

Université Mouloud MAMMERI TIZI-OUZOU
Faculté du Génie de la Construction
Département d'Architecture

MÉMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Architecture
Option : Architecture et développement durable

Présenté par :
KESRAOUI Nadia

**Intégration du concept bioclimatique
et utilisation rationnelle de l'énergie dans le
bâtiment tertiaire en climat méditerranéen
(cas de l'Algérie)**

Présenté devant le jury composé de :

M. DAHLI MOHAMED	Maître de conférences	UMMTO	Président
M. MAKHLOUF SAID	Maître de conférences	UMMTO	Rapporteur
Mme BOUSSOUALIM AICHA	Maître de conférences	ENSA Alger	Examinatrice
M. CHENAK ABDELKRIM	Chargé de recherche	CDER, Alger	Examineur
M. LAMROUS NACER	Chargé de recherche	ENP de Rouiba	Invité

Soutenu en Novembre 2010

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier vivement toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à mon encadreur, M. Makhoul Said, Maître de conférences à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, qui m'a proposé ce sujet de magister et qui a guidé mes réflexions tout au long de ce travail. Je le remercie particulièrement pour la confiance qu'il m'a accordée, pour le temps qu'il a consacré à la relecture des premières ébauches de ce mémoire, pour son exigence scientifique et pour ses conseils qui m'ont beaucoup appris sur les méthodes de travail.

J'exprime toute ma gratitude à M. Dahli Mohamed, docteur à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour ses encouragements, ses nombreux conseils et ses grandes qualités humaines, et je le remercie d'avoir accepté de participer à mon jury de soutenance et d'être président du jury.

Merci à Mme Boussoualim Aicha, Maître de Conférences à l'INSA d'Alger d'avoir accepté de participer à mon jury de soutenance et d'être examinatrice de mon travail.

Merci à Monsieur Chenak Abdelkrim, Docteur au CDER à Bouzaréah d'avoir accepté de participer à mon jury de soutenance et d'être examinateur de mon travail.

Merci à M. Lamrous Nacer, Chargé de recherche à l'ENP de Rouiba, pour sa gentillesse son amabilité et son bon accueil dans le laboratoire LMSE de génie mécanique. Je le remercie aussi d'avoir accepté de participer à mon jury de soutenance et d'être mon invité.

J'exprime ma reconnaissance à M. Kheffache Saddek et M. Baher El Sakkary qui sont respectivement Directeur de maintenance et Responsable de la construction à SNC Lavalain, pour avoir mis à ma disposition le matériel de mesure nécessaire pour l'accomplissement de mon travail.

Je remercie tout le personnel du service de la construction à la direction de l'urbanisme et de la construction de Tizi-Ouzou, surtout le chef de service, Mme Naoui Aicha de m'avoir aidé à mener à terme mon enquête sur le confort et la consommation d'énergie et un grand merci à M. Hamid Ali, M. Oukal Idir et M. Iratni Kamel, pour m'avoir aidée lors de la prise de mesures et d'avoir permis un bon déroulement de la campagne de mesures pendant la nuit.

Je remercie toute l'équipe de la bibliothèque de l'EPAU, la bibliothèque du Génie mécanique et la bibliothèque de l'habitat pour leur gentillesse et leur compréhension.

Un grand merci à tous mes amis, pour leur soutien moral et leurs encouragements particulièrement : Merzouk Mohammed, Menasria Said, Kasdi Nadia, Zermout Ratiba et Meziani Sihem.

Je remercie ma famille pour m'avoir donné le goût des études ainsi que mon mari Hafidh, tant sa compréhension et son soutien ont été déterminants pour l'accomplissement de ce mémoire et ne saurai conclure sans dédier ce travail à la mémoire de mon père, ma grand-mère et mon beau frère qui est parti à la fleur de l'âge.

Résumé

A l'échelle internationale, des efforts considérables ont été menés ces 20 dernières années pour sensibiliser le public aux problèmes de l'environnement et d'économies de l'énergie. Non seulement l'énergie est l'un des facteurs déterminants communs liés aux problèmes sociaux, environnementaux et économiques, mais elle peut aussi contribuer à leur solution. La préoccupation énergétique est, comme dans d'autres domaines, présente dans le bâtiment.

«L'énergie la moins polluante est celle qu'on ne consomme pas»¹. Derrière cette évidence se trouve une des clés du développement durable dans le domaine du bâtiment : les économies d'énergie. Le bâtiment tertiaire qui a été longtemps négligé par rapport au bâtiment résidentiel, offre des possibilités importantes. A l'heure actuelle, ce secteur n'est soumis à aucune exigence réglementaire sur le plan thermique ou énergétique alors que le confort y est généralement insuffisant aussi bien pendant la saison froide que chaude. Les usagers se trouvent devant le dilemme suivant : se résigner à l'inconfort ou assurer leur confort au prix des dépenses énergétiques importantes. C'est ainsi qu'une mesure telle que la rationalisation de l'énergie dans le bâtiment tertiaire suppose un effort considérable dans le domaine de la maîtrise de l'énergie. Le bilan énergétique d'un bâtiment est particulièrement sensible à deux facteurs : la qualité thermique de l'enveloppe et l'utilisation des apports solaires.

Notre objectif consiste à chercher les moyens pour assurer un niveau de confort thermique acceptable avec une consommation énergétique réduite en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique. Nous nous intéressons plus particulièrement au contexte Algérien où l'énergie utilisée est presque totalement fossile et où la réglementation thermique ou énergétique n'est que timidement utilisée dans le secteur tertiaire. Une enquête sur le terrain et un questionnaire réalisé au cours de ce travail nous permettent de mettre en évidence les défauts du bâtiment tertiaire dans la ville de Tizi-Ouzou et les besoins des occupants.

Ce travail propose une tentative d'approche bioclimatique ayant pour but d'améliorer la qualité du bâtiment tertiaire en climat méditerranéen en développant des modèles conceptuels nouveaux ou actualisés qui valorisent les ressources naturelles locales.

A travers des mesures effectuées sur un bâtiment spécifique du type d'immeuble de bureaux réalisés à Tizi-Ouzou (siège de la wilaya), nous mettons en exergue le rôle que joue

¹ citation Ademe, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

l'enveloppe du bâtiment dans le confort thermique des occupants ainsi que dans la consommation d'énergie pour le chauffage, la climatisation et l'éclairage.

Les principaux résultats ont révélé une insatisfaction globale à l'égard de l'enveloppe chez la majorité des occupants, en outre la prise de températures internes et externes montre que l'enveloppe ne joue pas son rôle protecteur par rapport aux agents climatiques externes, et qu'il est par conséquent important d'y remédier en intégrant certains systèmes passifs tel que l'isolation ou les protections solaires, vu que le climat de Tizi-Ouzou (climat méditerranéen tempéré) le permet parfaitement.

Mots clés : Bâtiment tertiaire, Concept Bioclimatique, Economie d'énergie, Développement durable, Confort thermique, Isolation thermique, Protection solaire, Climat, Climat méditerranéen.

Abstract

Internationally, considerable efforts have been led these last 20 years to raise public awareness about environmental issues and energy saving. Not only energy is one of the common factors related to social, environmental and economic problems, but it can also contribute to their solution. The preoccupation about energy is, as in other fields, present in building.

“The cleanest energy is the one that we don’t consume”. Behind this obvious fact lies one of the keys of sustainable development in building: energy savings.

The tertiary building, that has long been neglected compared to the residential one, offers great opportunities. Currently, this sector is not subject to any regulation in terms of thermal or energy and the comfort is generally inadequate during both cold and hot weather. Users are faced with the dilemma: to resign themselves to discomfort or to ensure their comfort at the cost of significant energy expenditure.

Thus a measure such as a rationalization of energy in the tertiary building requires a major effort in the field of energy management. The energy balance of a building is particularly sensitive to two factors : the thermal quality of the envelope and the use of solar gain.

Our objective is to seek ways to ensure an acceptable level of thermal comfort with reduced energy consumption by studying the influence of the building envelope and energy demand. We are particularly interested in Algerian context where the used energy is almost entirely fossil and thermal or energy regulation is timidly used in the tertiary sector. A field survey and a questionnaire developed in this work allow us to highlight the shortcomings of tertiary buildings and the needs of occupants in the city of Tizi-Ouzou.

This work proposes an attempt to bioclimatic approach which aims to improve the quality of tertiary buildings in the Mediterranean climate by developing new or updated conceptual models and enhancing local natural resources. Through measurements made on a specific type of office building in Tizi-Ouzou (seat of the wilaya), we highlight the role played by the envelope of the building in the thermal comfort of the occupants and the energy consumption for heating, cooling and lighting.

The main results have revealed an overall dissatisfaction towards the envelope for the majority of the occupants, in addition the internal and the external temperatures shows that the envelope doesn't play its protective role in relation with climatic external agents and it is ,therefore, important to put them right by integrating some passive systems such as insulation or shading, as the climate of Tizi-Ouzou (Mediterranean climate) allows it perfectly.

Keywords : tertiary building, bioclimatic concept, energy saving, sustainable development, thermal comfort, thermal insulation, climate, Mediterranean climate.

ملخص

على الصعيد الدولي ، أعمال جبارة قد بذلت في العشرينية (20) الماضية في مجال تحسين الرأي العام على كل ما يخص مشاكل المحيط و اقتصاد الطاقة. فالطاقة من العوامل الأساسية التي تدخل في المشاكل الاجتماعية، المحيطية و الاقتصادية، و لكنها من العوامل التي تساهم أيضا في حلها. المشكلة الطاقوية مثل الكثير من المجالات الأخرى، تدخل في مجال البناء.

___ "الطاقة الأقل تلويثا هي التي لا تستهلك". وراء هذه الحقيقة، توجد مفاتيح التنمية المستدامة في مجال البناء : اقتصاد الطاقة، البناء التجاري الذي قد أهمل طويلا على حساب البناء السكني، يعطي لنا إمكانيات كثيرة. في الوقت الحالي، هذا القطاع لا يخضع إلى أي اجبارات قانونية في ما يخص الحرارية و الطاقوية، في حين أن الرخاء ناقص في معظم الأحيان، كان الجو باردا أو حارا. المستخدمون يجدون أنفسهم في وضعية تضعهم في خيار صعب: يستحصلون نقص الرخاء أم يتحصلون عليه مقابل مصروفات طاقوية باهظة.

و لكن التقليل من الطاقة في البناء التجاري يتطلب إمكانيات معتبرة في مجال التحكم على الطاقة، الميزان الطاقوي لبناية حساس لعاملين: نوعية الغلاف الحراري و استخدام مكاسب الطاقة الشمسية.

هدفنا هو البحث عن الطرق التي تمكننا من الحصول على رخاء حراري مقبول مقابل استهلاك طاقوي منخفض و ذلك بدراسة غلاف البناية مقابل متطلباتها الطاقوية. و نهتم خاصة بالسياق الجزائري، اين الطاقة المستعملة في أعظم الأحيان هي الطاقة الحفرية، وأين الأنظمة في مجال الحرارية و الطاقوية غير مستعملة إلا بطريقة ضعيفة جدًا في مجال البناء التجاري.

دراسة ميدانية و أسئلة مطروحة خلال هذا العمل، تسمح لنا بتسليط الضوء على النواقص في مجال البناء التجاري في مدينة تيزي وزو و متطلبات السكان. فيقتراح هذا العمل محاولة مقارنة الحيوية الإقليمية التي تستهدف تحسين نوعية البناء التجاري في مناخ البحر الأبيض المتوسط و ذلك بتطوير نماذج مفاهيمية جديدة أو محدثة التي تعزز الموارد الطبيعية المحلية.

من خلال قياسات أجريت على بناء محدد من نوع من البنايات للمكاتب منجزة بتيزي وزو (مقر الولاية)، نبرر الدور الذي يلعبه غلاف البناية في الرخاء الحراري على شاغلي البناية، مع الاستهلاك الطاقوي في التدفئة و التبريد و الإنارة.

النتائج الأساسية كشفت على عدم الرضاء العام لمعظم الشغالين في ما يخص غلاف البناء، في حين أن القياسات الحرارية في الداخل و الخارج تبرز أن الغلاف لا يلعب دوره في الحماية ضد العوامل المناخية الخارجية. و لذلك فمن المهم من حلها من خلال إدماج بعض الأنظمة اللانشطة مثل العزل أو الحماية الشمسية، بما أن مناخ تيزي وزو (مناخ البحر الأبيض المتوسط) يسمح ذلك تماما.

الكلمات الرئيسية:

بناء تجاري، تصميم الحيوية المناخية، اقتصاد الطاقة، التنمية المستدامة، الرخاء الحراري، العزل الحراري، الحماية الشمسية، المناخ، مناخ البحر الأبيض المتوسط.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
INTRODUCTION	2
PROBLEMATIQUE	5
HYPOTHESES DE L'ETUDE	6
OBJECTIF DE L'ETUDE	6
METHODOLOGIE DE RECHERCHE	7
STRUCTURE DU MEMOIRE	8

Première partie : REPERES THEORIQUES

I- CHANGEMENT CLIMATIQUE, DÉVELOPPEMENT DURABLE, ENERGIE ET LE SECTEUR DU BATIMENT	10
I.1. INTRODUCTION	11
I.2. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE	12
I.2.1. Définition	12
I.2.2. L'effet de serre et ses conséquences	13
I.2.3. Le changement climatique dans les pays méditerranéens	15
I.3. LES CONFERENCES INTERNATIONALES SUR LE CLIMAT	16
I.3.1. La convention climat de Rio (1992)	17
I.3.2. Le protocole de Kyoto de 1997	17
I.3.3. Les accords de Marrakech : Octobre 2001	17
I.4. CONSENSUS INTERNATIONAL	18
I.5. RESSOURCES ENERGETIQUES ET LEUR CONSOMMATION	20
I.5.1. Energies primaires	20
I.5.2. Energies finales	21
I.6. LA DISPONIBILITE DES RESSOURCES ENERGETIQUES	22
I.7. LA PROBLEMATIQUE ENERGETIQUE	22
I.8. LE CONCEPT DE DEVELOPPEMENT DURABLE	25
I.8.1. Historique	25
I.8.2. Définition	26
I.9. L'ENERGIE ET LE DEVELOPPEMENT DURABLE	28
I.10. LES PERSPECTIVES ENERGETIQUES	30
I.11. L'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ENERGIE DANS LE BATIMENT AU SERVICE DU DEVELOPPEMENT DURABLE	31
I.12. DEMARCHES INTERNATIONALES LIEES AU BATIMENT	33
I.13. CONCLUSION	35
II. L'HOMME ET SON MILIEU.....	36
II.1. INTRODUCTION	37
II.2. LE CONTEXTE CLIMATIQUE	37
II.2.1. Le climat	38
II.2.2. Climat de la région méditerranée	38
II.2.2.1 Le climat Algérien	39
II.2.2.2 Climat de Tizi-Ouzou	41
II.2.3. Les éléments du climat et leur interaction sur les ambiances intérieures du bâtiment....	41
II.2.3.1. Le soleil et le rayonnement solaire	41

II.2.3.1.1. Rayonnement solaire	42
II.2.3.1. 2. Mouvement terre- soleil	43
II.2.3.1.3. Constante solaire	44
II.2.3.1.4. La distance terre - Soleil	44
II.2.3.1.5. Mouvement apparent du soleil	44
II.2.3.1.6. Repérage d'un site sur la surface terrestre	45
II.2.3.1.7. Abaques et diagrammes solaires.....	48
II.2.3.1.8. Géographie du lieu (effet de masque) et influence de l'environnement	50
II.2.3.2. Rayonnement solaire au sol	50
II.2.3.2.1. Aspects énergétiques	50
II.2.3.2.2. Irradiation journalière sur un plan vertical et sur un plan horizontal pour la ville de Tizi – Ouzou.....	55
II.2.3.3. La place de l'ensoleillement en architecture	57
II.2.4. TEMPERATURE DE L' AIR	57
II.2.4.1. Les degrés jours	57
II.2.4.2. Température moyenne journalière	59
II.2.4.3. Degrés Jours "équivalents"	59
II.2.5. VENTS	59
II.2.5.1. Grandeurs mesurées	59
II.2.5.2. Vent, couche limite et rugosité	60
II.2.5.3. Effet du vent sur les bâtiments	61
II.2.6. Humidité	64
II.2.7. Précipitations	64
II.2.8. Construction et climat	65
II.3. LES BESOINS DE L'HOMME	66
II.3.1. Notion de confort a l'intérieur du bâtiment	67
II.3.2. Confort Thermique	67
II.3.2.1. La notion de confort thermique	67
II.3.2.2. Les différents facteurs du confort thermique	69
II.3.2.3. Aspect physiologique du confort thermique	70
II.3.2.4. Aspect psychologiques	72
II.3.3. Présentation des modes de transfert de chaleur	72
II.3.4. Les paramètres de confort thermique	74
II.3.5. Modèles et indices de confort thermique	77
II.3.5.1. Modèle de confort thermique	77
II.3.5.2. Indice de confort thermique	78
II.3.6. Définition des zones de confort	79
II.3.7. Renfort du confort dans l'architecture pour les bureaux	80
II.3.7.1. Le confort d'été dans les bureaux	80
II.4. CONCLUSION	81
III. INTEGRATION DU CONCEPT BIOCLIMATIQUE POUR UNE UTILISATION RATIONNELLE DE L'ENERGIE	82
III.1. INTRODUCTION	83
III.2. CONFORT ET ENERGIE DANS LE BATIMENT	83
III.3. CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LE BATIMENT TERTIAIRE MEDITERRANEEN..	84
III.3.1. Bâtiment tertiaire	85
III.3.2. Bâtiment tertiaire méditerranéen et ses caractéristiques	85

III.3.2.1. Consommations d'énergie pour la construction des bâtiments.....	86
III.3.3. Consommation d'énergie dans le bâtiment tertiaire en France	87
III.3.3.1. Consommation d'énergie par usage des bâtiments du secteur tertiaire	87
III-3-4- Consommation d'énergie dans le bâtiment tertiaire en Algérie	89
III.4. QUALITE ENVIRONNEMENTALE DES IMMEUBLES TERTIAIRES	91
III.5. LA DEMANDE ENERGETIQUE DANS LES IMMEUBLES DE BUREAUX	91
III.5.1. Bref aperçu sur l'évolution des immeubles de bureaux	91
III.5.2. Demande énergétique dans les immeubles de bureau x.....	92
III.6. LES PRINCIPAUX POSTES CONSOMMATEURS D'ENERGIE	
DANS LE BATIMENT TERTIAIRE MEDITERRANEEN	92
III.6.1. Croissance du secteur climatisé	95
III.7. LA MAITRISE DE L'ENERGIE DANS LE BATIMENT TERTIAIRE	95
III.7.1. Contexte réglementaire en matière de maîtrise d'énergie	97
III.7.2. Efficacité énergétique	98
III.7.2.1. Nature des services énergétiques	99
III.7.2.2. Les principes de base de l'efficacité énergétique	100
III.7.2.3. Code d'énergie	101
III.7.3. Tentative algérienne dans le cadre de projet d'efficience énergétique	102
III.7.4. Efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables	102
III.7.4.1. Substitution des énergies conventionnelles par les ENR	105
III.7.4.2. Les énergies renouvelables en Algérie	105
III.7.4.3. Les réalisations dans le domaine des ENR	
dans le secteur du tertiaire	106
III.7.4.4. Cadre législatif et réglementaire Algérien	107
III-7-5-Conception bioclimatique et les labels « Basse Energie »	107
III-8-CONCEPT BIOCLIMATIQUE	108
III.8.1. Evolution de la pensée bioclimatique en Architecture	109
III.8.1.1.L'architecture Vernaculaire	109
III.8.1.2.L'architecture traditionnelle Algérienne	110
III.8.1.3.De l'architecture traditionnelle a l'architecture bioclimatique	111
III.8.1.4.L'approche bioclimatique en architecture	112
III.8.1.5.Les Principes de base de l'architecture bioclimatique	114
III.8.1.6.Les stratégies de l'architecture bioclimatique	115
III.9.L'ENVELOPPE ET LES TECHNIQUES PASSIVES	118
III.9.1.Orientation	118
III.9.2.Forme	119
III.9.3.Inertie	120
III.9.3.1.Définition	120
III.9.3.1.Les paramètres de l'inertie, ou facteurs influents	121
III.9.3.Hyper inertie	123
III.9.4.Fenêtres	123
III.9.4.1.Les vitrages	123
III.9.5.Protections solaires	125
III.9.5.1.Les différents types de systèmes de protection solaire	126
III.9.5.1.1.Les protections extérieures mobiles	126
III.9.5.1.2.Les protections extérieures fixes	127
III.9.5.1.3.Les dispositifs de protections solaires intérieures	128
III.9.5.1.4.Les protections solaires saisonnières.....	128
III.9.5.2.Détermination du niveau de protection solaire des baies (FSP)	129
III.9.5.3.Conception des dispositifs de protection solaire	129

III.9.6.L'isolation thermique	130
III.9.6.1.L'isolant thermique	130
III.9.6.2.L'isolation des murs par l'extérieur	131
III.9.6.3.L'isolation des murs par l'intérieur	131
III.9.6.4.Isolation repartie, intégrée au mur	132
III.9.6.5.Isolation des parois vitrées	132
III.9.7.La climatisation passive par la ventilation naturelle	133
III.9.7.1.La ventilation hivernale	135
III.9.7.2.La ventilation estivale	135
III.9.8.Les espaces solaires	135
III.9.9. Mur capteur	136
III.9.10.Bilan des différents systèmes	138
III.10. CONCLUSION	139

