décrite à tout moment par deux angles, les angles d'altitude et d'azimut.

- *L'angle d'altitude solaire*, ALT, est l'angle entre une ligne colinéaire avec les rayons du soleil (la direction du soleil) et le plan horizontal.

- *L'angle d'azimut solaire*, AZM, est l'angle entre la ligne plein sud et la projection de l'emplacement de la ligne solaire dans le plan horizontal (le plan vertical du soleil) vers l'est ou vers l'ouest. La convention de site utilisée pour l'angle d'azimut est positive à l'ouest du sud et négative à l'est du sud.

Les angles d'altitude et d'azimut solaires ne sont pas des angles fondamentaux. D'où, ils doivent être liés aux quantités angulaires fondamentales : la déclinaison solaire (DEC), l'angle horaire du soleil (HS), et la latitude (LAT). Les trois angles sont montrés dans la figure ci-dessous.

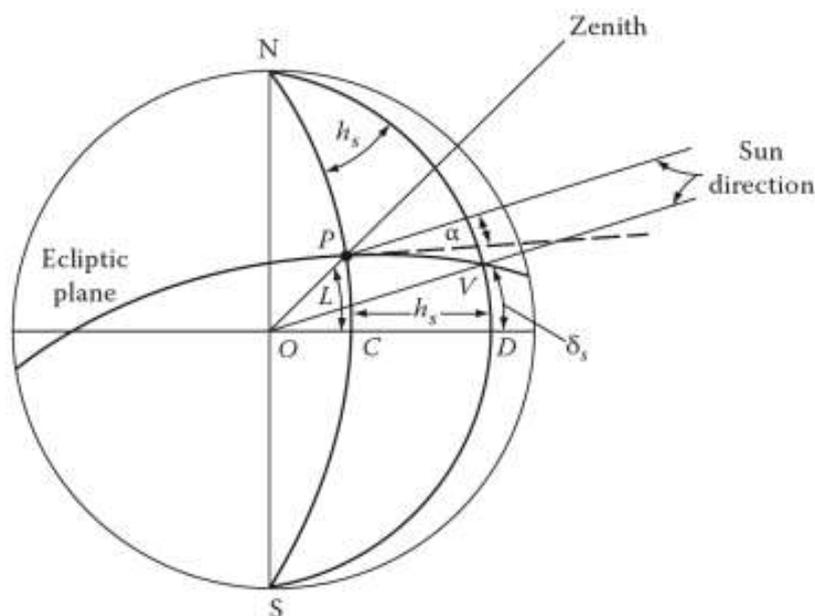


Figure : La définition de l'angle horaire du soleil h_s (CND), la déclinaison solaire δ_s (VOD), et la latitude L (POC); p , le site d'intérêt.

Source: **KREITH** Frank, **KRUMDIECK** Susan, *Principles of sustainable energy systems*, éditions CRC Press & Taylor and Francis group, Les Etats Unis, 2013, p. 250-255.

LA DECLINAISON SOLAIRE

La déclinaison solaire est l'angle entre la ligne terre-soleil (à travers leurs centres) et le plan de l'équateur. Elle varie entre $-23,45^\circ$ le 21 décembre à $+23,45^\circ$ le 21 juin.

Autrement dit, la déclinaison a la même valeur que la latitude à laquelle le soleil est directement au dessus à midi solaire dans un jour donné. Le tropique du cancer ($23,45^\circ\text{N}$) et du capricorne ($23,45^\circ\text{S}$) sont à l'extrême latitude où le soleil est au dessus au moins une fois par an.

Les déclinaisons situées au nord de l'équateur sont positives; celles du sud, sont négatives.