Deuxième partie : ETUDE DE CAS

IV. PRESENTATION DU CAS D'ETUDE ET METHODOLOGIE	
DE RECHERCHE	140
IV.1. INTRODUCTION	141
IV.2. ENQUETE SUR LA SITUATION DU BATIMENT TERTIAIRE A TIZI-OUZOU	141
IV.2.1. Objectifs	141
IV.2.2. Méthodologie	141
IV.2.3. Analyse des résultats	142
IV.2.4. Les principaux défauts de ces constructions	142
IV.2.5. Les solutions envisageables	142
IV.3. CARACTERISTIQUES DU SITE D'IMPLANTATION DU PROJET	143
IV.3.1. Le climat de la ville de Tizi-Ouzou	143
IV.3.2. Données climatiques de Tizi-Ouzou	144
IV.3.2.1. Rayonnement solaire.....	144
IV.3.2.2. Les Températures.	144
IV.3.2.3. Les précipitations	145
IV.3.2.4. L'humidité	146
IV.3.2.5. Le Vent	146
IV.3.3. Conclusion de l'analyse climatique	147
IV.4. ANALYSE BIOCLIMATIQUE DE LA VILLE DE TIZI-OUZOU	148
IV.4.1. Application de la méthode de Givoni.....	148
IV.4.2. Application de la méthode de Mahoney.....	150
IV.4.3.Conclusion de l'analyse bioclimatique.....	155
IV.5. PRESENTATION DU BATIMENT CAS D'ETUDE	156
IV.5.1. Configuration spatiale de l'immeuble	156
IV.5.2. Espaces intérieurs	157
IV.5.3. Caractéristiques constructives du projet	158
IV.5.4. Dispositifs de contrôle et équipements de confort	159
IV.5.4.1. Dispositifs pour le confort d'été.....	159
IV.5.4.2. Dispositifs pour le confort d'hiver.....	160
IV.5.4.3. Sources d'apports internes.....	160
IV.6. METHODE D'EVALUATION	161
IV.6.1. Evaluation des environnements de travail	162

IV.6.2. Les indicateurs subjectifs de l'étude	163
IV.6.2.1. Enquêtes : les questionnaires	163
IV.6.3. Indicateurs objectifs de l'étude : campagne de mesures	165
IV.6.3.1. Description des instruments de mesures	165
IV.7. CONCLUSION.....	167
 V. ANALYSE ET INTERPRETATION DES DONNEES D'ENQUETE ET DES RESULTATS EXPERIMENTAUX	 168
V.1. INTRODUCTION	169
V.2. ANALYSE ET INTERPRETATION DES DONNEES D'ENQUETE	169
V.2.1. Niveau de satisfaction	169
V.2.1.1. Satisfaction générale	169
V.2.1.2. Etat des occupants dans cet environnement	169
V.2.2. Le confort	170
V.2.3. Facteurs d'inconfort	171
V.2.4. Amélioration du confort	172
V.2.4.1. Amélioration du confort d'été	172
V.2.4.2. Amélioration du confort d'hiver	173
V.2.5. Les systèmes	173
V.2.5.1. La climatisation.....	173
V.2.5.2. Le chauffage	174
V.2.6. Facture énergétique	175
V.2.6.1. Facture ou confort	176
V.2.7. L'environnement	176
V.2.8. Synthèse	177
V.3. RESULTATS EXPERIMENTAUX: PRESENTATION ET COMMENTAIRES	177
V.3.1. Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe du bâtiment sur le confort thermique et la consommation énergétique	178
V.3.1.1. Compositions des parois	178
V.3.1.2. Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment	179
V.3.1.2.1. Inertie thermique et stockage d'énergie	179
V.3.1.2.2. Synthèse.....	190
V.3.1.3. Les apports énergétiques solaires.....	191
V.3.1.3.1. Inertie thermique, isolation et apports énergétiques.....	191
V.3.1.3.2. Synthèse.....	197
V.3.1.4. Analyse de la morphologie du bâtiment.....	197
V.3.1.4.1. Coefficient de forme.....	197
V.3.1.4.2. Synthèse.....	198
V.3.1.5. Les ouvertures.....	198
V.3.1.5.1. Synthèse.....	198
V.3.1.6. Surfaces vitrées.....	198
V.3.1.6.1. Synthèse.....	199
V.3.1.7. La transmission lumineuse.....	199
V.3.1.7.1. Type de vitrage.....	200
V.3.1.7.2. Taille, forme et position des fenêtres.....	200
V.3.1.7.3. Synthèse.....	200
V.3.1.8. Les apports internes.....	201
V.3.1.8.1. Gains provenant des appareils électriques.....	203
V.3.1.8.2. Gains dus aux occupants.....	203
V.3.1.8.3. Les gains provenant de l'éclairage.....	204

V.3.1.8.4. Minimisation des apports internes dans les bureaux.....	204
V.3.1.8.5.Synthèse.....	205
V.3.1.9. Ventilation naturelle.....	206
V.3.1.9.1. Synthèse.....	207
V.4.CONCLUSION.....	207
 CONCLUSION GENERALE	 209
 BIBLIOGRAPHIE	 215
LISTE DES FIGURES.....	229
LISTE DES TABLEAUX	235
 ANNEXES	
Annexes 1 : Climagramme d’Emberger pour la ville de Tizi-Ouzou.	
Annexes 2 : Textes législatifs et réglementaires en matière de rationalisation de l’utilisation de l’énergie en Algérie.	
Annexes 3 : Exemple de conception bioclimatique dans le tertiaire.	
Annexes 4 : Questionnaire d’enquête sur le confort et la consommation d’énergie dans le bâtiment tertiaire.	

Introduction générale

Introduction

Le climat de la terre a évolué au cours du siècle dernier et il n'y a plus aucun doute que l'essentiel du réchauffement observé au cours des 50 dernières années est imputable aux activités humaines. Longtemps confinée aux milieux scientifiques et aux groupes écologiques, la question de changement climatique ainsi que la problématique d'épuisement de ressources naturelles fossiles, qui a été fortement ressentie lors du premier choc pétrolier avec l'augmentation en flèche des prix des énergies, se sont installées durablement au premier plan de l'actualité et des préoccupations des opinions publiques. Le défi est devenu international et les émissions de gaz à effet de serre (notamment le CO₂), objet du protocole de Kyoto, intéressent l'ensemble de la planète.

Il revient donc à la communauté internationale de décider des moyens permettant de réduire ces émissions, et c'est ce qui s'est fait à travers les conférences internationales successives initiées par le sommet de Rio et autres. Afin de sauvegarder notre planète, le changement humain en matière d'utilisation des ressources énergétiques est urgent. En effet, l'accroissement de la population mondiale ces dernières décennies (particulièrement dans les pays en voie de développement), ajouté à la généralisation du concept de confort à toutes les catégories sociales ainsi que l'augmentation des exigences de l'homme, telle que l'utilisation massive de la climatisation, ont fait augmenter considérablement la consommation énergétique. Le secteur du bâtiment a souvent été considéré comme l'un des secteurs prioritaires des politiques énergétiques poursuivies dans le monde, tant les mesures entreprises ont permis de faire des économies significatives.

L'efficacité énergétique est une réponse moderne aux problèmes actuels car elle permet de respecter l'intégrité environnementale, d'améliorer l'équité sociale, de maintenir le développement économique et d'obtenir un meilleur rendement énergétique par le choix des sources d'énergie, le recours aux technologies les plus appropriées à travers des équipements et des procédés les plus performants ainsi que par des campagnes de sensibilisation.

Le secteur du bâtiment est le secteur le plus consommateur d'énergie, en effet sa consommation énergétique n'est pas loin de la moitié de la consommation globale (résidentiel et tertiaire). (Carassus J., 2008). L'énergie nécessaire pour maintenir un climat favorable à l'intérieur du bâtiment et celle qu'on utilise pour la préparation et le transport des matériaux de construction, sa réalisation et son entretien sont très importants. Les bâtiments sont construits pour plusieurs décennies et parfois pour plus d'un siècle et c'est pendant cette période que leur consommation énergétique est plus importante, elle est surtout demandée

pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage et l'entretien des bâtiments étant donné que le climat intérieur¹ d'un bâtiment représente une condition clé pour le confort des occupants.

Le bâtiment tertiaire méditerranéen ne fait pas exception, toutefois le climat méditerranéen caractérisé par des hivers doux et des étés parfois très chauds, se prête parfaitement à une utilisation des techniques passives de refroidissement, de réchauffement ou d'éclairage, en effet le recours aux énergies renouvelables est plus que nécessaire dans les régions méditerranéennes qui possèdent un potentiel très important. Cette énergie inépuisable et propre se trouve être la solution la plus indiquée pour la diminution de l'utilisation de l'énergie fossile dans le bâtiment. Le soleil, le vent, l'eau et la terre sont des ressources d'énergie nous permettant de chauffer ou de rafraîchir nos constructions sans nuire à l'environnement. Nos ancêtres ont pu s'acclimater et utiliser le climat, en réalisant des constructions qui s'adaptent aux conditions climatiques de l'environnement où ils se trouvent. Le retour aux pratiques ancestrales, ajoutées à l'évolution de la technologie permet la construction des bâtiments confortables, à faible consommation énergétique. Ainsi on entend parler de façon récurrente de bâtiments à haute qualité environnementale (green buildings), de développement durable (sustainable design), de prise en compte du confort (thermique, acoustique, olfactif et visuel) et d'énergies renouvelables.

La rationalisation de l'utilisation de l'énergie dans le secteur de la construction en Algérie constitue une préoccupation nouvelle mais très sérieuse et ce du fait que l'énergie à usage domestique et commercial constituent la plus grande part de la consommation nationale, « Sur les 20 Mtep² consommées en Algérie en 2002, 10 Mtep, soit 50% le sont par le secteur « ménages et autres » qui comprend le résidentiel, l'agriculture et les activités tertiaires »³.

L'Algérie, pays en voie de développement est confronté à un autre problème qui est celui de la construction. Durant ces dernières décennies de nouveaux modèles architecturaux qu'on appelle « constructions modernes », importés de l'extérieur, qui sont très souvent inadaptés au climat et consomment beaucoup d'énergie. Très souvent, ces constructions négligent les aspects climatiques, dont l'importance ne paraît pas aux yeux du propriétaire ou du concepteur dans les premières étapes du projet. Ceci engendre des sensations d'inconfort des occupants, une fois la construction réalisée. Le recours à des dépenses supplémentaires de chauffage et de climatisation, grands consommateurs d'énergie et producteurs de gaz à effet

¹ En parlant de climat intérieur, on comprend le plus souvent la température de l'air en hiver et en été.

² Millions tonnes équivalent pétrole

³ Hadjira Balon "économie d'énergie" in revue « Energie et mines » N°02 Avril 2004

de serre va palier à ce problème d'inconfort. L'intérêt est donc de voir dans quelle mesure on peut améliorer la performance des bâtiments tertiaires en s'inscrivant dans le principe du développement durable afin de lutter efficacement contre l'émission de gaz à effet de serre.

Pour répondre à ces défis énergétiques et environnementaux, plusieurs éléments de solution peuvent être mis en œuvre de manière complémentaire. Du point de vue énergétique, les solutions concernent les différents maillons de la chaîne énergétique en passant par la réduction des besoins énergétiques, la « sobriété », l'efficacité des équipements et l'adaptation de la chaîne énergétique aux usagers. Du point de vue environnemental, les solutions sont très nombreuses et concernent notamment la rationalisation de l'utilisation des matières premières et la réduction des émissions de gaz polluants.

L'enveloppe du bâtiment étant l'élément qui sépare l'intérieur de l'extérieur, elle doit pouvoir créer une température interne supérieure à la température extérieure pendant l'hiver et une température intérieure inférieure à la température extérieure pendant l'été vu que le confort intérieur a une influence considérable sur les capacités physiques et intellectuelles des usagers. Elle doit pour cela disposer de structures capables d'opérer une sélectivité thermique, permettant de rechercher certaines influences favorables et d'en écarter d'autres qui le sont moins. La maîtrise des éléments passifs contribuant au confort thermique, tel que l'isolation thermique, l'orientation, les ouvertures, l'inclinaison des façades vitrées servira à réduire la taille des stations de climatisation, de chauffage et d'éclairage et de ce fait réaliser des économies d'énergie. L'objectif visé dans le cadre de ce travail est l'obtention d'un niveau de confort thermique avec une consommation énergétique réduite en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique.

Il est plus facile de concevoir un bâtiment à faible consommation énergétique avec un confort thermique appréciable que d'améliorer les performances thermiques d'un bâtiment existant. La performance thermique de l'enveloppe des bâtiments existants sont à définir, afin de pouvoir apporter des solutions adéquates, comme par exemple le recours à la conception bioclimatique.

Aujourd'hui l'Algérie dispose d'un arsenal juridique important en matière de rationalisation de l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment tertiaire.

La loi 09-99, relative à la maîtrise de l'énergie fixe de nombreux aspects liés à la maîtrise de l'énergie dans le domaine de la construction. La réglementation spécifique relative à la thermique du bâtiment trouve dans cette loi l'encrage juridique nécessaire à sa mise en œuvre. En effet cette loi exige des constructeurs, la conformité aux normes techniques relatives à la construction tels que : la résistance thermique à l'étanchéité des ouvertures de

l'enveloppe extérieure d'un bâtiment, la qualité des matériaux d'isolation et leur mode d'utilisation, les dispositifs des systèmes de chauffage et de climatisation etc... Elle a été ensuite suivie du décret exécutif 04-149 du 19 Mai 2004 fixant les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie et par la suite par la loi 04-09 du 14 Août 2004 qui fixe les modalités de promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable. De nos jours, la réglementation Algérienne s'est enrichie de documents techniques réglementaires les DTRC (DTRC 3-2 et DTRC 3-4), initiés par le ministère de l'habitat et mis en oeuvre par le CNERIB⁴. Ces documents mentionnent entre autre les exigences réglementaires que doivent satisfaire les enveloppes des bâtiments.

Notre travail s'inscrit donc dans une démarche de maîtrise de l'énergie dans le bâtiment tertiaire en climat méditerranéen et vise à intégrer le concept bioclimatique afin de réduire les besoins en chauffage, rafraîchissement et éclairage dans un immeuble de bureaux caractérisé par des gains internes importants en passant par l'évaluation des performances thermiques d'un bâtiment et son influence sur la consommation énergétique.

Afin de donner un aperçu sur le comportement du bâtiment administratif représentatif des systèmes constructifs utilisés (cas du siège de la wilaya de Tizi-Ouzou), une série de mesures et de températures sont prises à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment afin de déterminer les erreurs à ne pas faire lors de la conception et les solutions à préconiser pour répondre à ces insuffisances.

Problématique

Depuis que la crise énergétique s'est faite ressentir, les doigts se sont pointés vers le secteur du bâtiment qui est un des plus grands consommateurs d'énergie. Au début on s'est intéressé au bâtiment résidentiel qui a considérablement augmenté avec la croissance démographique en négligeant complètement le secteur du tertiaire qui n'est pas loin de rattraper le résidentiel dans la consommation énergétique. En effet l'évolution de la technologie du matériel de bureautique (ordinateurs, imprimantes, scanner, photocopieurs ets...), ainsi que l'utilisation massive de la climatisation suite au réchauffement climatique et aux exigences de confort des occupants ont fait que la consommation d'énergie dans le bâtiment tertiaire a augmenté considérablement.

⁴ Centre national des études et recherches intégrées dans le bâtiment créée par décret n° 85-235 du 25 Août 1985

Notre travail se situe dans le cadre général des recherches sur l'assistance à la conception architecturale et technique qui touche l'environnement par sa composante climatique.

A travers cette recherche, nous allons essayer de répondre aux préoccupations suivantes :

- Comment améliorer la performance énergétique des bâtiments tertiaires méditerranéens en s'inscrivant dans les principes du développement durable et de la démarche QEB (Qualité environnementale dans le bâtiment) afin de lutter efficacement contre l'émission des gaz à effet de serre.

- De quelle manière interviennent les aspects passifs et climatiques dans l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments tertiaires méditerranéens ? Peut-on par des moyens architecturaux améliorer les conditions de confort à l'intérieur du bâtiment en diminuant la consommation d'énergie ou plus simplement quelles sont les erreurs de conception à éviter ?

Hypothèses de l'étude

Force est de constater que l'environnement intérieur et l'environnement extérieur sont étroitement liés.

- Les bâtiments tertiaires sont conçus de façon à répondre au besoin en activité mais ne tiennent aucunement compte du confort des occupants et de la consommation énergétique qui est très importante.

- Le climat méditerranéen caractérisé par des hivers relativement doux et des étés chauds, se prête parfaitement à une utilisation des systèmes passifs de chauffage et de refroidissement pour une rationalisation de la consommation énergétique dans les bâtiments

- L'intégration du concept bioclimatique dans le bâtiment tertiaire méditerranéen permet une réduction considérable de la consommation d'énergie et une très grande amélioration du confort thermique à l'intérieur des locaux.

Objectif de l'étude

L'objectif général de ce travail vise à promouvoir des bâtiments tertiaires utilisant des techniques passives adaptées aux régions à climat méditerranéen. L'objectif essentiel de ce travail est de voir Comment réduire la consommation énergétique dans ce type de bâtiment, caractérisé par des apports internes importants qui induisent l'utilisation abusive de la

climatisation artificielle et surtout les gaz (CFC). Ce travail propose une tentative d'approche architecturale bioclimatique. Cette approche a pour but d'améliorer la qualité du cadre bâti en développant un modèle conceptuel nouveau ou actualisé en valorisant les ressources naturelles locales,

L'objectif que nous nous sommes fixés à travers ce travail de recherche est d'abord d'étudier le bâtiment à travers des mesures et des prises de températures et essayer d'apporter des solutions au problème relatif à l'utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment tertiaire, afin de limiter le dégagement de gaz à effet de serre dans l'atmosphère tout en répondant à une demande sans cesse croissante de confort dans ce type d'immeubles.

Nous voulons arriver à démontrer par notre travail que l'intégration du concept bioclimatique est une réponse à ces deux soucis majeurs.

Méthodologie de recherche

Pour pouvoir concrétiser les objectifs de ce travail de recherche, la méthodologie utilisée s'organise en deux grandes parties : une partie théorique et une partie expérimentale. Cette étude consiste en une recherche appliquée, qui nécessite d'abord, la compréhension des différents concepts et notions-clés, liés à l'influence du climat sur le confort thermique dans le bâtiment, ainsi que son influence directe sur la consommation énergétique et ses effets sur l'environnement.

La première étape théorique essentielle, nous permet de mieux appréhender la relation entre le cadre bâti et l'environnement physique extérieur engendré, à travers un processus d'évaluation. Elle nous permet aussi d'arrêter l'approche la mieux appropriée à l'appréciation des occupants de notre environnement d'étude.

La deuxième partie présente notre propre démarche empirique. Elle sera structurée en deux chapitres ; le premier chapitre consiste en la présentation de l'immeuble cas d'étude ainsi qu'en la définition de notre approche méthodologique; puis le deuxième chapitre discute et analyse les données récoltées et synthétise les résultats.

Nous avons pris comme cas d'étude l'édifice de bureaux qui abrite le siège de la Wilaya de Tizi-Ouzou, Notre méthodologie est basée sur une discrétisation spatiale ainsi que sur un codage comportemental.

Nous examinons les relations entre les résultats d'enquêtes auprès des usagers et d'observations de leurs activités avec une évaluation physique des ambiances internes. L'évaluation du microclimat interne au bâtiment se fait à travers des mesures physiques d'un ensemble de paramètres : l'ensoleillement, la température, Humidité ..., et ce par le biais

d'instruments appropriés. L'enquête et les observations conduites permettent d'identifier le degré de gêne sentie par les individus ainsi que la consommation d'énergie induite par la non prise en considération des éléments du climat. Ceci permet de contrôler si ces lieux présentent des caractéristiques microclimatiques spécifiques. Ainsi, nous pouvons vérifier si le comportement réactionnel dans l'espace des usagers change en fonction des variations des caractéristiques physiques de l'enveloppe du bâtiment.

Structure du mémoire

L'introduction générale comporte la problématique, les hypothèses, les objectifs ainsi que la méthodologie de recherche.

- la première partie est théorique, elle consiste en la compréhension des différents concepts et notions clés liés à notre recherche, elle découlera d'une recherche bibliographique et sera répartie en trois chapitres. Le but de cette partie est de pouvoir cerner et comprendre le pourquoi et le comment des choses à travers la définition des éléments théoriques de base qui contribueront à la canalisation de la présente recherche vers les objectifs ciblés. Les deux premiers chapitres comprendront des notions sur le changement climatique et les risques liés au réchauffement climatique, la problématique énergétique mondiale, des définitions des notions sur les éléments du climat qui peuvent agir sur le bâtiment de manière positive ou négative ainsi que des rappels sur l'énergétique du bâtiment et le confort thermique. Quant au troisième chapitre, il aborde la solution envisagée qui est celle de l'intégration du concept bioclimatique dans la conception et la rénovation des bâtiments tertiaires en définissant les différents types de systèmes passifs qu'on peut utiliser.

- la deuxième partie intégrant deux chapitres consiste en une phase d'expérimentation, une campagne de mesures effectuées sur terrain (température, humidité relatives de l'air et vitesse du vent) ainsi qu'une enquête sur le confort des usagers. Le deuxième chapitre est une interprétation et comparaison des résultats dont le but est d'évaluer les performances thermiques du bâtiment existant. Des recommandations seront établies afin de promouvoir l'utilisation du concept bioclimatique dans les bâtiments tertiaires existants

- La conclusion générale expose les conclusions tirées de ce travail, les difficultés de validation de notre méthode et ses perspectives. (Fig.1).

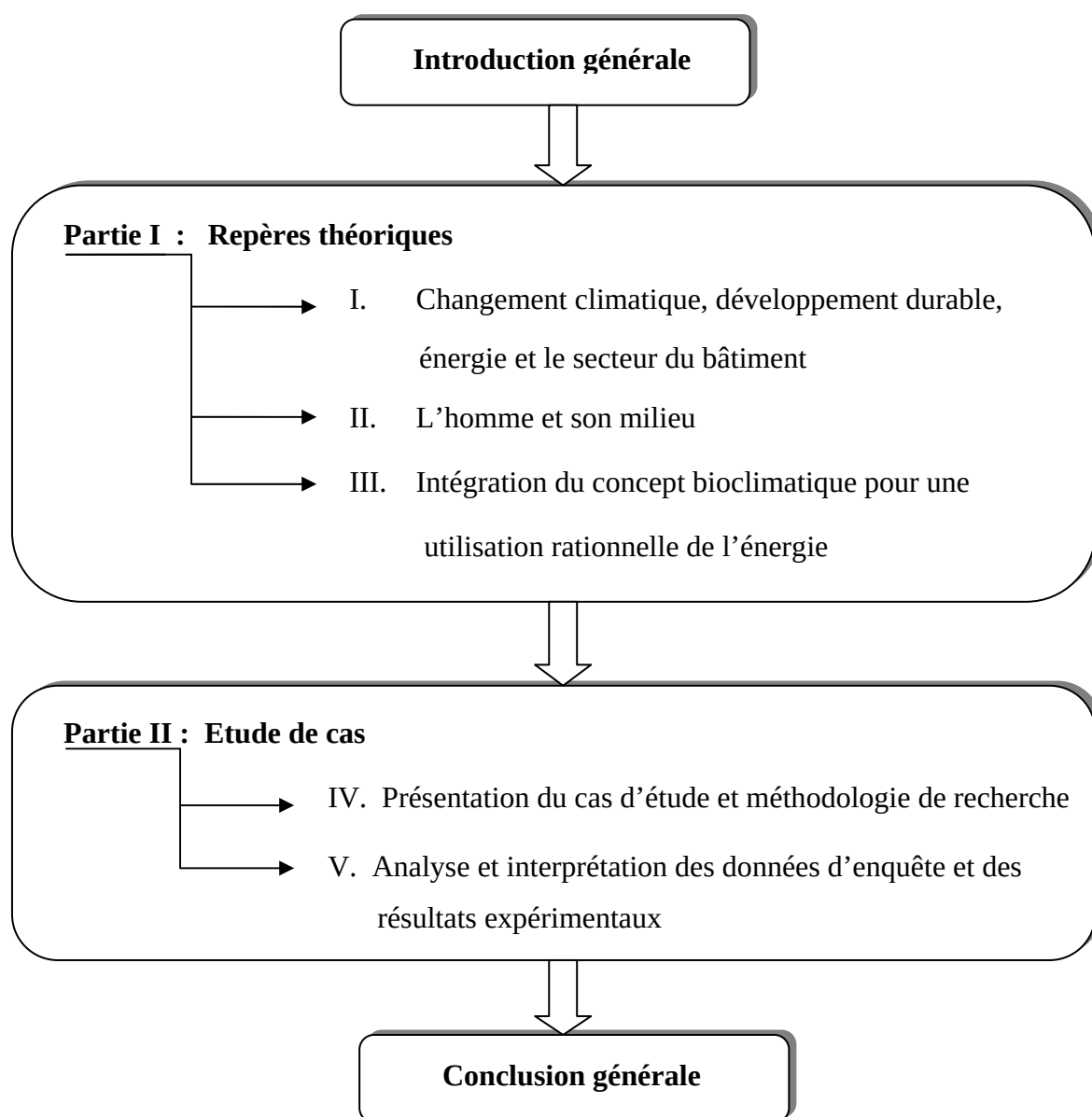


Figure 1 : Structure du mémoire

I - Changement climatique, développement durable, énergie et le secteur du bâtiment

I.1. Introduction

Au fil du temps, la population mondiale croissante a changé la face du monde en édifiant des zones urbaines, en transformant des milieux sauvages en terres agricoles, en construisant des usines, en fabriquant des moyens de locomotion de plus en plus rapides et autres.

Cette activité industrielle nécessaire pour assurer un confort et une certaine qualité de vie pour l'humanité a quelques revers. D'une part, la consommation en énergie qui devient de plus en plus importante, sera avec le temps difficile à satisfaire vu que l'essentiel de cette énergie s'articule autour de la consommation de combustibles fossiles qui sont en quantité limitée dans la nature. D'autre part, certains gaz et autres rejets de ces activités polluent l'environnement, soit de façon directe (mauvaise qualité de l'air) ou indirecte (accentuation de l'effet de serre) et peuvent alors être à l'origine de changements climatiques ou de problèmes de santé chez les humains.

“Dans certaines parties du monde, et notamment depuis le milieu des années 50, la croissance et le développement ont permis d'améliorer nettement le niveau de vie et la qualité de vie. Nombre des produits et des techniques qui ont contribué à ces améliorations sont intensifs en ressources et en énergie, et aussi générateurs de pollution. Les effets sur l'environnement n'ont jamais été aussi importants”...¹

Ce sont les termes utilisés dans le Rapport Brundtland lorsqu'il a abordé la question de la croissance et des risques pour l'avenir. (Brundtland G.H., 1987).

Les nombreuses observations telles que les catastrophes naturelles qui ont touché toutes les régions du globe, la hausse de la température moyenne de la planète, l'augmentation du niveau de la mer, ... indiquent, effectivement, que le climat de la planète a changé. La cause principale de ce changement climatique est, le réchauffement de la planète qui est imputée à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Une forte proportion de ces gaz d'origine anthropique est le résultat d'activités qui requièrent la combustion de combustibles fossiles, comme la conduite d'automobiles et la production d'électricité.

Un certain nombre de conférences intergouvernementales consacrées aux changements climatiques ont eu lieu à la fin des années 1980 et au début des années 1990. S'ajoutant à des éléments de preuves scientifiques de plus en plus nombreux, ces conférences ont contribué à sensibiliser la communauté internationale.

¹ Rapport Brundtland

Une prise de conscience accrue des problèmes environnementaux provoqués par l'activité humaine à l'échelle de la planète s'est alors peu à peu développée.

Le développement ne doit plus exister au détriment de la nature mais en accord avec elle, comme le dit Sabine RABOURDIN : « Ce n'est pas le développement qui doit être durable, c'est l'humanité et la nature ». (Rabourdin S., 2007).

Le concept de développement durable est un modèle de développement qui a pour but la satisfaction des besoins fondamentaux de l'humanité (produits industriels, énergie, nourriture, transport, abri...) et la gestion rationnelle et efficace des ressources, tout en conservant et protégeant la qualité environnementale. Ce Concept, appliqué à la conception, à la construction, et à l'exploitation des bâtiments, peut augmenter le bien-être économique et la santé environnementale des communautés.

Dans ce chapitre, nous proposons en premier lieu une approche générale sur cette notion, multidisciplinaire et conceptuelle. Ensuite, nous appréhenderons le domaine de la consommation énergétique qui reste une des principales causes de l'émission des gaz à effet de serre donc du réchauffement climatique en recentrant nos ambitions sur le domaine de l'architecture, afin de pouvoir préciser les problématiques soulevées.

I.2. Le changement climatique

I.2.1. Définition

L'irrégularité des saisons d'une année à l'autre montre que le climat est naturellement variable. Cette variabilité est considérée comme étant normale ; elle est due à certains facteurs naturels tels que : les fluctuations des courants océaniques, les éruptions volcaniques, le rayonnement solaire etc...Mais depuis quelques années un certain nombre d'indicateurs et d'études montrent que le climat se réchauffe de façon inquiétante à l'échelle du globe et ceci incombe principalement aux différentes activités humaines.

Le changement climatique correspond à une modification durable des paramètres statiques du climat global de la terre ou de ses divers climats régionaux due à des processus intrinsèques à la terre, à des forces extérieures ou, plus récemment aux activités humaines. Le terme « changement climatique » dans le contexte de la politique écologique ne correspond qu'aux changements du climat actuel, apparus au 20^{ème} siècle et attendus pour le 21^{ème} siècle. (GIEC, 2007).

I.2.2. L'effet de serre et ses conséquences

L'effet de serre est avant tout un phénomène naturel grâce auquel la température moyenne à la surface du globe est voisine de 15°C , alors qu'elle serait de près de -18°C s'il n'y avait pas d'atmosphère. Ce dernier agit comme la vitre d'une serre, relativement transparente au rayonnement du soleil, elle piège le rayonnement infrarouge d'origine thermique qui est émis par la terre vers l'espace entraînant ainsi le réchauffement de la surface (**figure 02**).

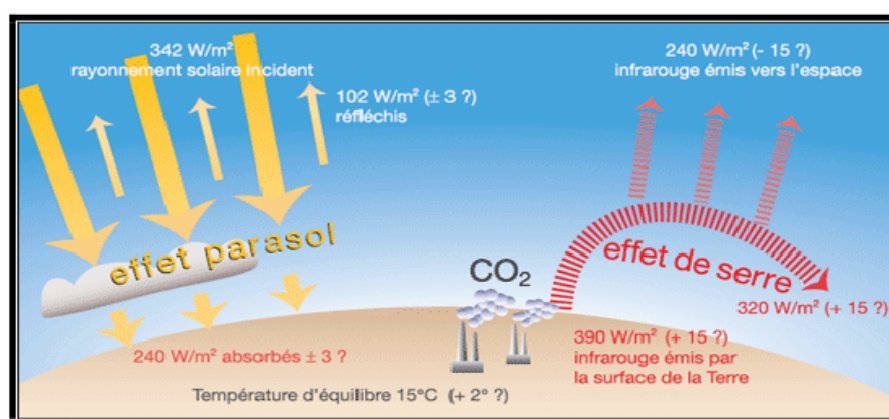


Figure 02 - Le bilan radiatif et sa perturbation anthropique
 Estimation de l'impact de l'effet de serre et l'effet parasol sur le bilan énergétique de la terre.
 Source : (CNES, 2006)

C'est en particulier certains gaz qui composent naturellement l'atmosphère (**figure 03**) tels que la vapeur d'eau contenue dans l'air, même en dehors des zones nuageuses, et le gaz carbonique (CO_2) qui sont en partie responsables de l'absorption du rayonnement infrarouge. Leur concentration dans l'atmosphère s'est sensiblement modifiée du fait de l'activité humaine, car les gaz résultants de la combustion du pétrole, du charbon et du gaz, le méthane produit par l'agriculture, les gaz fluorés issus de la climatisation des bâtiments et des voitures provoquent des changements climatiques et la modification de la composition de l'atmosphère.

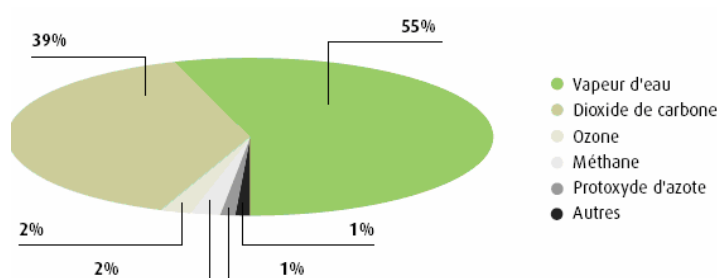


Figure 03 - Les gaz à effet de serre naturels
 Source : (Agence internationale de l'énergie, 2000)

A l'heure actuelle, selon la communauté scientifique internationale, l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre d'origine humaine dans l'atmosphère est la seule hypothèse pouvant expliquer de manière crédible les changements climatiques actuels. (Hugel B., 2002).

En 2000, 72% des émissions de gaz à effet de serre (GES) méditerranéennes étaient imputables au CO₂ lié à l'utilisation d'énergie ; 77% dans les PNM et 64% dans les PSEM (**figure 04**).

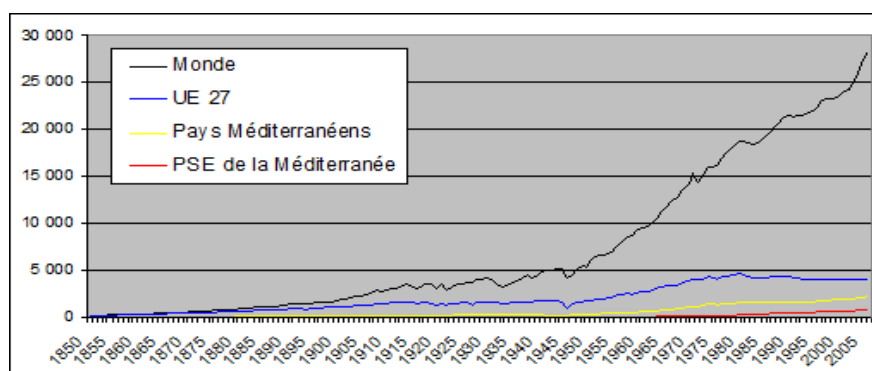


Figure 04 - Emissions historiques de dioxyde de carbone (millions de T) liées à l'utilisation d'énergie de 1850 à 2005,

Source : Calculs Plan Bleu d'après les données WRI CAIT et autres sources.

En effet, l'humanité, par ses activités, émet dans l'atmosphère 42 milliards de tonnes de dioxyde de carbone équivalent (GTCO₂-eq)² par an. Si les émissions de gaz à effet de serre (GES) continuent à croître au rythme actuel, la concentration en CO₂-eq³ pourrait atteindre 560 ppm (partie par million)⁴ dès 2035, alors qu'elle n'était que de 280 ppm au début de la révolution industrielle. (Working Group II, 2007).

	Pays Annexe I ⁶		Pays non Annexe I ⁷	
	OCDE	Autres	Emergents	Afrique
Population (millions)	995 200	280 000	4 273 050	852 170
Croissance population (t.c.a.m.)	0,4%	- 0,4%	1,3%	2,3%
PIBppa (milliards \$2000)	26 960	2 643	21 145	2 379
PIBppa/habitant (\$US 2000)	27 090	9 440	4 950	2 790
Emissions GES (GT CO ₂ -eq)	15,1	4,1	19,5	3,3
Emissions GES/hab. (tCO ₂ -eq/h)	15,2	14,5	4,6	3,8
Emissions GES/PIB (k CO ₂ -eq/\$)	0,56	1,54	0,92	1,37

Tableau 01 - Emission de GES, population et PIB par région du monde (Année 2004-Total : 41,9 GT CO₂-eq).

Source : d'après IPCC WG III Summary for policymakers-Mai 2007.

² D'après IPCC (GIEC) WG III Climate Change 2007 : Mitigation of Climate Change. Summary for Policymakers. Les valeurs sont celles de l'année 2004. La répartition entre régions du monde est celle du GIEC.

³ CO₂-eq : Quantité équivalente de dioxyde de carbone en pondérant l'ensemble des gaz à effet de serre (GES).

⁴ D'après Stern, *Review on the economics of climate change* (2006).

La moitié de ces émissions sont imputables aux « pays riches », et l'autre moitié aux « pays pauvres et émergents », alors que tout les différencie comme le montre le tableau 01 ci-dessous.

Selon le quatrième rapport d'évaluation du GIEC⁵ en 2007, la période entre 1995 et 2006 figure parmi les années les plus chaudes jamais enregistrées depuis que les températures de la surface du globe sont mesurées en 1850. Pendant cette période la température moyenne de la planète a augmenté de 0,74°C, alors que le niveau moyen de la mer a augmenté de 17 cm au cours du 20^{ème} siècle. D'ici la fin du 21^{ème}, le réchauffement global moyen en surface se situera entre 1,8°C et 4°C et l'évolution du niveau des océans entre 180 et 590 mm. (Working Group 1, 2007).

Afin de stabiliser la concentration des GES à 550 ppm CO₂-eq vers la fin du 21^{ème} siècle, les pays de l'Annexe 1, surtout ceux de l'OCDE doivent « diminuer » leurs émissions, au moment où les pays en développement doivent « éviter » l'émission des GES. (Working Group II, 2007).

1.2.3. Le changement climatique dans les pays méditerranéens

La méditerranée a été recensée par le 4^{ème} rapport du GIEC⁶ comme l'une des régions du monde dans lesquelles le réchauffement climatique devrait marquer le plus l'environnement et les activités humaines. Les zones méditerranéennes les plus vulnérables seront celles de l'Afrique du Nord voisines des zones désertiques, les grands deltas (ceux du Nil, du Pô et du Rhône notamment), les zones côtières (rive Nord comme rive Sud du bassin) ainsi que les zones à forte croissance démographique (rive Sud et Est, villes denses et banlieues). (GIEC, 2007).

Les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM) apparaissent plus vulnérables au changement climatique que ceux de la rive Nord (PNM). Depuis les années 70, le Sud-ouest de l'Europe (péninsule ibérique, sud de la France) ainsi que le nord de l'Afrique ont connu un réchauffement de près de 2°C. (Antipolis S., 2008)(I)

Pour les pays de l'Europe du Sud de la région méditerranéenne, les spécialistes prévoient pour le 21^{ème} siècle :

- Une augmentation de la température de l'air de 2,2 °C à 5,1 °C sur la période 2080 – 2099 par rapport à la période 1980 – 1999 (GIEC, 2007).

⁵ Groupe intergouvernemental d'expert sur l'évolution du climat mis en place en 1988, chargé d'évaluer les changements du climat

⁶ Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

- Une baisse sensible de la pluviométrie, comprise entre -4 et -27 %
- Une augmentation des périodes de sécheresse se traduisant par une fréquence élevée des jours au cours desquels la température dépasserait 30 °C. Les événements extrêmes de type vagues de chaleur, sécheresses ou inondations pourraient être plus fréquents et violents.
- Une hausse du niveau de la mer qui, selon quelques études, pourrait être de l'ordre de 35 cm d'ici la fin du siècle. (Shobhakar D., 2005).

En Algérie, la grande variabilité des éléments du climat rend plus difficile la détection d'un changement climatique. Néanmoins on constate (Mezred M., 1997) :

- Une baisse des précipitations depuis l'année 1975.
- les températures ont tendance à augmentées depuis plus de deux décennies sur la partie nord de l'Algérie.
- Le réchauffement a été de l'ordre de 0.5°C;
- La pluviométrie a baissé en moyenne de 10%.
- Une accélération de la désertification.

En ce qui concerne l'émission de gaz à effet de serre, on a les données suivantes : sachant que la population de l'Algérie était estimée en 1994 à 26 743 075 habitants, on a en moyenne 3,92 TE-CO₂/hab dont 2,84 t de CO₂ / habitant. L'absorption est de 0,16 t de CO₂ / habitant. L'émission de gaz à effet de serre en Algérie à été estimé en 1994 à 75870Gr (Giga grammes) de CO₂ en émissions brutes, 914 Gg de CH₄ et 31 Gg de N₂O et la séquestration du CO₂ par les forêts est de l'ordre de 4331 Gg. (Ministère, 2001).

I.3. Les conférences internationales sur le climat

Pour stabiliser la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, les émissions devraient cesser d'augmenter et ensuite diminuer. Ceci demandera des investissements à l'échelle planétaire notamment dans les technologies d'atténuation et la recherche de nouvelles sources d'énergie. L'ensemble des pays de la planète ont accepté le principe d'une réaction internationale face au risque du changement climatique.

Lors des conférences internationales les pays se sont divisés essentiellement en deux groupes, le premier constitue les pays de l'OCDE qui seront soumis à la réduction des gaz à effet de serre, le deuxième constitue les pays en voie de développement

(G77+Chine) qui ne sont soumis à aucun effort de réduction. (Dubois A. et Dubois P., 2008).

I.3.1. La Convention Climat de Rio (1992)

Le processus international actuel de lutte contre l'effet de serre s'est construit au Sommet de la terre à Rio de Janeiro en 1992 ; la convention sur les changements climatiques sera adoptée par 175 Etats. L'objectif de la convention de Rio est défini dans l'article 2 « *stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique* ». Les pays signataires doivent se rencontrer périodiquement⁷ afin de négocier les objectifs à atteindre et les moyens à mettre en œuvre.

I.3.2. Le protocole de Kyoto de 1997

La conférence de Kyoto a abouti à l'adoption d'un protocole le 10 décembre 1997, qui prévoit de commencer à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le taux moyen de réduction consenti pour les principaux pays industrialisés est de - 5,2 % des émissions par rapport à leur niveau de 1990. Simultanément aux quotas de réduction, un groupe de pays conduit par les Etats Unis fit admettre la nécessité d'un recours à des « instruments de flexibilité », tels que les permis d'émission. A partir de la conférence de Kyoto en 1997, chaque pays obtient un droit à émettre une certaine quantité de carbone. Un marché des droits à polluer se développe de manière concurrente au niveau des pays.

I.3.3. Les accords de Marrakech : octobre 2001

La conférence de Marrakech a permis de réaffirmer la solidarité européenne concernant la mise en œuvre du protocole de Kyoto. Il définit principalement le calcul des émissions et leurs réductions, l'intégration des puits dans les objectifs de réduction, les modalités et missions du système d'observance et les règles d'éligibilité des mécanismes. Ce système d'observance qui sera régi par un comité ad hoc, constitue une première en matière d'environnement international. Les règles arrêtées à Marrakech prévoient aussi des moyens techniques et financiers importants en faveur des pays en développement.

⁷ Ces rencontres périodiques portent le nom de *Conference of the Parties* (COP)

I.4. Consensus international

Les enjeux liés à la diminution des gaz à effet de serre opposent les nations entre elles. Plusieurs coalitions de pays aux intérêts disparates sont apparues lors des conférences internationales sur le climat. Le GIEC, qui a pour rôle l'évaluation des données disponibles sur l'évolution du climat, ses incidences écologiques et socio-économiques, les possibilités d'adaptation aux changements attendus et les moyens d'atténuer leurs effets, a été mis en place par l'OMM⁸ et le PNUE⁹ en 1988. (Hugel B., 2002)

Le Protocole de Kyoto sur les changements climatiques a engagé les états signataires à réduire leurs gaz à effet de serre d'au moins 5,2 % par rapport à l'année 1990 durant la période de 2008-2012. (IEPF, 1999).

A l'issue des négociations de Kyoto, lors de sa troisième conférence en 1997 des quotas de réduction des émissions qui tiennent compte des particularités de chaque pays ont été fixés. En partant du fait que 85% des émissions de gaz à effet de serre dans les pays du Nord trouvent leur origine dans l'utilisation de l'énergie, et que les émissions des pays du Sud seront aussi importantes que celles du Nord au premier tiers du siècle prochain, il est alors indispensable et urgent de mettre en œuvre et de renforcer des politiques de maîtrise de l'énergie. (IEPF, 1999).