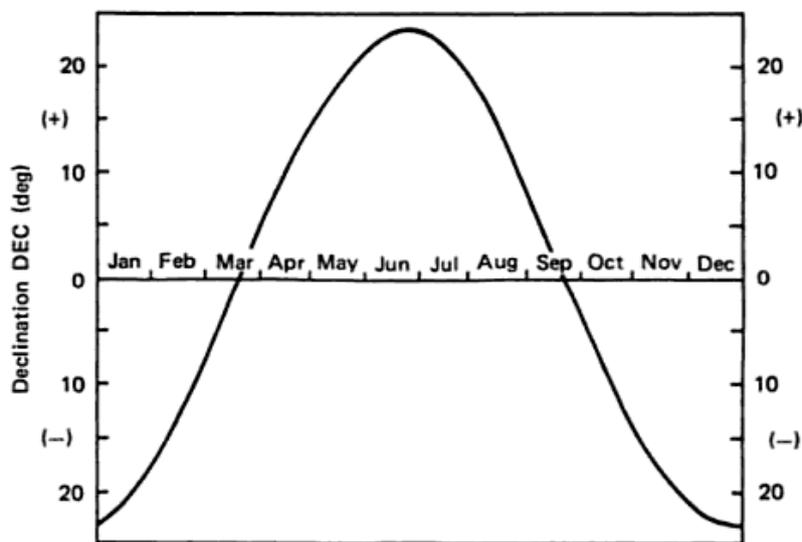


Figure : Les variations de la déclinaison solaire en degré pour une année.

La déclinaison solaire est déterminée par la relation suivante :

$$\text{DEC} = 23,45^\circ \sin [360(284+n) / 365]^\circ$$

Où n est le nombre du jour durant l'année avec le 1^{er} Janvier sera $n=1$. Pour la plupart des calculs, l'angle de la déclinaison varie lentement, elle est considérée constante pendant un jour donné.

L'ANGLE HORAIRE DU SOLEIL

L'angle horaire du soleil est l'angle par lequel la terre doit tourner pour amener le méridien à un point directement en ligne avec les rayons du soleil. La valeur de l'angle horaire est basée sur le temps de 24 heures nécessaires à la terre pour décrire 360° (tour sur elle-même). Chaque heure présente donc un écart de longitude de 15° , 4 minutes par degré de longitude. Ainsi, **HS** est défini comme suit :

$$\begin{aligned} HS &= 15^\circ \text{ (heures du midi solaire local)} \\ &= (\text{minutes du midi solaire local}) / (4 \text{ min/deg}) \end{aligned}$$

L'angle horaire varie de -180° à $+180^\circ$, elle est négative à l'est du plein sud (le matin), nul au plein sud (le midi solaire), et positive à l'ouest du plein sud (l'après midi).

LA LATITUDE

L'angle de latitude L est l'angle entre la ligne joignant le centre de la terre au site et le plan de l'équateur. La latitude peut être lue à partir d'un atlas, elle est considérée positive au nord de l'équateur et négative au sud de l'équateur.

LES EQUATIONS DE LA HAUTEUR ET DE L'AZIMUT DU SOLEIL

L'angle d'altitude solaire, (ALT), peut être trouvé par l'application de la loi de cosinus à la géométrie de la figure qui définit les angles fondamentaux, et peut être simplifié comme :

$$\sin (ALT) = \sin (LAT) \sin (DEC) + \cos (LAT) \cos (DEC) \cos (HS)$$

En utilisant une technique similaire, l'angle de l'azimut solaire, (AZM), peut être trouvé par :

$$\sin (AZM) = \cos (DEC) \sin (HS) / \cos (ALT)$$

LE LEVER ET LE COUCHER DU SOLEIL

Il n'y a que deux jours dans l'année où le soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest. Pour tous les autres jours, l'azimut du coucher est soit au sud soit au nord de l'azimut ouest. Pendant l'hiver, le soleil se lève au sud-est et se couche au sud-ouest, mais en été, il se lève au nord-est et se couche au nord-ouest.

Le lever et le coucher du soleil se produisent lorsque l'altitude du soleil $ALT=0^\circ$. Les heures du lever et du coucher du soleil peuvent être estimées par la détermination de l'angle horaire pour $ALT=0^\circ$. La substitution de $ALT=0$ dans l'équation $\sin (ALT)$ donne les valeurs du lever (H_{lever}) et du coucher du soleil (H_{coucher}).

$$\sin (\text{ALT}) = \sin (\text{LAT}) \sin (\text{DEC}) + \cos (\text{LAT}) \cos (\text{DEC}) \cos (\text{HS}) = 0^\circ$$

$$\cos \text{HS} = - \sin (\text{LAT}) \sin (\text{DEC}) / \cos (\text{LAT}) \cos (\text{DEC})$$

$$\cos (\text{HS}) = - \tan (\text{LAT}) \tan (\text{DEC})$$

$\text{H lever ou H coucher} = \pm \cos^{-1} [- \tan (\text{LAT}) \tan (\text{DEC})]$