Les pays industrialisés ou les pays riches sont les plus grands émetteurs de gaz à effet de serre, en effet ils représentent à eux seuls 75% des émissions mondiales.

Les émissions mondiales augmenteront de 50% d'ici 2030, et les émissions des pays en développement dépasseront celles des pays de l'OCDE pendant les années 2020 (**figure 05**). (Labeyrie J., 1985)

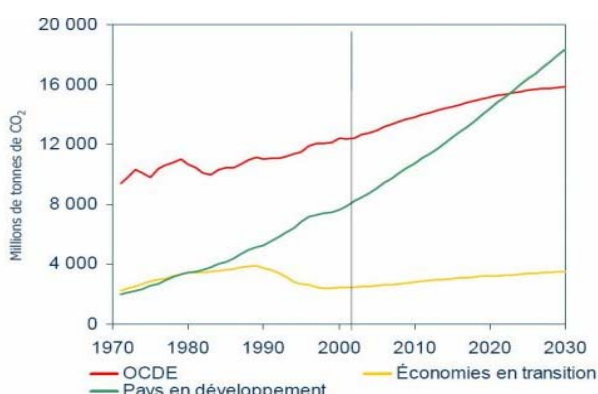


Figure 05 - Emission de dioxyde de carbone (CO₂) imputable au secteur énergétique

Source : (Argiri, M. 2006)

⁸ Organisation Météorologique Mondiale

⁹ Programme des Nations Unies pour l'Environnement

De ce fait certains pays ont été soumis à la limitation des émissions de gaz à effet de serre. Ce sont :

- L'Union européenne qui s'est fortement engagée en faveur d'une limitation au moyen d'une politique nationale.
- Le JUSCANNZ¹⁰ regroupe les pays développés, non-membres de la Communauté européenne. Favorables à une mise en place de réductions dans le cadre souple d'un marché international de permis d'émission, ils demandent néanmoins aux gros émetteurs moins développés de participer aux engagements de limitations.
- Les économies en transition comme la Russie ou l'Ukraine qui après avoir vu leurs émissions de CO₂ chuter à cause de l'effondrement de l'industrie veulent vendre leurs droits d'émission et tirer ainsi profit de la mise en place de permis négociables, chose que les ONG dénoncent et refusent puisque le résultat serait un gain financier pour la Russie sans aucun progrès concernant l'effet de serre, puisqu'ils permettent à d'autres Etats de différer leurs nécessaires réductions d'émissions.

Par contre, les pays en voie de développement de par leur grande majorité pauvre n'ont ni les moyens politiques, ni les ressources financières et technique pour contrôler l'augmentation de leur émission, de plus ils demandent que ce soit les pays développés de par leur niveau élevé d'émission qui doivent faire les premiers efforts. L'Argentine, le Brésil, l'Inde, l'Indonésie et la Russie sont responsables à eux seuls de 70 % des rejets de CO₂ des Etats ne faisant pas partie de l'OCDE, alors que l'Inde et la Chine voient leur émission augmenter proportionnellement à la croissance de leur industrie et leur démographie. (Labeyrie J., 1985).

Pour répondre au problème du changement climatique et donc à l'émission des gaz à effet de serre, tous les aspects de la vie humaine sont remis en question et en particulier les modes de production et d'utilisation de l'énergie. La grande question est de savoir comment concilier entre le progrès technique auquel nous sommes habitués, les besoins continuellement en augmentation de l'humanité et la préservation de l'environnement et du climat. En d'autres termes c'est de trouver comment réconcilier l'humanité et le climat. (Wallis V., 2000)

Les actions à entreprendre pour arrêter le réchauffement climatique se résument comme suit : Amélioration des rendements énergétiques dans les bâtiments, les transports et les industries manufacturières, la conversion au gaz naturel pour

¹⁰ Japon, USA, Suisse, Canada, Australie, Norvège et Nouvelle Zélande

l'approvisionnement énergétique et l'utilisation d'énergies inépuisables (biomasse, l'énergie éolienne, l'énergie nucléaire ou hydroélectrique...), la minimisation de gaz fluoré et la réduction des émissions de méthane. (Deneux M., 2002).

I.5. Ressources énergétiques et leur consommation

I.5.1. Energies primaires

On entend par énergies primaires toute forme d'énergie disponible dans la nature avant toute transformation. Elles ne sont pas toujours utilisables directement et doivent, le plus souvent, être transformées avant d'être utilisées. Elles peuvent être classées selon trois groupes : les énergies fossiles¹¹, les énergies nucléaires¹² et les énergies renouvelables¹³.

Les énergies fossiles, sont issues de la matière vivante, végétale ou animale. Elles contiennent du carbone dont la combustion fournit de l'énergie et génère du gaz carbonique. Elles représentent à elles seules 88% de la consommation d'énergie primaire mondiale (**figure 06**) et 39% de l'électricité mondiale. (Hugel B., 2002).

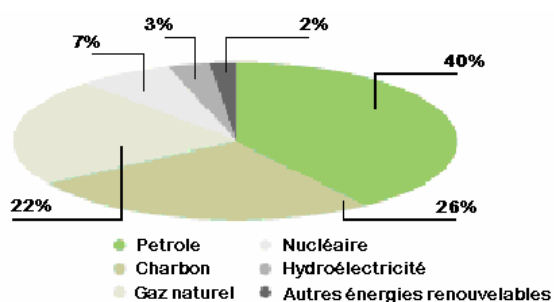


Figure 06 - Répartition des dépenses d'énergie primaire selon la source
Source : (Agence internationale de l'énergie, 2000)

Les énergies fossiles qui satisfont actuellement 90 % de la demande en énergies primaires constitueront encore dans les 50 prochaines années l'essentiel de l'approvisionnement énergétique mondial. Cette situation soulève des difficultés croissantes d'accès aux ressources (AIE, 2000), avec les tensions économiques et géopolitiques qui en résultent, et de production croissante de gaz à effet de serre, avec leur impact sur le risque de changement climatique.

En Algérie, la demande en énergie pourrait plus que doubler d'ici 2020, atteignant 60 millions de tep. Au regard de ces prévisions, le gisement d'économie

¹¹ Le charbon fossile, le gaz naturel, le pétrole, le méthane.

¹² Les réacteurs à fission, Les réacteurs surgénérateurs, les réacteurs à fusion d'hydrogène.

¹³ La biomasse, l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie géothermique, l'énergie hydraulique.

d'énergie se situerait autour de 20 millions de tep sur cette même période. (CRD/SH Boumerdes, 2001).

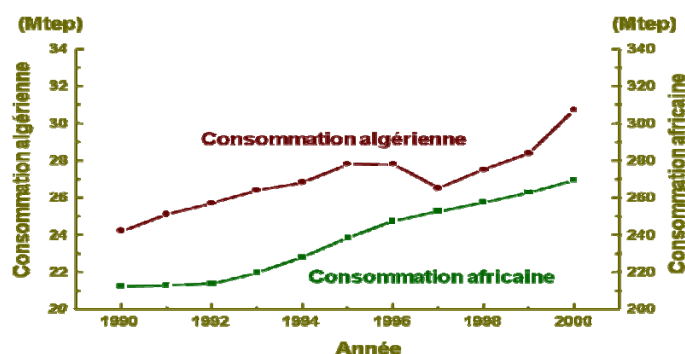


Figure 07 - consommation d'énergie primaire en Afrique et en Algérie
Source : (Stambouli A.B., 2006)

I.5.2. Energies finales

On appelle énergies finales les énergies qui sont utilisées par l'homme (gaz, électricité, fioul domestique, bois, etc.). Pour arriver à ces énergies, il aura fallu les extraire, les distribuer, les stocker, les produire, et donc dépenser plus d'énergie que celle utilisée en bout de course. C'est en fait l'énergie qui arrive chez le consommateur et qui lui est facturée.

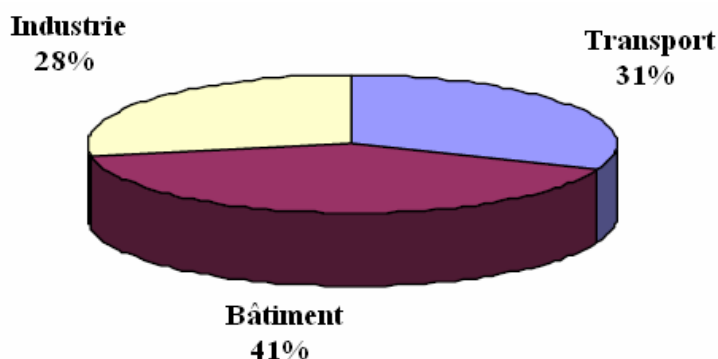


Figure 08: Monde : Energie finale par secteur (2004)
Source : (AIE, 2005)

La figure 08 montre que la consommation la plus importante est celle de l'ensemble Résidentiel et Tertiaire (41% en 2004). En effet les trois grands secteurs consommateurs sont l'industrie, les transports et le bâtiment (Résidentiels et tertiaire).

La consommation d'énergie dans les bâtiments touche en grande partie la période d'utilisation du bâtiment (chauffage, climatisation, cuisson, eau chaude sanitaire, appareils électroménagers, bureautique, etc.), mais aussi la construction et la fabrication des matériaux de construction.

I.6. La disponibilité des ressources énergétiques

Les experts ont estimés les réserves mondiales en énergies fossiles comme suit : Pétrole, environ 140 Gtep (milliards de tonnes équivalent pétrole), Gaz, environ 120 Gtep et Charbon, environ 510 Gtep. Afin d'évaluer la durée de consommation des réserves en énergies fossiles, la notion qui est couramment utilisée est le ratio entre celle-ci et la consommation d'une année donnée. Sur cette base nous avons : environ 50 ans pour le pétrole, 65 ans pour le gaz et environ 260 ans pour le charbon. (CRD/SH Boumerdes, 2001).

Le potentiel énergétique Algérien est constitué principalement d'hydrocarbures, d'uranium non exploité, de charbon en quantités très faibles et d'énergies renouvelables (essentiellement hydrauliques, solaires et géothermiques). (CRD/SH Boumerdes, 2001).

Les réserves récupérables de pétrole de l'Algérie sont estimées à 1.8 milliards de tonnes, ce qui correspond à une durée de vie de 25 ans sur la base de 1.4 millions de b/j¹⁴. Celles du gaz sont évaluées à 3100 milliards de m³. L'uranium, quant à lui, est estimé à 25 000 d'uranium métal, et enfin le charbon à 40 millions de tonnes. (Ministère, 2001).

En ce qui concerne les énergies renouvelables, de grandes possibilités existent, en particulier, pour l'énergie solaire (étant donné que la durée d'ensoleillement moyenne est de 3000 heures/an et une énergie reçue de 2000Kwh/m²/an), et l'énergie éolienne, compte tenu du nombre d'heures pendant lesquelles la vitesse du vent est supérieure à 3m/s. (CRD/SH Boumerdes, 2001)

I.7. La problématique énergétique

L'énergie est un élément qui intervient dans tous les actes quotidiens de l'homme d'une part (selon le premier principe de la thermodynamique, l'énergie se conserve et ne fait que se transformer d'une forme à une autre dans le temps) et demeure le moteur de pérennité de la civilisation d'autre part.

Notre besoin d'énergie pour assurer notre existence n'est certes plus à démontrer, mais lorsque l'on sait que la population mondiale est en constante augmentation (**figure 09**), il est normal de se poser certaines questions telles que:

- Pouvons-nous maintenir notre niveau actuel de consommation énergétique (pays riches) tout en préservant notre planète ?

¹⁴ Barils par jour

- Est-il nécessaire de consommer autant d'énergie pour bien vivre ? Peut-on consommer moins et mieux ?
- Tous les humains de la Terre peuvent-ils accéder à notre niveau de confort ?
- S'il s'avère nécessaire de changer de civilisation énergétique, comment réaliser les transitions ?

L'évolution continue de la population mondiale depuis le début de l'ère industrielle qui est passée de 3,5 milliards d'habitants en 1970 à 6 milliards en 2000, et qui sera de 8,1 milliards en 2020, de 10 milliards en 2050 puis de 12 milliards en 2100 et le désir de confort recherché par les différentes populations du monde ainsi que la forte progression du transport des personnes et des marchandises par la route dans les pays riches ont engendré une croissance considérable de la consommation d'énergie primaire qui a augmenté de 55% en 25 ans. (Andre P., Deliste C.E., Reveret J.P., 2003)

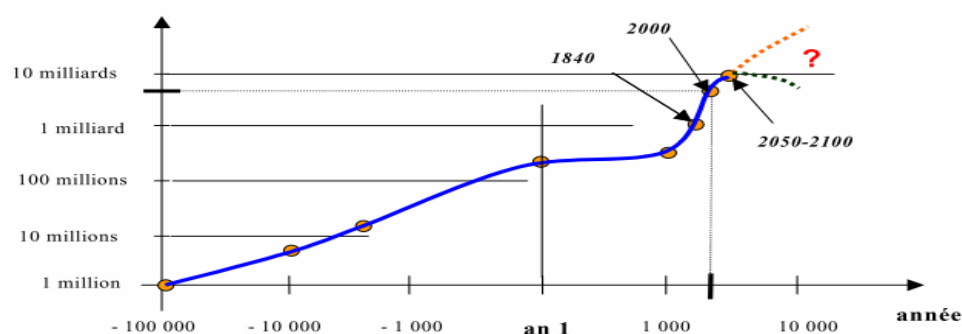


Figure 09 - Evolution de la population humaine sur la terre

Source : (Laurent M.H. et Salaün G, 2004)

La puissance moyenne des activités énergétiques humaines¹⁵ a atteint aujourd'hui 1/8000^{ème} de la puissance moyenne solaire qui entre dans l'atmosphère et qui nous est accessible (**figure 10**).

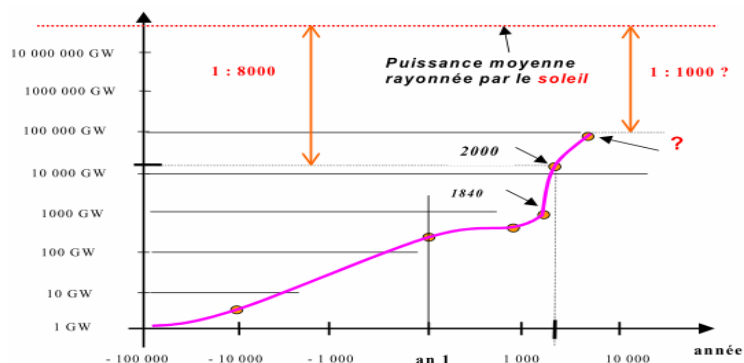


Figure 10 - Evolution de la puissance moyenne des activités énergétiques humaines

Source : (Laurent M.H. et Salaün G, 2004)

¹⁵ Est effectuée en divisant la quantité d'énergie manipulée annuellement par la durée d'un an

En imaginant que les 10 milliards d'êtres humains qui pourraient vivre prochainement sur la terre consomment autant d'énergie que chaque Américain aujourd'hui, l'humanité « manipulerait » l'équivalent de 1/1000^{ème} de l'énergie solaire interceptée par la terre. (Laurent M.H. et Salaün G, 2004).

Ainsi depuis 1989, la demande mondiale d'énergie progresse au taux de 0,5% par an, pour atteindre 8,3 milliards de tep en 1995, avec d'importantes disparités régionales.

En effet la consommation totale moyenne d'énergie (commerciale et non commerciale) par habitant varie grandement entre les pays développés et les pays en développement (**Tableau 02**). Actuellement la demande mondiale d'énergie croît de 2% en moyenne. (Meuri L., 1998).

Impacts intrinsèques			Impacts évitables	
	Plan mondial	Plan local	Plan mondial	Plan local
Combustibles				
Fossiles	CO ₂	Exploitation minière (surface)	Pluies acides	Pollution atmosphérique
Charbon			Pollution des océans	Pollution atmosphérique
Pétrole	CO ₂			Ressources en eau locales
Gaz	CO ₂		Gaz à effet de serre	
			Dus aux fuites des pipelines	
Hydro-électricité		Ecosystèmes aquatiques/concurrence avec les autres modes d'utilisation de l'eau		Ecosystèmes aquatiques/concurrence avec les autres modes d'utilisation de l'eau
Energie nucléaire	Non prolifération	Accidents, stabilité politique		Déchets radioactifs

Tableau 02 - Évolution de 1971 à 2006 de l'approvisionnement en énergie primaire

Source : (International Energy Agency, 2008)

Si le pétrole tient toujours un rôle central, son remplacement graduel par le gaz est déjà en cours. A long terme, le charbon et d'autres combustibles fossiles pourraient prendre le relais. En ce qui concerne son coût, il paraît peu probable que l'on puisse ramener le coût des autres sources d'énergie commerciale à un niveau qui leur permette de concurrencer les combustibles fossiles. Par conséquent, le cours normal des choses pourrait bien se caractériser par une dépendance durable vis-à-vis des combustibles fossiles. Puis dans un avenir plus lointain, une réorientation vers d'autres sources telles que l'énergie solaire. (AIE, 2008)

La production, la distribution et la consommation d'énergie produisent de nombreux impacts sur l'environnement, de gravité extrêmement variable. Certains d'entre eux sont inhérents au système, mais d'autres peuvent être évités par l'adoption de mesures techniques et structurelles appropriées.

L'énergie et la consommation énergétique sont devenus par conséquent les

principales préoccupations, comme l'ont montré les différentes crises qui se sont succédées depuis les années 1970.

I.8. Le concept de développement durable

I.8.1. Historique

Les préoccupations qui ont donné naissance au terme de « Développement durable » et à sa définition remontent à la conférence des Nations Unies de Stockholm sur l'environnement en juin 1972 qui précise dans son rapport "qu'il est nécessaire mais aussi possible de concevoir et de mettre en œuvre des stratégies de développement socio-économique équitables, respectueuses de l'environnement, appelées *stratégies d'écodéveloppement*". (Comélie L. et al. 2002).

Le terme « Développement durable » a été cité pour la première fois par l'union internationale de la conservation de la nature (UICN)¹⁶ en 1980, il est ensuite utilisé en 1987 dans les travaux de la commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED)¹⁷. La figure 11 montre l'évolution du concept tel qu'il a été proposé par Brodhag¹⁸. (Comélie L. et al. 2002).

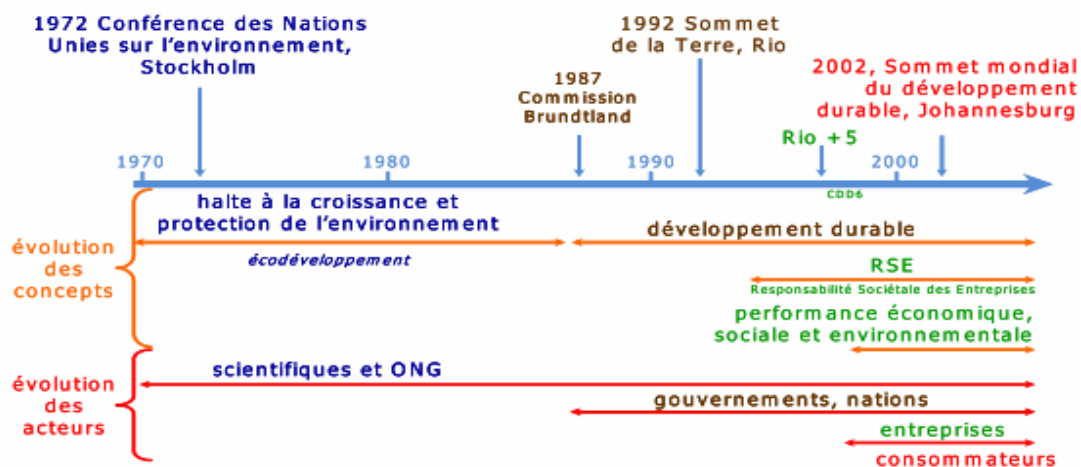


Figure 11 - Grandes dates du développement

Source : (Brodagh C., 2004)

D'autres nombreux débats mondiaux sur la biodiversité et l'effet de serre ont eu lieu, la conférence de Johannesburg a continué les actions entreprises, puis les conférences de Berlin en 1995 et de Genève en 1996, la conférence de Kyoto en 1997,

¹⁶ Dans son ouvrage "Stratégie mondiale de la conservation"

¹⁷ Généralement appelé rapport "Brundtland" du nom de sa présidente, Gro Harlem Brundtland

¹⁸ Délégué Interministériel au Développement Durable.

Buenos Aires en 1998, Bonn en 1999, La Haye en 2000, la conférence de Bonn en juillet 2001, la conférence de Marrakech en novembre 2001...L'objectif est d'impliquer progressivement des acteurs de plus en plus localement (le gouvernement, les régions, départements, les collectivités, les entreprises et enfin l'ensemble des habitants) à partir de réflexions intergouvernementales.

1.8.2. Définition

La définition proposée par le C.M.E.D est la suivante : « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. »¹⁹ . (CMED, 1988).

Le "Développement Durable" est la traduction française officielle du terme anglo-saxon "Sustainable Development", Il est souvent présenté comme la recherche d'un équilibre entre trois pôles : le social, l'environnemental et l'économique. Cette représentation correspond au modèle de Jacobs et Sadler cité par l'Agence Régionale Pour l'Environnement (ARPE 2001), inspirée de la théorie des ensembles et présenté ci-après. **(Figure 12).** (Cherqui F., 2005).

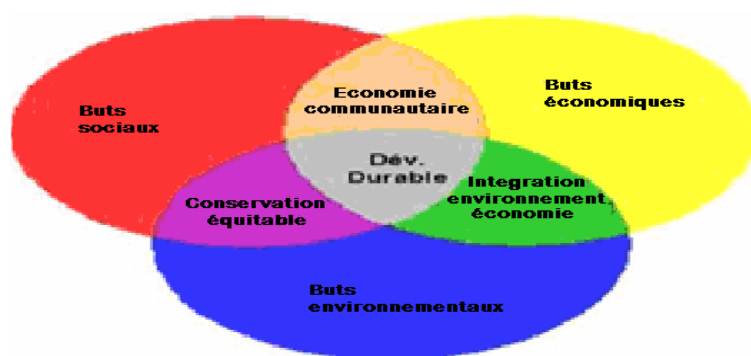


Figure 12 - Modèle de Jacobs et Sadler datant de 1990

Source : (ARPE, 2001)

Chacun des cercles définit un ensemble de buts qui justifient les actions humaines. Aucun des buts (écologique, économique ou social) ne doit être favorisé ou dévalué au détriment des autres.(Jollivet M.,2001).Cette représentation du développement durable s'est quelque peu modifiée par la suite en prenant en considération la dimension spatiale (échelon local ou mondial), temporelle (approche intergénérationnelle, passage du présent au futur) et de la sphère de l'action (domaine de l'éthique et du politique) **(figure 13).** (Brown L.R, 1992)

¹⁹ Rapport Brundtland, *Notre avenir à tous*, Montréal, Fleuve, 1987, p. 51.

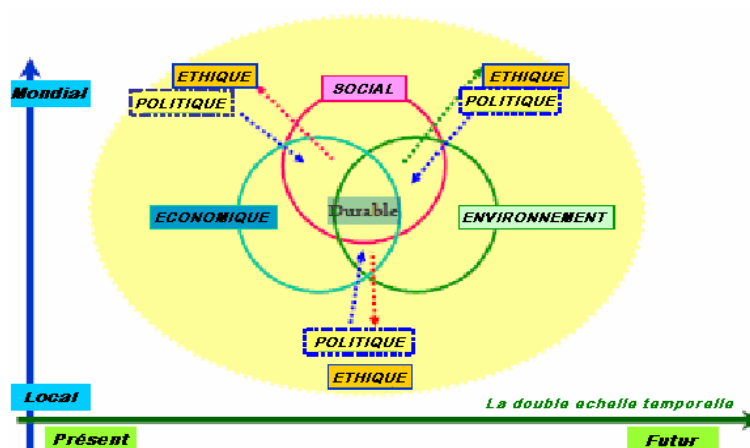


Figure 13 - Schéma du développement durable

Source : (Bourg D.Rayssac G.L., 2006)

Le concept de développement durable est ainsi associé à deux concepts : le concept de besoins (et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité) et le concept de limitations (l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose certaines limites sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir). (Brodhag C., 2004).

C'est le rapport Brundtland qui a permis de labelliser le concept de développement durable et de fournir une méthode d'approche intégrant les dimensions économique, écologique et sociale. (Bourg D.Rayssac G.L., 2006)

Faisant écho aux principes opérationnels proposés par Herman Daly²⁰ (1990), il précisera que le développement durable est un développement « *qui reposerait sur une utilisation modérée des ressources non renouvelables, un usage des ressources renouvelables respectant leur capacité de reproduction et une stricte limitation des rejets et déchets à ce qui peut être recyclé par les processus naturels* ». (Brown R. et Lester R., 2003)

L'entrée en vigueur du protocole de Kyoto, la promulgation de diverses lois et directives Européennes visant à limiter les consommations énergétiques et leurs effets sur l'environnement donnent ainsi toute sa légitimité au développement durable. (Garde F., 2001).

Le développement durable est vu comme une dynamique de croissance dont le but est de lier ensemble les trois dimensions constitutives d'un progrès qui exerce réellement au bénéfice de Tous :

²⁰ Né en 1938, c'est un économiste américain, professeur à la *School of Public Policy* de l'Université du Maryland qui a travaillé autour du concept de décroissance et qui oppose avec raison croissance et développement

- La dimension économique, puisque la création de richesses est la condition de l'amélioration continue de nos conditions de vie :
- La dimension sociale, puisque cette croissance n'a de sens que si elle est mise au service d'une vision largement partagée de l'homme et de la société :
- La dimension environnementale, afin de ne pas compromettre la qualité de vie et l'accès aux ressources des générations à venir.

I.9. L'énergie et le développement durable

Le pétrole a été prépondérant pendant plus de trois quarts de siècles, mais a connu un déclin depuis les années 70 au profit d'une source nouvelle qui est « l'énergie nucléaire », qui a été mise en œuvre pendant près d'un quart de siècle avant de connaître un déclin inexorable. (CRD/SH Boumerdes, 2001).

Le sommet de Johannesburg reconnaît explicitement la place privilégiée de l'énergie dans la construction d'un développement humain durable, en en faisant l'une des principales composantes de l'initiative WEHAB²¹, ses liens étroits avec toutes les activités qui concourent au développement économique et social et son impact sur l'équilibre écologique actuel et futur. En effet toutes les activités humaines, et notamment celles qui concourent au développement économique et social, font appel à l'énergie. Elle est le moteur de l'industrie qui absorbe aujourd'hui 30 % de la consommation mondiale. Les activités de service (commerces, écoles, bureaux, hôtels, etc.) comme le secteur résidentiel, utilisent abondamment l'énergie pour répondre à leurs multiples besoins (éclairage, cuisson, eau chaude, chauffage, climatisation, audiovisuel, réfrigération et autres électroménagers).

Notre utilisation irrationnelle des ressources de notre planète, la recherche d'un confort ou d'un cadre de vie sans cesse en augmentation ainsi que la généralisation des moyens de climatisation et de refroidissement à tous les pays et à tous les climats sont en grande partie à l'origine du dérèglement climatique, responsables des catastrophes que nous vivons ces dernières années, de plus les ressources naturelles de notre planète s'épuisent petit à petit, conduisant l'humanité à une situation alarmante.

À long terme, la croissance de la consommation énergétique dans les pays du Nord et sa très rapide croissance dans les pays du Sud, s'adressant à des ressources non

²¹ L'initiative WEHAB concerne les cinq domaines thématiques, l'eau (Water), l'énergie (Energy), la Santé (Health), l'agriculture (Agriculture) et la Biodiversité (Biodiversity), sur lesquels il a été décidé de concentrer les efforts de la Communauté internationale pour la relance de la mise en œuvre de l'Agenda.

renouvelables, devraient conduire à des difficultés d'approvisionnement. En dégradant les ressources naturelles de notre planète, ce sont les ressources de notre développement que nous dégradons. En effet favoriser le développement durable, c'est réintroduire le long terme. (IEPF, 1999).

Partant de cette vision de l'avenir, il est tout à fait normal que la relance de la maîtrise de l'énergie soit au cœur des préoccupations mondiales traduites par les engagements pris par la communauté internationale de Kyoto qui prévoit une réduction impérative des gaz à effet de serre à l'horizon 2010.

Le développement durable se doit de concilier deux exigences :

- La satisfaction des besoins énergétiques actuels, liés au confort et au développement économique.
- La préservation des ressources énergétiques pour les générations futures ainsi que la préservation de l'environnement.

La satisfaction des besoins implique une consommation d'énergie, économe et solidaire et l'implication de tous dans la mise en œuvre des politiques énergétiques. Les nouveaux piliers du développement durable prendraient désormais la forme suivante : **(Figure 14).**

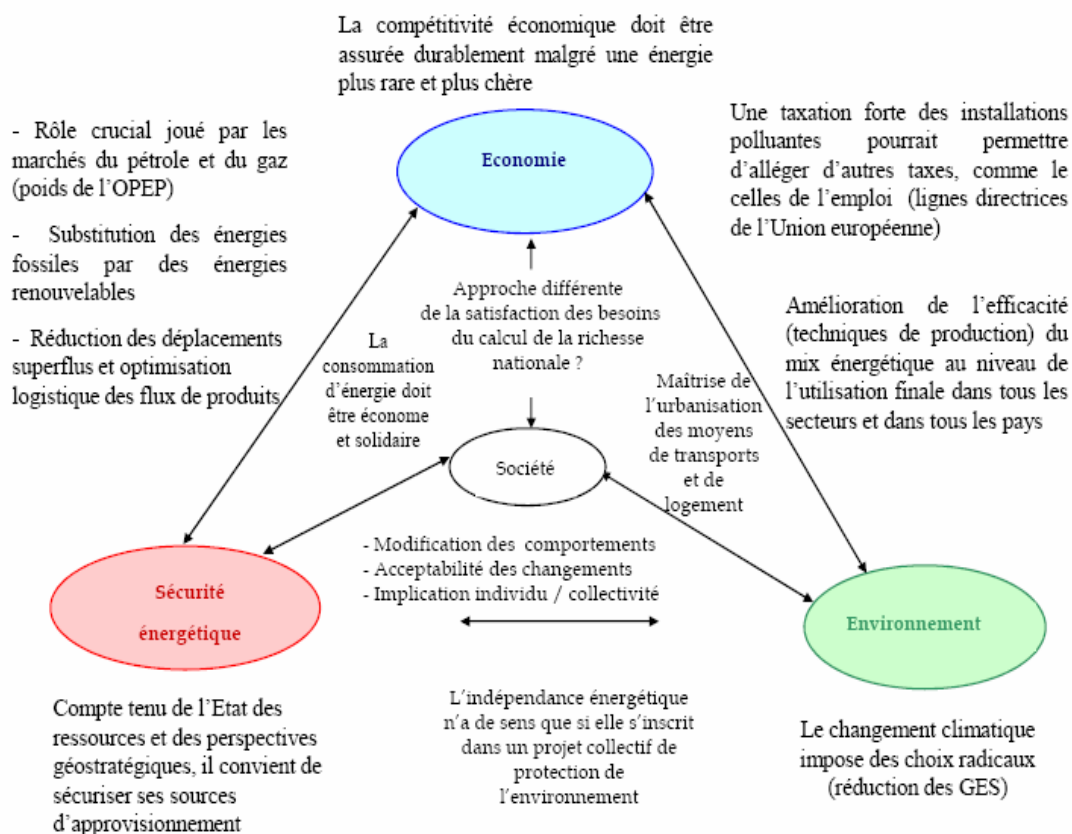


Figure 14 - Schéma représentant les piliers du développement durable
Source : (Diemer A., 2009)

Un développement énergétique durable implique donc trois priorités :

- mener une politique active d'économies d'énergie ;
- développer l'utilisation des énergies renouvelables non productrices de dioxyde de carbone (CO₂) ;
- rechercher de nouvelles sources d'énergie permettant une plus grande efficacité et une indépendance optimale du pays tout en permettant une sécurité d'utilisation et des impacts sur l'environnement acceptables.

Pour assurer un développement durable de notre planète, on ne peut échapper à une nouvelle inflexion des politiques énergétiques en laissant une place importante à la lutte contre le changement climatique.

I.10. Les perspectives énergétiques

La révolution industrielle a provoqué un besoin considérable en énergie, ce qui a fait tourner l'homme vers l'utilisation des énergies fossiles qui étaient disponible en grande quantité dans la nature en occultant le fait que l'extraction, le traitement, la distribution et l'utilisation des ces combustibles ont de grandes incidences sur l'environnement et que leur épuisement est inévitable. Les besoins en énergie, à l'heure actuelle, dépendent fortement des systèmes fondés sur les combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon) lesquels représentent près de 80% de la consommation mondiale totale.

L'Algérie s'implique dans l'effort mondial d'atténuation des émissions des gaz à effet de serre par la prise de mesures effectives dans les secteurs de l'énergie, de l'industrie, des transports et des déchets qui sont les plus gros émetteurs et aussi les secteurs clés de l'économie nationale. Des actions et initiatives sont entreprises dans chaque secteur d'activités pour assurer la croissance économique, la protection et la sauvegarde de l'environnement et des ressources. Les mesures d'atténuation concernent principalement l'utilisation de l'énergie, l'industrie et les transports.

Les orientations du secteur de l'énergie portent sur le développement des énergies renouvelables, l'utilisation des énergies les moins polluantes, l'économie d'énergie, l'efficacité énergétique et le management environnemental.

La politique énergétique préconise l'accroissement de la contribution des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national. L'objectif est d'atteindre une contribution des énergies renouvelables de l'ordre de 6% dans le bilan national à l'horizon 2015 à travers les filières, photovoltaïques, thermique solaire et éolienne.

Parmi les réformes engagées dans le secteur énergétique, l'adaptation du cadre institutionnel de la maîtrise de l'énergie à la nouvelle donne économique et politique est une des priorités fixées par le gouvernement algérien. Celui-ci a confié à l'APRUE et au CIME la mise en place d'une stratégie nationale de maîtrise de l'énergie.

I.11. L'utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment au service du développement durable

Le secteur du bâtiment est l'un des plus grands consommateurs d'énergie avec environ 45% de l'énergie globale d'un pays industrialisé tout usage confondu. 80% de cette énergie est consommée au cours de la vie du bâtiment, il est donc responsable des principales émissions de gaz à effet de serre (25 à 30% des émissions de CO₂), il est placé devant le secteur des transports.

L'augmentation continue de l'utilisation des énergies dans le bâtiment au cours des prochaines années en raison de la croissance des exigences en matière de confort, plus particulièrement pour la hausse de la température à l'intérieur des bâtiments en hiver et le développement de la climatisation en été, ainsi que le recours à l'éclairage artificiel surtout dans les immeubles de bureaux, a conduit à la mise en place d'actions spécifiquement destinées à alléger la consommation d'énergie dans le bâti.

La construction, mais surtout l'exploitation du bâtiment, entraîne la consommation de près de la moitié de l'énergie produite dans le monde. En effet, Un bâtiment comprend un ensemble complexe de composants, consommateurs d'énergie tels que, l'éclairage, le chauffage, la climatisation ou la production d'eau chaude sanitaire. En plus, un bâtiment mal isolé entraîne des déperditions importantes qui impliquent des consommations d'énergie considérables. L'éclairage aussi représente une source de consommation conséquente. Comme il est montré dans la figure 15 un adulte passe sept huitième de son temps à l'intérieur d'ouvrages construits.

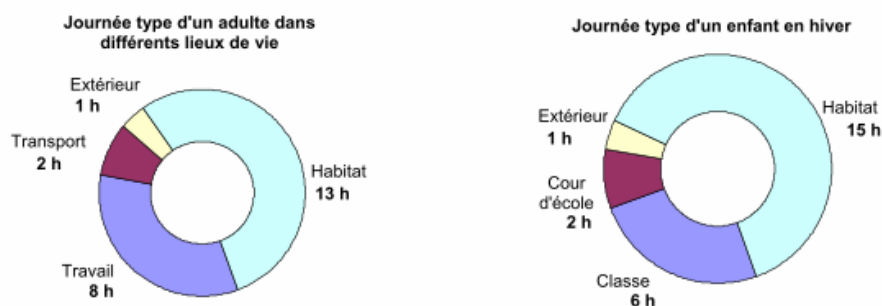


Figure 15 - Temps passé à l'intérieur d'un bâtiment
Source : Observatoire de la qualité de l'air intérieur CSTB

Les inquiétudes engendrées par la problématique énergétique ont entraîné depuis 1973, des actions de maîtrise de l'énergie, notamment la mise en place et les renforcements successifs de la réglementation thermique, qui ont surtout visé le chauffage et l'isolation qui tendent à réduire de plus d'un tiers les consommations du bâtiment. En hiver, par exemple, la température intérieure se définit comme un équilibre entre un confort relatif²² suffisant (ne nécessitant pas de vêtement d'extérieur) et une gestion efficace de l'énergie.

Paradoxalement, construire de façon durable est un problème d'actualité et non un problème ancien, principalement car la construction n'est plus à l'échelle de l'individu. La solution n'est bien évidemment pas de revenir à des mesures anciennes ; mais elle passe par une redécouverte holistique de l'échelle de la vie humaine : réseaux de transport, architecture, aspects sociaux, etc. Appliquer le développement durable à la construction signifie la prise en compte globale de ses trois facettes (économie, écologie et société). Cependant, cela ne veut pas obligatoirement dire construire en bois ou installer des capteurs solaires ! La difficulté réside dans la mise en place d'une synthèse entre de nombreux aspects : gestion de l'énergie, diversité sociale, qualité de l'air, réseaux de transports, qualité de l'eau, gestion des déchets, aspect économique, etc.

Les bâtiments qu'on construit de nos jours ne prennent généralement pas en considération le climat. Ce sont des bâtiments standards qu'on réalise à n'importe quel endroit de la planète et sous des climats différents, ce qui entraîne l'installation de systèmes de climatisation ou de chauffage pour les rendre vivables pour les occupants. L'ajout du système de climatisation ou de chauffage (inutile si l'ensoleillement avait été pris en compte) ne répondra vraisemblablement plus aux objectifs du développement durable définis lors de la conception du quartier : la climatisation va entraîner une augmentation du coût global, des consommations et de l'émission de CO₂.

L'utilisation rationnelle des énergies regroupe toutes les actions qui permettent d'obtenir le confort nécessaire à l'habitat et au travail en utilisant au mieux les ressources énergétiques. Il y a lieu de construire et rénover des bâtiments en les rendant économes en énergie et de modifier les comportements individuels et les règles collectives.

²² La notion de confort est relative à une époque et un contexte socio-économique.

I.12. Démarches internationales liées au bâtiment

L'objectif principal de L'IISBE²³ qui est un organisme international majeur est de faciliter et promouvoir des directives, des méthodes et des outils qui permettront de progresser vers un cadre bâti durable. Les membres de son conseil d'administration proviennent de différents continents. Il dirige également le processus Défi des bâtiments écologiques (ou Green Building Challenge), un programme collaboratif international de grande portée, voué à l'élaboration théorique et pratique de systèmes d'évaluation du rendement environnemental des bâtiments.

Dans de nombreux pays, différentes démarches nationales sont également issues des ambitions du développement durable.

Les anglais ont mis en place la méthode BREAM²⁴. Cette méthode développée par le Building Research Establishment (BRE), existe depuis 1990 et elle concerne les bâtiments de bureau, les unités industrielles, les commerces de détail, les écoles. Elle consiste à évaluer la qualité environnementale des bâtiments à travers les aspects suivants : management, énergie, santé et bien-être, pollution, transport, utilisation du terrain, ressources et eau. Des points sont attribués pour chaque aspect en fonction des performances puis ces points sont pondérés et agrégés afin d'obtenir une note finale. Cette note est convertie par une échelle en un qualificatif qui va de passable à excellent et un certificat est délivré.

Les Etats-Unis ont développé le système de notation LEED²⁵ qui concerne les aspects suivants : nettoyage et maintenance du bâtiment, qualité de l'air intérieur, efficacité énergétique, gestion de l'eau, recyclage et équipements pour le recyclage et amélioration des systèmes en vue de l'obtention de standards de performance élevés.

Le Japon a développé l'outil CASBEE²⁶. Il permet de calculer la valeur de l'efficacité environnementale comme le ratio Q/L, Q étant la qualité ou performance écologique du bâtiment et L étant la charge écologique. Q va par exemple augmenter avec la réduction des consommations de chauffage et L va augmenter si le bâtiment

²³ Initiative internationale pour un cadre bâti durable ou "International Initiative for a Sustainable Built Environment"

²⁴ BRE's Environmental Assessment Method

²⁵ Leadership in Energy and Environmental Design

²⁶ Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency

consomme une part importante de ressources épuisables. Suivant le rapport Q/L, le bâtiment est classé S, A, B+, B- ou C. S correspond à un bâtiment en accord avec la notion de développement durable (Sustainable building) et C à un bâtiment ordinaire.

En France, on trouve la démarche HQE. Elle a été créée en 1996 et promue par l'Association HQE. Elle vise à améliorer la Qualité Environnementale des Bâtiments (QEB) neufs et existants, c'est-à-dire à offrir des ouvrages sains et confortables dont les impacts sur l'environnement sont les plus faibles possibles.

La démarche est organisée en deux domaines : La maîtrise de l'impact du bâtiment sur l'environnement extérieur et la production d'un environnement intérieur satisfaisant.

La qualité environnementale d'un bâtiment se décompose en 14 exigences particulières, appelées "cibles" (**Figure 16**) qui découlent de quatre familles principales : l'éco construction, l'éco gestion, la santé et le confort.

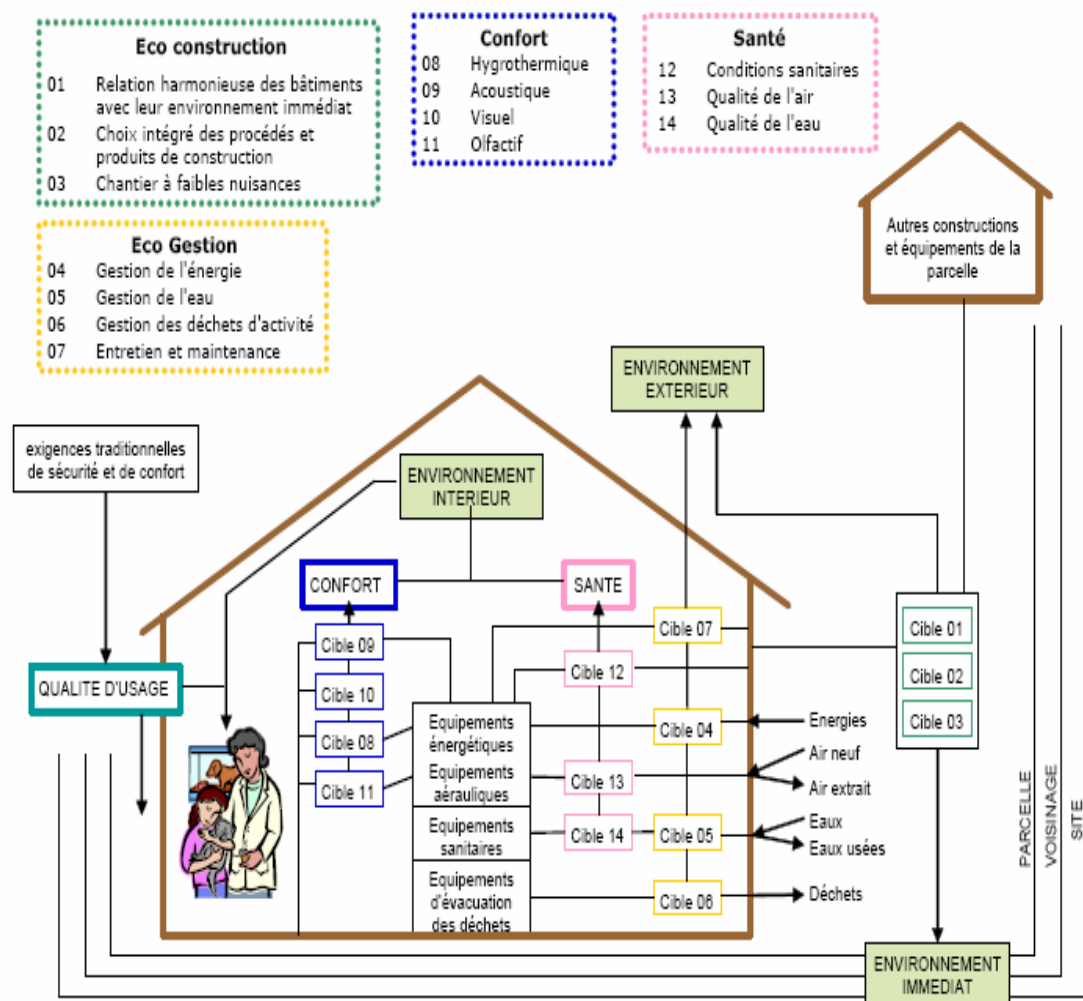


Figure 16 - Présentation de la démarche HQE et des 14 (Association "H.Q.E")

Source : (Cherqui F., 2005)

I.13. Conclusion

Pour répondre au problème climatique en limitant les gaz à effet de serre et afin de faire face à la situation très critique relative à l'épuisement des ressources énergétiques mondiales, il est plus que nécessaire que l'humanité s'organise.

En effet des conférences internationales sont tenues par les pays industrialisés à travers le monde pour étudier, vérifier et programmer la consommation énergétique dans le temps et dans les différents pays (pays industrialisés et pays en voie de développement) afin d'arriver à des solutions immédiates. La limitation des émissions de gaz à effet de serre implique des efforts de très longue durée pour les pays industrialisés comme pour les pays en voie de développement, pour les citoyens comme pour les entreprises et les gouvernements. Le secteur du bâtiment du fait de l'accroissement démographique très accru de ces dernières années, et de la recherche d'un confort grandissant et plus généralisé surtout dans les pays en voie de développement, a été désigné comme l'un des secteurs les plus consommateur d'énergie.

Le développement durable qui répond à une prise de conscience de plus en plus généralisée du danger qui nous guette, si nous perdons de vue que les ressources de la terre se raréfient et peuvent s'épuiser si nous n'arrivons pas à maîtriser notre consommation, a engendré des démarches nationales dans de nombreux pays. La solution la plus adaptée est donc la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment, et ce à travers une utilisation rationnelle des énergies et le retour aux concepts anciens tels que la construction climatique, c'est-à-dire construire en prenant en considération les éléments du climat et en utilisant les matériaux locaux afin de réduire l'énergie consommée par le transport de ces matériaux. Celle-ci constitue une réelle opportunité pour un accès plus large à l'énergie commerciale à coût constant sous l'effet conjugué de l'utilisation rationnelle de l'énergie et la promotion des énergies renouvelables, ce qui par ailleurs réduit les atteintes à l'environnement.

II: L'homme et son milieu

II.1. Introduction

Les bâtiments sont souvent pointés du doigt dans le cadre de la lutte contre le changement climatique. Ils contribuent à 30% et plus des émissions directes de gaz à effet de serre et 47 % des consommations d'énergie finale. (Boissieu C., 2006). Ils sont aussi à l'origine d'autres conséquences environnementales semblant pouvoir compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins (épuisement des ressources, eutrophisation des rivières, acidification des pluies, ...).(Orselli J., 2005).

Un bâtiment doit répondre aux exigences qui sont liées à sa destination : celles de l'homme dans sa vie privée pour le logement ou dans sa vie professionnelle pour l'atelier ou le bureau, celles de l'animal pour le bâtiment d'élevage, des marchandises pour le lieu d'entreposage ou de stockage, etc. Et, dans chaque cas, les exigences peuvent être de nature et de degrés différents : confort acoustique ou hygrothermique, éclairage, pureté de l'air, accessibilité, sécurité, économie d'énergie, etc. Certaines de ces exigences ne sont pas discutables comme le taux d'oxyde de carbone dans l'air que l'on respire, d'autres sont liées à des considérations économiques ou culturelles comme celles relatives au confort. Cependant, quelles que soient ces exigences, le bâtiment doit y répondre là où il est construit, c'est-à-dire compte tenu des données naturelles et climatiques du lieu.

Dans ce chapitre nous analyserons les éléments du climat et leur action immédiate sur l'environnement bâti ainsi que les connaissances existantes en matière de confort thermique, afin de cerner les différents paramètres et caractéristiques physiques, physiologiques et psychologiques dans la perception thermique par l'homme de son environnement.

II.2. Le contexte climatique

Le climat actuel et futur est un élément essentiel du développement durable. Il rythme notre vie, ostensiblement ou de manière cachée. Les changements climatiques futurs risquent donc d'avoir des impacts majeurs sur notre développement, ce qui nous pousse à mieux comprendre le climat et son évolution de façon à s'y adapter et à se prémunir contre les phénomènes extrêmes. Dans le contexte actuel, développement durable et climatologie se croisent également dans le sens où l'homme, en modifiant le climat, doit apprendre à gérer non seulement ses effets, mais son évolution même. Or, même avec une hypothèse très improbable de climat stable dans les décennies à venir, du fait de la croissance de la population mondiale, de la hausse de la demande de consommation et de l'amélioration du niveau de vie, les tensions vont augmenter.

Aujourd'hui, l'homme est donc susceptible de modifier le climat à toutes les échelles d'espace et de temps conséquentes. A ce titre, il devient un gestionnaire du climat et non plus seulement des effets de ce dernier, et la dimension climatique, présente dans tous les secteurs d'activité, doit être prise en compte dans toute réflexion traitant du développement durable.

II.2.1. Le climat

Le climat est une ressource naturelle qui affecte une bonne partie des activités humaines telles que la production agricole, la consommation d'énergie, l'utilisation de certaines ressources telle que l'eau etc. Son influence sur notre vie est très grande. Aussi faut-il l'observer, l'étudier pour le connaître et le quantifier.

Le terme climat vient de la racine grecque «klino» qui signifie inclinaison. Il a été, en effet, constaté que la chaleur dépendait de l'inclinaison des rayons solaires par rapport au sol.(Labeyrie J.,1985). Le climat dépend des conditions moyennes de température, de vent et de précipitations existantes à un moment donné. Il résulte de la superposition des types de temps caractéristiques d'une région plus ou moins étendue suivant que l'on considère avoir des climats zonaux, généraux ou régionaux. Il y a deux à trois types de climats généraux par bandes de latitudes, tandis que les climats régionaux couvrent des domaines atteignant plusieurs millions de kilomètres carrés de superficie. Le climat méditerranéen appartient à cette dernière catégorie. Il présente des particularités sous régionales et locales. (Planton S., 1998).

Du point de vue du confort thermique, le climat peut être agréable ou désagréable selon les moments ou saisons. Un édifice construit pour abriter des personnes, présente la fonction de créer un micro climat plus confortable que le climat ambiant. (Lavigne P., 1994).

II.2.2. Climat de la région méditerranéenne

Le climat méditerranéen s'étend des altitudes 30 à 40° au nord de l'équateur, il englobe tout le bassin du golf méditerranéen et quelques régions méridionales et littorales de l'Afrique, de l'Amérique et de l'Australie. Selon la pluviométrie et la durée de la sécheresse estivale, le climat méditerranéen présente des nuances régionales : type californien, portugais, subméditerranéen, etc. (Microsoft-Encarta, 2007). Il se caractérise par des hivers doux et humides, des printemps et automnes souvent humides et des étés secs. C'est une zone climatique tempérée.

En été, la région subit l'influence du vent chaud et sec du Sahara. Les températures moyennes maximales varient de 25 à 38°C le jour et de 16 à 30°C la nuit, l'humidité relative

est élevée de 70 à 80%, Les vents locaux sont faibles, pendant les grosses chaleurs, la brise de mer joue un rôle régulateur et rafraichissant. A certaines heures de la journée, un vent du Sud-est très chaud et sec, le « sirocco », circule avec sifflement, et envoie du sable du désert jusqu'au littoral méditerranéen. Le ciel dégagé permet des rayonnements solaires intenses. (Lièbard A., Herde A., 2005).

En hiver les températures moyennes maximales diurnes atteignent 8 à 21°C et les températures moyennes minimales nocturnes varient de 0 à 18°C. Les précipitations sont d'une grande irrégularité selon les années et s'élèvent à 500 mm. Des averses, nombreuses et violentes, provoquent parfois des crues subites des cours d'eau, pouvant entraîner des inondations dramatiques, l'humidité relative est de 60 à 70%. Les vents locaux, liés à la présence de couloirs et de reliefs montagneux, sont nombreux et assez violents. Le gel est assez rare, la nébulosité peu élevée et l'insolation importante. (Lièbard A., Herde A., 2005).

- **La variabilité du climat méditerranéen**

Le climat méditerranéen est un climat de transition entre un climat tempéré au nord et un climat sub-tropical ou désertique au sud. La variabilité de ce climat, en particulier des précipitations, est apparente à toutes les échelles de temps. (Ministère, 2006). Les perturbations d'origine atlantique qui atteignent la Méditerranée en hiver représentent environ le tiers de l'ensemble des systèmes perturbés qui concernent la région. Ces perturbations sont en partie réactivées à leur passage au dessus de la mer plus chaude en moyenne que l'air. Les deux autres tiers des perturbations sont d'origine locale

II.2.2.1 Le climat Algérien

Du nord au sud de l'Algérie on trouve une succession de climats très divers, de type méditerranéen, doux montagneux et sec désertique, représentés par des zones et des sous zones climatiques très distinctes (**figure 17**). (Bouché D., 2006). Le zonage du territoire Algérien a été réalisé par le C.S.T.B¹, le groupe de l'O.N.M². et le C.C.N³. La classification qui en a découlée est composée de Quatre zones et une sous zone climatique au Nord, ainsi que trois zones climatiques au sud. Les zones se présentent comme suit : (Mezred M., 1997).

Zone A/ la zone du littoral

Sa largeur varie entre 80 et 190 Km, elle se caractérise par un climat méditerranéen tempéré et doux.

¹ Centre Scientifique et Technique du bâtiment

² Office National de la Météorologie

³ Centre Climatologique National

Zone B/ atlas tellien

Elle représente les régions montagneuses de Kabylie et du Constantinois, l'éloignement de la mer, l'altitude et le type du sol font que l'on enregistre des valeurs minimales moyennes en hiver qui avoisinent le 0°C.

Zone C/ région des hauts plateaux

Cette zone s'étend de l'Est en Ouest, elle se caractérise par un climat semi-aride avec un été chaud.

Zone D/ la région des hauts plateaux

Elle diffère des caractéristiques de zone C essentiellement par des températures plus élevées, un taux d'humidité plus faible et une durée d'insolation plus longue.

Zone C'/(sous zone)

Elle concerne la vallée du Chélif caractérisée par des valeurs de températures moyennes d'été de 34,1 et de 38°C ainsi que des valeurs d'insolation en été de 11,7 heures.

Zone E/

Elle se compose des régions de Ghardaïa, de Biskra, de Bechar de Touggourt et de Hassi-Messaoud ou les températures et la durée de l'ensoleillement sont les plus élevées.

Zone F/

Cette zone se caractérise par des températures très élevées, elle se compose des régions d'Adrar et d'Ain-Salah.

Zone G /

Cette zone est composée des régions du Hoggar et du Tassili ou les températures et la durée d'insolation sont très élevées.

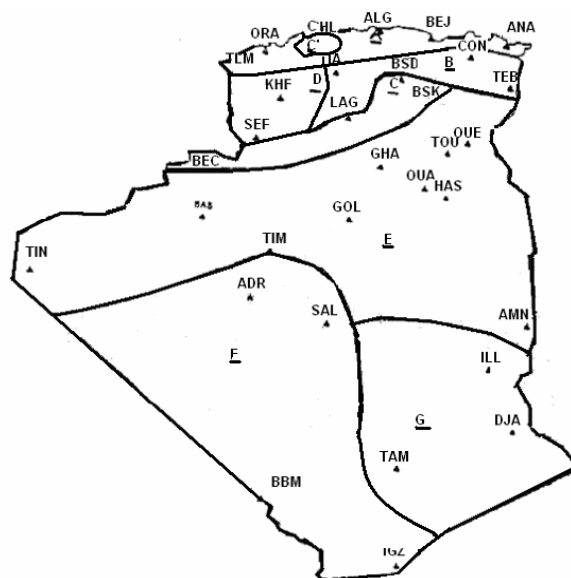


Figure 17 : Zones climatiques de l'Algérie.

Source : (Mezred M., 1997)

II.2.2.2 Climat de Tizi-Ouzou

Le climat de Tizi-Ouzou est de type méditerranéen. La pluviométrie est assez élevée mais inégalement répartie pendant l'année. Elle oppose une saison hivernale relativement humide à une saison estivale beaucoup plus sèche. L'orientation générale du relief parallèle au littoral, empêche les influences maritimes, ainsi, coexistent deux domaines climatiques, celui de la montagne et de la cuvette (bassin de Tizi-Ouzou).

II.2.3. Les éléments du climat et leur interaction sur les ambiances intérieures du bâtiment

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

II.2.3.1. Le soleil et le rayonnement solaire

La puissance rayonnée par les réactions thermonucléaires au sein du soleil, situé à environ 150 millions de kilomètres de la terre se traduit sur notre planète par un apport énergétique qui peut atteindre 1.000 W.m^{-2} au niveau du sol sous forme de lumière visible et de proche infrarouge. (Brichambaut P., Vauge C., 1982). Cet éclaircissement est à l'origine des ressources énergétiques fossiles accumulées au cours des ères géologiques (charbon, gaz etc...) et de ressources naturelles renouvelables (rayonnement solaire, énergie éolienne etc...) (Brichambaut, P., Vauge C., 1982). Sur le plan énergétique, Le Soleil fournit une puissance équivalente à celle de 4.10^{17} réacteurs nucléaires (un réacteur de centrale nucléaire produit typiquement 1 000 MW), Cependant, seule une infime partie de cette puissance est reçue par la terre du fait du faible angle solide sous lequel est vue notre planète à partir du Soleil : environ deux milliards de fois moins La terre intercepte à tout instant par son hémisphère éclairé, une puissance de 178.10^{15} W , sous forme de rayonnement solaire, de longueur d'onde comprise entre $0,25\mu\text{m}$ et $5\mu\text{m}$ environ. (Dessus B., pharabod F., 2002).

De l'énergie interceptée par la terre, 60% sont réfléchies directement par l'atmosphère, 16% contribuent à l'évaporation des océans, 11,5% sont réfléchis à la surface de la terre (selon le coefficient d'albedo), 9,5% seulement absorbés par la masse terrestre et les masses d'air, et environ 3% alimentent la photosynthèse (terrestre et aquatique). Une infime partie participe à la formation de réserves d'énergie fossiles (0.02%) (**Figure 18**). (Lièbard A., Herde A., 2005).

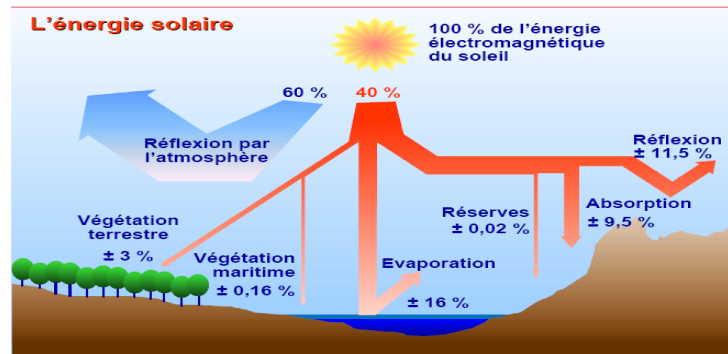


Figure 18 : Ce que reçoit la terre du soleil
Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique

II.2.3.1.1. Rayonnement solaire

Le Soleil est le principal facteur d'influence sur les climats. Presque toute l'énergie atteignant la terre provient du Soleil sous forme de rayonnement. Au sein du soleil, des réactions nucléaires se produisent : l'hydrogène se transforme en hélium en libérant 4 millions de tonnes par seconde d'énergie qui est dissipée sous forme d'énergie. ($E=mc^2$). (Chauliagnet C., Baratçal P., Batelier JP., 1981). L'énergie émise par le Soleil constitue la seule source externe notable d'énergie pour l'atmosphère. (La référence LESO, 2006). Elle est rayonnée dans l'espace sous forme d'ondes électromagnétiques dans un spectre très étalé (des ondes métriques aux rayons gammas en passant par la lumière visible). La densité de flux d'énergie à la surface apparente du soleil est de 64 MW (million de Watts) par mètre carré. L'intensité maximale se trouve à 0.55 micron, correspondant à la couleur verte.

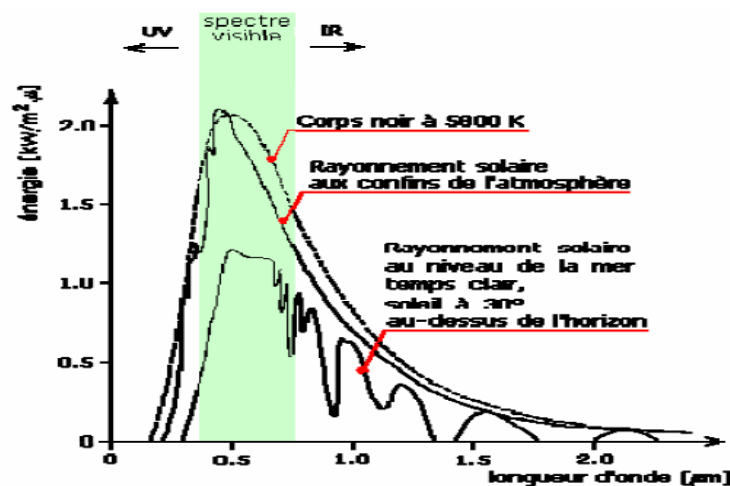


Figure 19: Spectre du rayonnement solaire.
Source : (Bernard,R., Menguy, G., Schwartz, M., 1980)

La figure 19 montre le spectre du rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère et au niveau de la mer, par ciel serein. Au niveau du sol, le rayonnement direct, provenant en droite ligne du soleil est donc diminué en intensité et son spectre est modifié. De plus, une composante

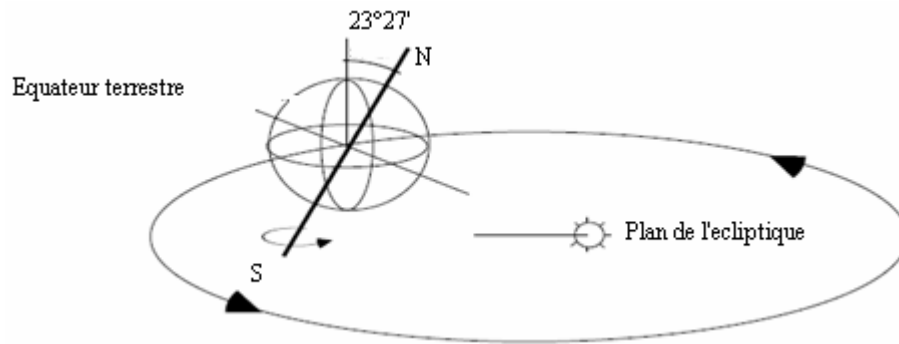
diffuse apparaît, provenant du ciel bleu par beau temps, et des nuages plus ou moins gris par mauvais temps. L'intensité de ces deux composantes doit être prise en compte pour le calcul des gains solaires.

Aux altitudes usuelles (proches du niveau de la mer) et dans la zone tempérée, le rayonnement global (la somme de la composante directe et de la composante diffuse) est au maximum de 1000 W/m^2 sur une surface perpendiculaire au rayonnement solaire. Dans ces mêmes conditions, l'intensité du rayonnement diffus représente environ le quart ou le tiers du rayonnement global. Dans le cas de ciels couverts, il n'y a plus de composante directe, et la composante diffuse, dont la distribution est d'autant plus isotrope que le ciel est plus couvert, devient bien plus faible, par exemple de l'ordre de 100 W/m^2 sur une surface horizontale pour un ciel bien couvert. (Dessus B., pharabod F., 2002).

II.2.3.1. 2. Mouvement terre- soleil

La terre tourne sur elle-même (mouvement de rotation) et se déplace sur une orbite elliptique de faible excentricité dont le soleil occupe l'un des foyers (mouvement de translation). L'axe de rotation de la terre (ou axe des pôles) reste parallèle à lui-même durant ce déplacement, avec une inclinaison quasi constante par rapport à la normale au plan de l'écliptique (plan de déplacement du soleil). Le mouvement de rotation s'effectue autour d'un axe mobile à la fois par rapport à un repère extérieur au système et par rapport à la terre elle-même. La période de rotation de la terre autour de cet axe définit la durée du jour sidéral ou solaire. (Mazria E., Bazan P., 2005). La rotation propre de la terre introduit la notion de journée solaire moyenne, divisée en 24 heures de 60 minutes. C'est le temps qui sépare en moyenne deux passages successifs du soleil au méridien d'un lieu. On définit, à partir de la journée solaire, le temps solaire vrai et après suppression des perturbations périodiques, le temps solaire moyen d'où découle directement le temps universel et les temps légaux des divers pays. (Derriche, F., Tebani H., 2008). Ces notions de temps, liées au cycle annuel et au cycle diurne, sont essentielles pour déterminer la position apparente du soleil dans le ciel (hauteur angulaire, azimut), en fonction des données astronomiques et des coordonnées géographiques du lieu. (Derriche F., Tebani H., 2008).

Le mouvement de translation de la terre, lui, suit les lois classiques de la mécanique céleste (lois de Kepler) : le centre de gravité de l'ensemble terre-lune décrit ainsi une ellipse dont le soleil est un des foyers. L'inclinaison de l'axe des pôles par rapport à la normale au plan de l'écliptique est supposée invariable et égale à $23^\circ 27'$ (**Figure 20**). (Mazria E., Bazan P., 2005).

**Figure 20** : mouvement de la terre autour du soleil

Source : (Dourgnon J., Chauvel P., Kokka L. 1961)

II.2.3.1.3. Constante solaire

La constante solaire exprime la quantité d'énergie solaire (puissance d'éclairage) que recevrait une surface de 1m^2 située à une distance de 1 unité astronomique (distance moyenne terre-soleil) exposée perpendiculairement aux rayons du Soleil si l'atmosphère terrestre n'existait pas. Elle est égale à $1,367\text{ kW/m}^2$ (soit 1367 W/m^2). (Lavigne P., 1994). La puissance solaire disponible en tout point de la terre dépend également du jour, de l'heure et de la latitude du point de réception. De plus, la quantité d'énergie solaire captée est fonction de l'orientation du récepteur.

II.2.3.1.4. La distance terre - Soleil

La distance terre- soleil varie quotidiennement selon la relation suivante: (Lavigne P., 1994).

$$D_{TS}(N) = 1 - 0.017 \cdot \cos \left[\frac{360 (N - 2)}{365} \right] \text{ en U.A}$$

N : le numéro du jour de l'année compté à partir du 1^{er} janvier, c à d il varie de 1 à 365 ou 366 selon l'année : $D_{TS}(\text{min}) = 0,983\text{ UA}$ vers le 2 janvier (Périgée).

$$D_{TS}(\text{max}) = 1,017\text{ UA}$$
 vers le 5 juillet (Apogée).

II.2.3.1.5. Mouvement apparent du soleil

La terre peut être considérée comme une sphère subdivisée en 360° de longitudes comptées par rapport au méridien de référence Greenwich et de 180 parallèles comptées par rapport au plan équatorial. (Jannot Y., 2003).

L'excentricité de l'ellipse décrite par la trajectoire de la terre autour du soleil est faible ce qui fait que la distance terre / soleil ne varie que de $\pm 1,7\%$ par rapport à la distance moyenne qui est de $75\,106\text{ KM}$. Toutefois, ces mouvements ne sont pas perçus comme tels par un observateur terrestre. Pour celui-ci en effet, c'est le soleil qui paraît décrire d'Est en Ouest une trajectoire diurne, accompagnée d'un lent déplacement sur le fond des étoiles fixes. (Derriche F., Tebani H., 2008).

II.2.3.1.6. Repérage d'un site sur la surface terrestre**a- Coordonnées terrestres**

Les coordonnées géométriques utilisées pour déterminer la localisation d'un point sur la surface terrestre sont : La latitude et la longitude, qui sont calculées en angle et s'expriment en degrés, minutes et secondes d'angle représentent la distance angulaire du site S par rapport au plan de l'équateur (**Figure 21**). (Benyarou F., 2002).

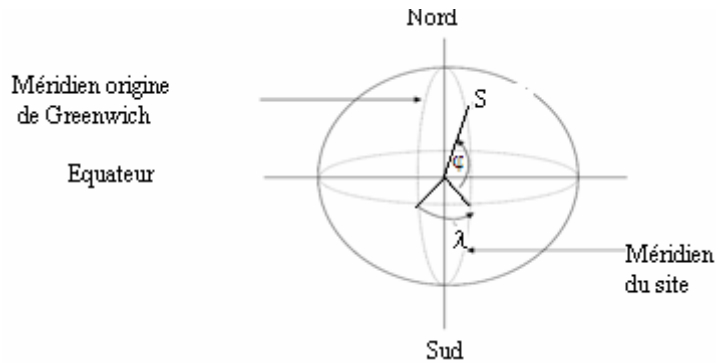


Figure 21: Repérage d'un site sur la surface terrestre
Source : (Benyarou,F., 2002)

- La latitude φ donne la localisation d'un point par rapport à l'équateur, elle varie de 0° à l'équateur à 90° N (ou S) aux pôles. Elle représente la distance angulaire du site S par rapport au plan de l'équateur.

φ Varie de -90° à $+90^\circ$ tel que : $\{\varphi > 0$ Vers le Nord

$\{\varphi < 0$ Vers le Sud

- La longitude λ , permet de localiser un point à l'Est ou à l'Ouest d'une ligne Nord-Sud de référence appelée le méridien (Greenwich).

λ Varie de -180° à $+180^\circ$ tel que : $\{\lambda > 0$ à l'est du méridien de Greenwich.

$\{\lambda < 0$ à l'ouest du méridien de Greenwich.

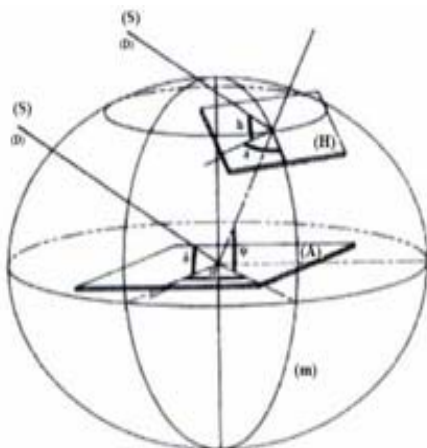
b- Les coordonnées du soleil

Figure 22: La direction du soleil (S) repéré en coordonnées équatoriales et en coordonnées horizontales en un lieu donné de latitude φ

Source : (Bouazza S., Bouchnafa H., 2000)

Pour un lieu donné, la position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents (**Figure 22**). (Mejdoub S., 2001):

- Par rapport au plan équatorial de la terre (repère équatorial).
- Par rapport au plan horizontal du lieu (repère horizontal).

b-1-Coordonnées équatoriales :

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles (δ , H).

- **La déclinaison du soleil**

L'angle compris entre le plan équatorial terrestre (perpendiculaire à l'axe de rotation de la terre) et l'axe de rotation de la terre autour du soleil (plan de l'écliptique) est appelé déclinaison géocentrique δ . Il varie au cours de l'année entre -23.45° et $+23.45^\circ$. Sa variation peut être décrite par la relation approchée suivante:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(0.986 \cdot J - 80^\circ) \quad (\text{Brichambaut P., Vauge C., 1982})$$

Où J est le numéro d'ordre du jour dans l'année ($1 \leq J \leq 365$ ou 366).

δ varie entre deux valeurs extrêmes : $-\delta_0 \leq \delta \leq +\delta_0$ avec $\delta_0 = 23,45^\circ$.

L'angle que fait la direction du soleil avec le vertical du lieu est appelé « Distance Zénithale (ou angle zénithal) » noté Z. Elle varie quotidiennement et annuellement entre.

$$\phi - 23^\circ 27' \leq Z \leq \phi + 23^\circ 27' \quad (\text{Maouedj R., 2006})$$

- **Angle horaire**

C'est l'angle formé par le plan de méridien céleste et la projection de la direction terre / soleil sur le plan de l'équateur céleste. On compte les angles horaires dans le sens de la rotation quotidienne de la sphère céleste de 0° à 360° (Vers l'Ouest), il est nul à midi solaire vrai et est négatif le matin et positif l'après-midi. Il est donné par la relation suivante :

$$\omega = 15^\circ (\text{TSV} - 12) \quad (\text{Brichambaut P., Vauge C., 1982})$$

TSV est le temps solaire vrai. Le temps solaire vrai est défini par le passage du Soleil au sommet de sa course à midi vrai, instant auquel il occupe exactement le sud géographique de l'observateur (dans l'hémisphère sud !). Le temps légal H_v et le temps solaire H_s sont reliés par l'équation suivante:

$$H_v[h] = H_s[h] + \Delta H + \text{Long}/15 - F \quad (\text{Brichambaut P., Vauge C., 1982})$$

où: **Long** = longitude [$^\circ$], positive à l'est et négative à l'ouest,

F = décalage entre l'heure légale dans le fuseau horaire considéré et l'heure légale au méridien de Greenwich [h], positif à l'est et négatif à l'ouest

ΔH = équation du temps [h], tenant compte de deux corrections (l'une dépendant de l'ellipticité du mouvement de la terre autour du Soleil, l'autre de la déclinaison géocentrique), et donnée par la figure ci-dessous.

b-2-Coordonnées horizontales

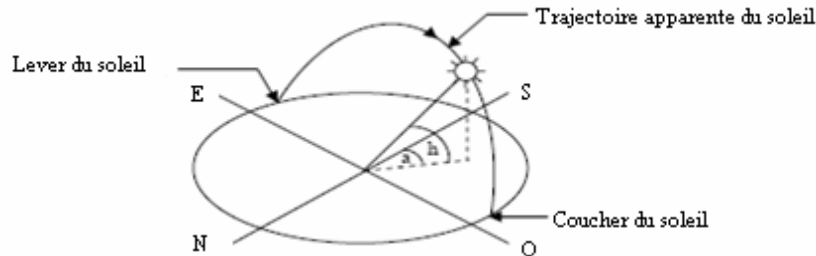


Figure 23 : Azimut a et Hauteur h du soleil

Source : (jannot Y., 2003)

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan horizontal du lieu de latitude ϕ par deux angles h et a.

- **La hauteur du soleil h**

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal. La hauteur angulaire du soleil durant le jour peut varier de 0° (soleil à l'horizon) à 90° (soleil au zénith). La hauteur du soleil varie à chaque instant de la journée et de l'année selon la relation suivante :

$$\sin h = \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta \quad (\text{Brichambaut P., Vauge C., 1982})$$

Où δ est la déclinaison du soleil, ϕ est la latitude du lieu et ω est l'angle horaire du soleil h varie entre -90° et $+90^\circ$. On prend: $h > 0$ le jour, $h < 0$ la nuit et $h = 0$ aux lever et coucher

- **L'azimut du soleil a**

C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du Sud.

L'azimut du soleil varie à chaque instant de la journée selon la relation:

$$\sin a = \cos \delta \cdot \sin \omega / \cos h \quad (\text{Brichambaut P., Vauge C., 1982})$$

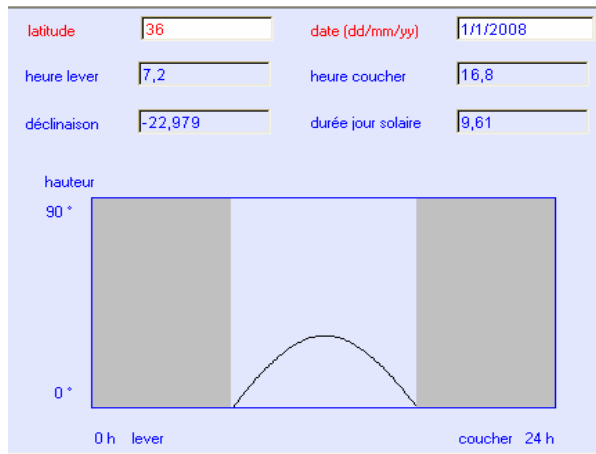
a : varie entre -180° et $+180^\circ$. On prend: $a > 0$ vers l'ouest, $a < 0$ vers l'est et $a = 0$ vers le sud

La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale. Ainsi : Pour l'orientation Est : $a = -90^\circ$, Pour l'orientation Ouest : $a = 90^\circ$ Et pour la direction Nord dans l'hémisphère Nord et la direction Sud dans l'hémisphère Sud : $a = \pm 180^\circ$.

Avec le développement de la technologie, le repérage d'un site sur la surface terrestre se fait en utilisant des outils informatiques tels que le simulateur de la course du soleil JAVA qui nous donne les coordonnées exactes du soleil.

Par exemple dans la ville de Tizi-Ouzou selon le simulateur de la course du soleil JAVA (http://www.helioclim.net/sun/AppletSolar_fr.html)

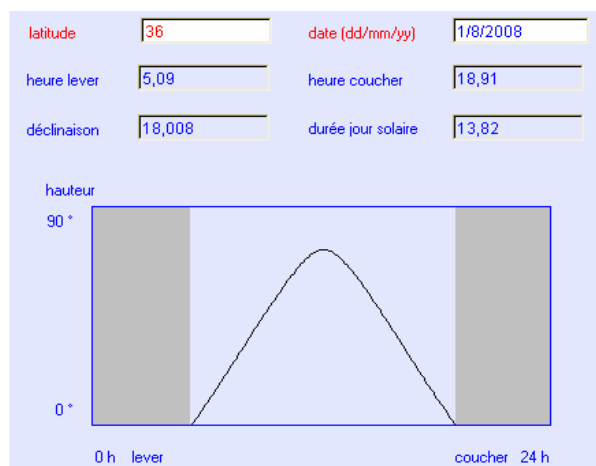
Pour la journée du 1/1/2008 nous avons les informations suivantes :



Heure du levé : 7.2
 Heure du couché : 16,8
 Déclinaison : -22,979
 Durée du jour solaire : 9,61
 Au levé : hauteur 0 et azimut 0 et à 8h : hauteur 7.67 et azimut -54.21
 Au couché : hauteur 0 et azimut 0 et à 15h : hauteur 17.75 et azimut 42.33
 A midi : hauteur 31.02 et azimut -0.9

Figure 24: course du soleil pendant la journée du 1/1 /2008

Pour la journée du 1/8/2008 nous avons les informations suivantes :



Heure du levé : 5.09
 Heure du couché : 18.91
 Déclinaison : 18.008
 Durée du jour solaire : 13.82
 Au levé : hauteur 0 et azimut 0 et à 8h : hauteur 33.19 et azimut -88.93
 Au couché : hauteur 0 et azimut 0 et à 15h : hauteur 47.81 et azimut 76.56
 A midi : hauteur 71.95 et azimut -4.97

Figure 25: course du soleil pendant la journée du 1/8 /2008

II.2.3.1.7. Abaques et diagrammes solaires

Les abaques et diagrammes solaires permettent d'une part de déterminer, avec une approximation suffisante les coordonnées angulaires du soleil pour une date et un instant donné, d'autre part, ils sont le support des constructions géométriques nécessaires à la simulation graphique de l'ensoleillement, tant pour la détermination des ombres que pour celle des périodes d'ensoleillement. Au lieu d'utiliser les formules précédentes qui demandent des calculs fastidieux, il est conseillé d'utiliser les diagrammes et abaques solaires qui fournissent des valeurs approchées mais néanmoins suffisantes de ces grandeurs.

- La projection stéréographique des trajectoires solaires

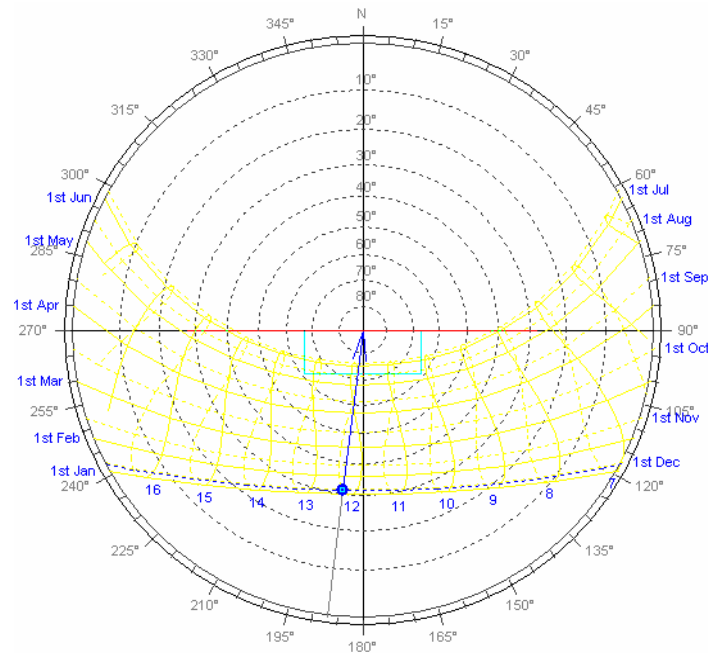


Figure 26 : projection stéréographique des trajectoires solaires 36 42N (Tizi-ouzou)
Position du soleil le 20 Décembre à 12 :00 h

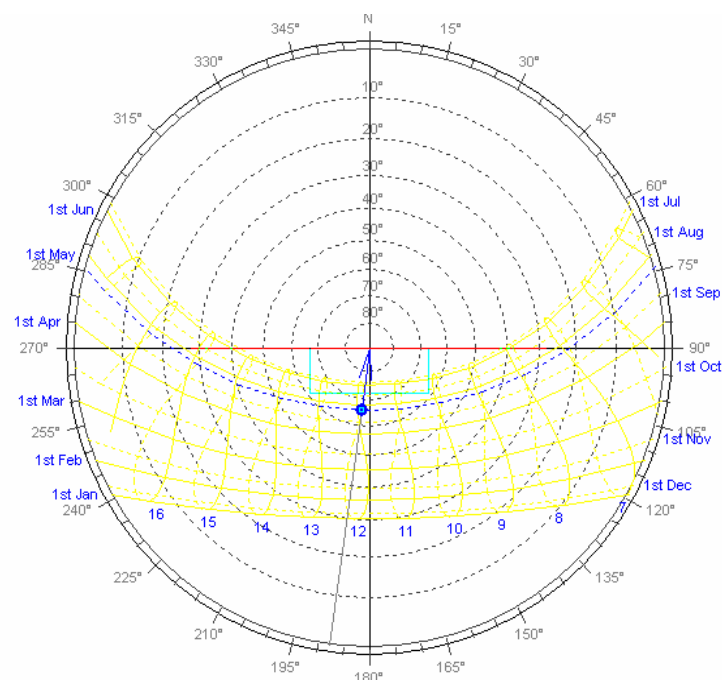


Figure 27 : projection stéréographique des trajectoires solaires 36 42N (Tizi-ouzou)
Position du soleil le 20 Août à 12 :00 h

Les diagrammes solaires comportent les informations suivantes : course apparente du soleil tous les 20 du mois, de Décembre, Janvier- Novembre, Février- Octobre, Mars- Septembre, Avril-Août, Mai- Juillet et Juin, les positions horaires du soleil, indiquant la durée du jour ainsi que les positions en azimut du lever et du coucher.

II.2.3.1.8. Géographie du lieu (effet de masque) et influence de l'environnement

- **Géographie du lieu**

Les obstacles rencontrés en général dans les régions de plaine sont les bâtiments et la végétation, alors que les régions au relief accusés (montagnes, certains sites en bordure de mer, régions vallonnées) peuvent entraîner des pertes dans les apports solaires. La méthode consiste à reporter sur l'abaque d'ensoleillement (hauteur, azimut) la carte en relief du site considéré, en utilisant pour la hauteur du soleil et les reliefs la même unité de mesure (valeur angulaire)

Ainsi pour les périodes défavorables, il y aura dans l'irradiation des « trous » provoqués par ces écrans. (Chauliagnet C., Baratçal P., Batelier JP., 1981).

- **Influence de l'environnement**

Il s'agit avant tout des constructions et de la végétation. Leur position sur la trajectoire solaire peut créer sur les surfaces captrices une ombre préjudiciable. Deux données sont à prendre en compte :

- La hauteur d'un obstacle par son ombre portée qui varie avec la saison,
- La surface balayée au sol par la variation de l'azimut du soleil. (Chauliagnet C., Baratçal P., Batelier JP., 1981).

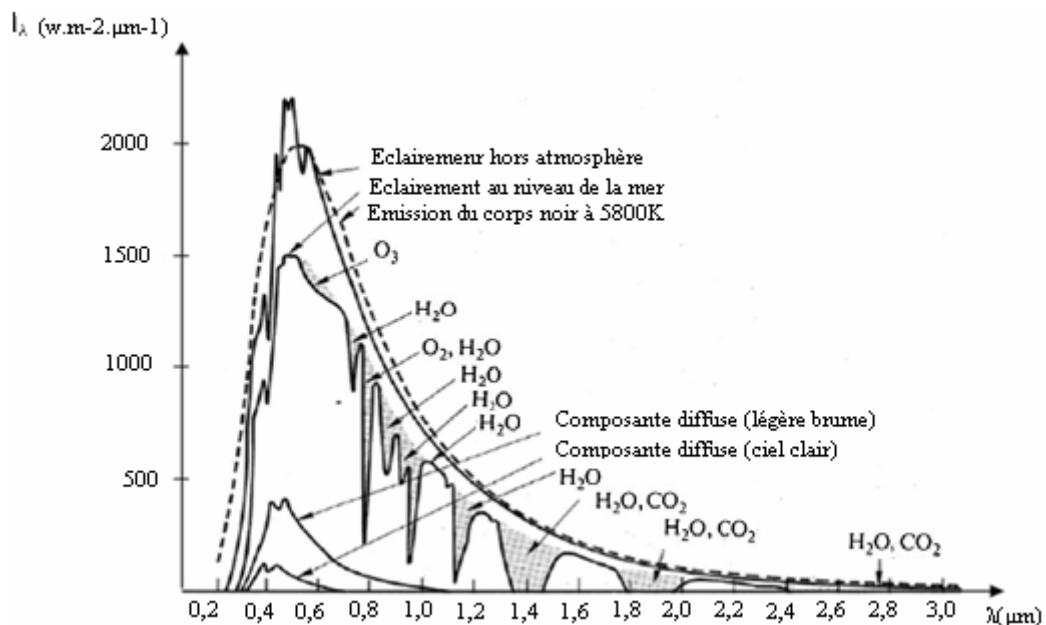
II.2.3.2. Rayonnement Solaire Au Sol**II.2.3.2.1. Aspects énergétiques****a- L'atmosphère terrestre**

Figure 28 : Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre

Source : (jannot Y., 2003)

Les caractéristiques absorbantes de l'atmosphère sont déterminées par la présence de : CO₂ (0,03%), vapeur d'eau (en quantité variable caractérisé par l'épaisseur d'eau condensable qui est l'épaisseur d'eau que l'on obtiendrait en condensant toute la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère), ozone O₃ située entre 10 et 30 km d'altitude et aérosols (grains de sable, poussières, fumées...). On trouvera sur la figure 28, la répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre avec indication des gaz partiellement opaques qui filtrent ce rayonnement selon la longueur d'onde.

b- Calcul du rayonnement du ciel et de l'atmosphère

Les gaz non transparents de l'atmosphère (CO₂, O₃, H₂O) émettent vers la terre un rayonnement dans les principales bandes suivantes : vers 14,7 μm pour le CO₂, Entre 5 et 7 μm et entre 14 et 20 μm pour la vapeur d'eau et enfin vers 9,6 μm pour O₃. Il s'agit d'un rayonnement émis dans les grandes longueurs d'onde ($> 3\mu\text{m}$) contrairement au rayonnement solaire émis dans des longueurs d'ondes inférieures à 3 μm . (Figure 29).

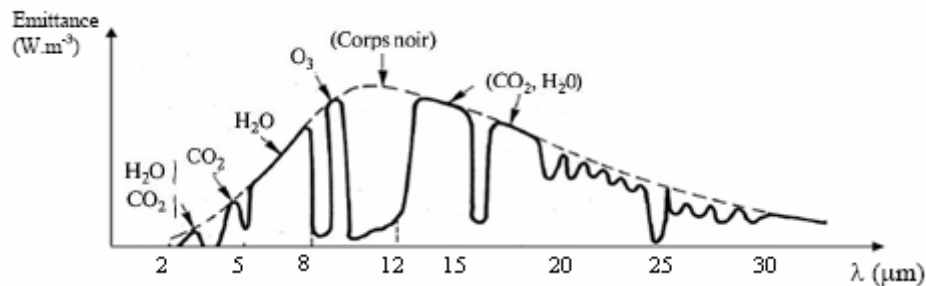


Figure 29: spectre du rayonnement atmosphérique
Source : (jannot,Y., 2003)

c-Calcul du rayonnement solaire au sol

Le rayonnement solaire global qui atteint les parois d'un bâtiment est la somme :

- Du rayonnement direct issu du soleil, provenant en droite ligne du seul disque solaire
- Du rayonnement diffusé par le ciel et les nuages, provenant de toute la voûte céleste hors disque solaire
- Du rayonnement réfléchi par l'environnement (sol, autres bâtiments....), lorsque le capteur n'est pas horizontal.

L'ensemble de ces composantes constituent le rayonnement global.

Ces divers rayonnements s'apprécient différemment selon que l'on considère qu'ils sont reçus par une surface plane horizontale, inclinée fixe, ou orientée en permanence en direction du soleil par un dispositif de suivi de la course apparente de l'astre.

c-1-Le facteur de trouble

La turbidité de Linke mesure de combien le rayonnement solaire est atténué par des aérosols. Elle indique la densité optique de l'atmosphère brumeuse et humide par rapport à une atmosphère propre et sèche. Elle est sans dimensions.

Dans la méthode de linke, on introduit un facteur de trouble total T_L , défini comme le nombre d'atmosphères pures et sèches (sans aérosol, ni vapeur d'eau, ni nuages), manifestant donc uniquement une absorption et une diffusion par les gaz « constants » de l'atmosphère (azote, oxygène, gaz rare, gaz carbonique) qu'il faudra accumuler pour provoquer la même extinction intégrale du rayonnement direct que l'atmosphère réelle, poussiéreuse et humide, aux lieu, instant, hauteur du soleil, etc. considérés.

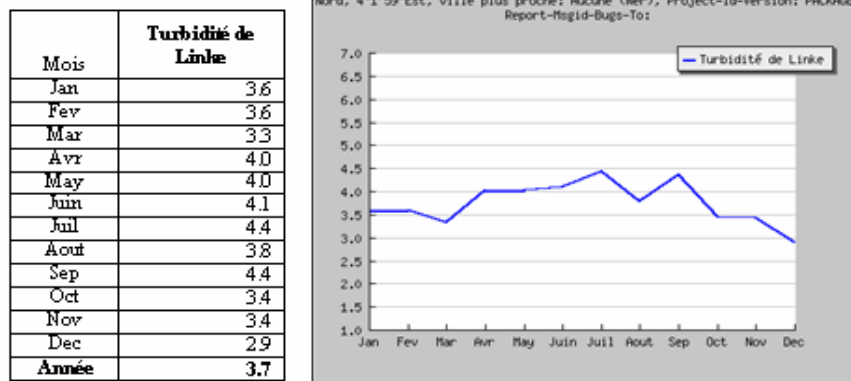


Figure 30 : Irradiation globale incidente pour Tizi-Ouzou, turbidité de linke

Source: <http://iaamest.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>

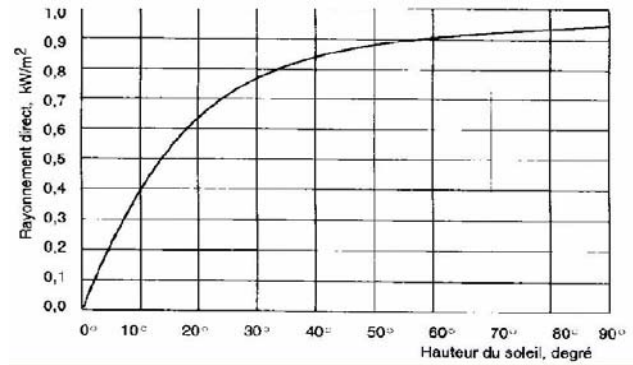
Pour Tizi-Ouzou, la turbidité de Linke est plus faible en décembre, et plus élevée en juillet et en septembre (à cause du phénomène d'évaporation) avec des variations au courant de l'année et une moyenne annuelle de 3,7.

c-2- Rayonnement solaire direct

Au sol, l'intensité du rayonnement direct dépend de l'affaiblissement que ce rayonnement subit lors de la traversée de l'atmosphère. Elle dépend également de l'épaisseur atmosphérique traversée, et donc de la hauteur du soleil à chaque instant. Par ciel clair et pour une atmosphère normalisée, la variation du rayonnement solaire direct normal avec la hauteur du soleil est donnée par la figure 31.

Ce rayonnement est plus intense en altitude (d'environ 7% par 1000 m) ou l'air est plus sec et pur, à l'inverse il est généralement affaibli de près de 20% en zone urbaine ou même 40% dans les grandes villes en bord de mer. Le rayonnement direct s'atténue fortement ou même s'annule en cas de passage nuageux.

Figure 31 : Variation du rayonnement direct normal avec la hauteur du soleil
Source: "Que sais-je?" l'énergie solaire



C'est donc le rayonnement qui traverse l'atmosphère sans subir des modifications, il est donné par la relation suivante :

$$I'_1 = I'_0 \cdot \exp \left[\frac{-m \cdot T_L}{0,9 m + 9,4} \right] \text{ W.m}^{-2} \quad (\text{Brichambaut P., Vauge C., 1982})$$

Ou I'_0 est l'éclairement extra atmosphérique

m est la masse atmosphérique équivalente (égal au trajet optique du rayonnement)

T_L est le facteur de trouble atmosphérique

La composante du rayonnement direct sur une surface horizontale est alors, dans tous les cas:

$$B'_1 = I'_1 \cdot \sin \gamma$$

De même la composante directe sur une surface inclinée est :

$$B'_1(\beta, \alpha) = I'_1 \cdot \cos \theta$$

Avec $B'_1(\beta, \alpha) = 0$, si $\cos \theta$ est négatif (capteur incliné par l'arrière).

c-3- Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est d'autant plus important que l'atmosphère est moins claire. Il provient en effet de la diffusion de la lumière par les particules, les aérosols, les gaz et les nuages. On rend compte de ce phénomène complexe en utilisant un petit nombre de paramètres empiriques comme le trouble atmosphérique et l'humidité de l'air ;

- Notion d'albédo

On appelle albédo la fraction de l'énergie incidente diffusée par un corps lumineux. Ainsi pour le corps noir parfait, l'albédo est nul alors qu'il vaut 0.90 pour la neige fraîche, 0.60 pour la neige tassée, 0.15 à 0.25 pour un sol nu, 0.15 à 0.25 pour des prairies et 0.05 pour la mer, en été, alors qu'en hiver il est le double. Pour une valeur d'albédo de 0.2, le rayonnement global sur des parois verticales d'orientation Est, Sud ou Ouest est environ la moitié du rayonnement reçu sur un plan horizontal et d'environ le tiers pour l'orientation Nord. (Lièbard A. Herde A., 2005). À titre indicatif, le tableau 03 donne les fractions moyennes de rayonnement global subsistant après le passage au travers de différents types de nuages

stratifiés. Pour ces types de nuages, on voit que le rayonnement global reçu au sol par ciel couvert est toujours inférieur au rayonnement global reçu au sol par ciel clair dans des conditions équivalentes. On note aussi que ce sont les nuages bas qui réduisent le plus le rayonnement incident et que les nuages hauts en laissent passer la plus grande partie. (Bessemoulin P. Oliiviéri J., 2000).

Nuages hauts		Nuages moyens		Nuages bas			
Cirrus	Cirrostratus	Altostratus	Altostratus	Stratocumulus	Stratus	Nimbostratus	Brouillard
0,83	0,80	0,50	0,41	0,34	0,25	0,18	0,17

Tableau 03 : Fraction typique du rayonnement global subsistant après la traversée de différents types de nuages stratifiés

- **Rayonnement diffus du ciel**

Cas du ciel clair

Même lorsque le ciel est sans nuages, la voûte céleste n'a pas une luminance uniforme.

$$D'1 = \frac{I'0}{25} \sqrt{\sin \gamma} \cdot (TL - 0,5 - \sqrt{\sin \gamma}) \quad (\text{Brichambaut P., Vauge C., 1982})$$

Cas du ciel couvert

Il s'agit d'un ciel gris totalement couvert de couches nuageuses continues. Dans ce cas le rayonnement direct est inexistant.

Pour une surface nuageuse avec un albedo moyen de (0.2) du sol environnant, à faible altitude, nous avons

$$D'_2 = K \cdot G'_1 (1 + 0.3 \sin \gamma) \quad (\text{Brichambaut P., Vauge C., 1982})$$

Où $G'_1 = B'_1 + D'_1$, G'_1 est le rayonnement global par ciel clair et K variant entre 0.15 et 0.6, selon le type de couverture nuageuse.

Cas du ciel partiellement nuageux

Dans ces conditions de ciel partiellement nuageux, on ne peut guère donner d'évaluation précise du rayonnement diffus à un moment et à un lieu définis : ses variations sont très importantes bien que relativement lentes, et seules les relations statistiques établies sur des intervalles de temps suffisants (horaires, par exemple) permettent des estimations acceptables, aussi bien sur une surface horizontale que sur une surface inclinée. (Brichambaut P., Vauge C., 1982).

- **Rayonnement diffus au sol**

C'est le rayonnement renvoyé vers l'atmosphère après réflexion diffuse, par le sol, du rayonnement incident. (Brichambaut P., Vauge C., 1982).

$$D'_g(\beta, \alpha) = \text{albedo} \cdot G' \cdot \sin^2(\beta/2) = 1/2 \times \text{albedo} \times G' (1 - \cos \beta)$$

Où G' est le rayonnement global au sol

Cette expression est évidemment valable aussi bien par ciel clair ou partiellement nuageux, que par ciel couvert.

c-4- Rayonnement global

Quelque soit la surface réceptrice, le rayonnement global incident est la somme des rayonnements direct et diffuse parvenant à cette surface.

- Pour une surface horizontale, on a :

$$G'_1 = B'_1 + D'_1 \quad \text{par ciel clair}$$

$$G'_2 = D'_2 \quad \text{par ciel couvert}$$

$$G' = B' + D' \quad \text{par ciel quelconque, partiellement couvert}$$

- Pour une surface inclinée, le rayonnement global correspond à la somme du rayonnement direct, du rayonnement diffus du ciel et du rayonnement diffus du sol parvenant sur cette surface.

$$G'(\beta, \alpha) = B'(\beta, \alpha) + D'_a(\beta, \alpha) + \text{albedo} \times G' \times \sin^2(\beta/2) \quad (\text{Brichambaut P., Vauge C., 1982})$$

II.2.3.2. Irradiation journalière sur un plan vertical et sur un plan horizontal pour la ville de Tizi – Ouzou

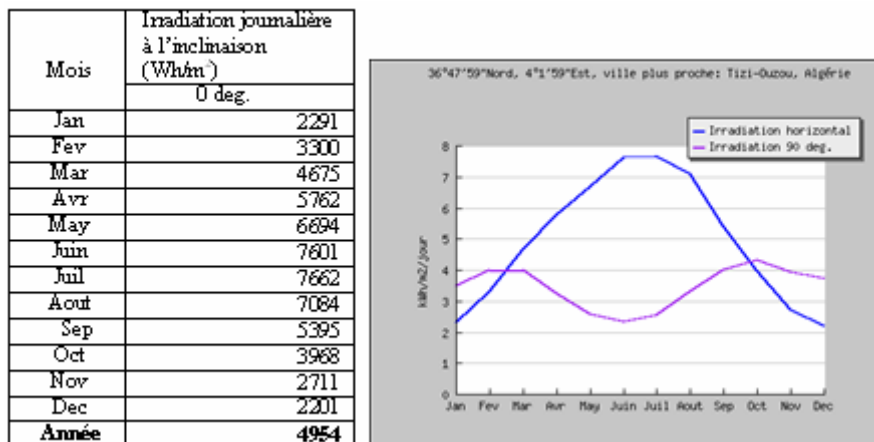
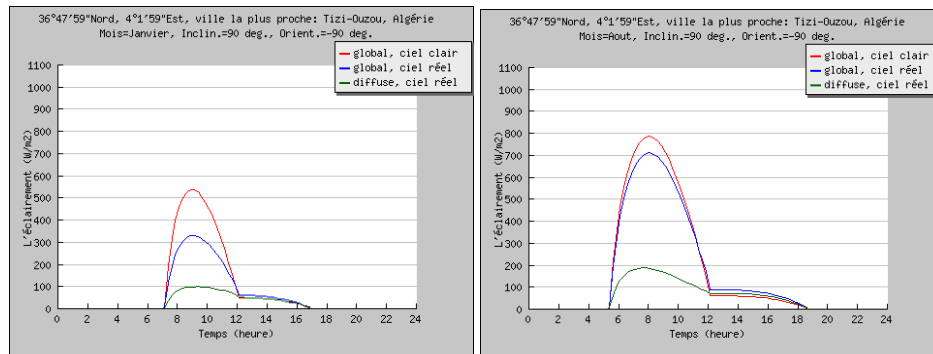


Figure 32: Irradiation globale incidente pour Tizi-Ouzou à 0°

Source: <http://iamest.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>

Ces valeurs représentent la moyenne par mois et par année de la somme de l'énergie solaire de rayonnement qui frappe un mètre carré dans un plan horizontal ou vertical en un jour. L'irradiation horizontale maximale est à son maximum en juin et juillet, alors que l'irradiation verticale est à son minimum aux mois de juin et juillet et à son maximum en février, mars, septembre, octobre et novembre.

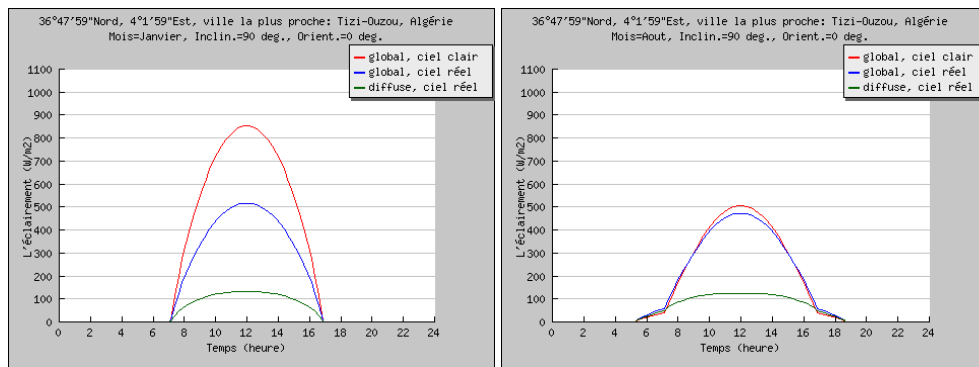
Variation d'éclairement journalière moyenne sur la face Est



Mois de Janvier

Mois d'Août

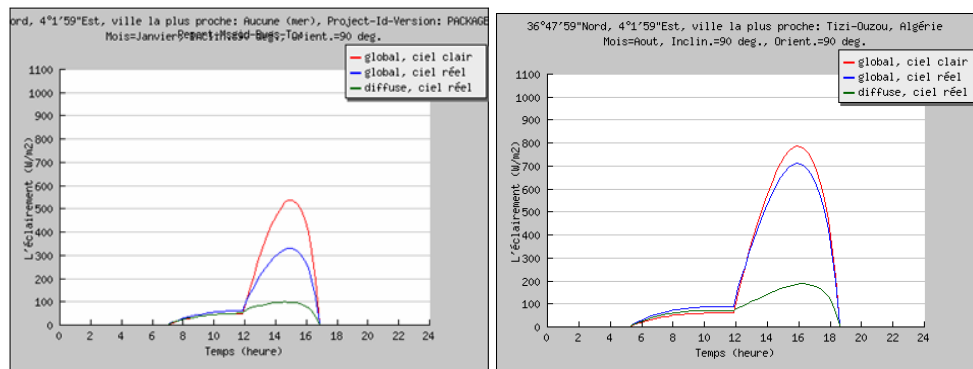
Variation d'éclairement journalière moyenne sur la face Sud



Mois de Janvier

Mois d'Août

Variation d'éclairement journalière moyenne sur la face Ouest



Mois de Janvier

Mois d'Août

Figure 33: Variation d'éclairement journalière moyenne sur les faces d'un bâtiment à Tizi-Ouzou

Source: <http://iaamest.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>

Selon les graphes ci-dessus l'éclairement global est au maximum à midi que ce soit en janvier ou en Août et commence de 7h jusqu'à 17h en janvier et de 5h jusqu'à 19h en Août alors qu'il atteint le maximum à 16h sur la face Ouest et à 10h sur la face Est. Ce qui fait de l'orientation Sud une orientation privilégiée pour la ville de Tizi-Ouzou en particulier et des régions méditerranéennes en général

II.2.3.3. La Place De L'ensoleillement En Architecture.

L'ensoleillement est en très grande partie responsable de divers effets sur tout bâtiment. Il peut être considéré en même temps comme:

- source d'énergie gratuite en hiver (qui entre dans le bilan énergétique de chauffage).
- source d'énergie cause d'inconfort thermique en été (très répandu).
- source lumineuse directe pouvant par pénétration directe dans les locaux provoquer un inconfort visuel.
- source lumineuse mobile, responsable des effets cinétiques mettant en jeu les modénatures de façade
- source lumineuse responsable de la luminance du ciel, qui devient à son tour source de lumière naturelle ("daylighting") pour les espaces construits.

Afin de bien maîtriser le projet et éviter une grande consommation d'énergie lors de l'utilisation du bâtiment, il est très recommandé de connaître tout les détails sur l'ensoleillement du bâtiment et bien maîtriser le projet en contrôlant tout les effets de l'ensoleillement, à travers les formes générales et les détails de conception des parois d'enveloppes, notamment ce qu'on appelle les "masques architecturaux".

En contrôlant l'ensoleillement, on se donne un minimum de moyens pour garantir que le résultat voulu sera atteint. Cela vaut pour toutes les formes (auvents, balcons, décrochements, loggias, patios), et pour tous les écrans solaires (lames horizontales, verticales, boîte-à-oeufs, claustras).

De nombreux architectes ont mis en œuvre des formes et objets architecturaux destinés à contrôler l'ensoleillement; cela s'est traduit en général par la façade épaisse (L. Kahn, J.L. Sert, Le Corbusier) ou par la systématisation des débords (F.L. Wright, R. Neutra, M. Breuer), par la création de brise-soleil (Le Corbusier, O. Niemeyer). Cela se prolonge aujourd'hui avec l'architecture "high tech" (N. Foster). Les architectes d'aujourd'hui semblent avoir perdu la conscience de ce problème, et le résultat est qu'il faut trouver des solutions de substitution qui sont généralement très coûteuses et génératrices d'une consommation d'énergie très importante.

II.2.4. Température De L'air

II.2.4.1. Les degrés jours

La notion de degrés jours (DJ) permet de comparer les années du point de vue des conditions climatiques et d'évaluer les besoins de chauffage. Le degré jour représente la différence exprimée en degrés centigrades, entre la température moyenne d'un jour déterminé

et une température de référence (les températures moyennes supérieures à la température de référence n'étant pas comptabilisées). Il représente la quantité de chaleur perdue par un édifice durant la période de froid, il n'intéresse que la période pendant laquelle, la température est inférieure à 18°C (Température de confort à l'intérieur d'un bâtiment).

Pour pouvoir mesurer la demande en énergie d'un local, il est impératif de mesurer l'écart de température entre l'ambiance intérieur et extérieur. La notion de degrés jours permet donc de mesurer la quantité de chaleur consommée par un bâtiment sur la période de chauffage. La consommation de chauffage est liée à l'écart de température entre l'ambiance intérieure et l'extérieur du bâtiment. En additionnant tous les écarts entre intérieur et extérieur sur tous les jours de la période de chauffe, on aura un nombre proportionnel au besoin de chaleur du bâtiment.

DJ = nombre de jours chauffés x (T intérieure moyenne - T extérieure moyenne).

mois	temp moyC°	Temp confortC°	dj
juillet	28,3	18	
août	26,9	18	
septembre	23,2	18	
octobre	20,5	18	
novembre	13,0	18	150
decembre	10,6	18	229,4
janvier	7,4	18	328,6
février	7,7	18	288,4
mars	12,8	18	161,2
avril	15,5	18	75
mai	20,6	18	
juin	25,2	18	

Tableau 04: évaluation des degrés jours par mois pour la période de 1996 à 2005 à Tizi-Ouzou

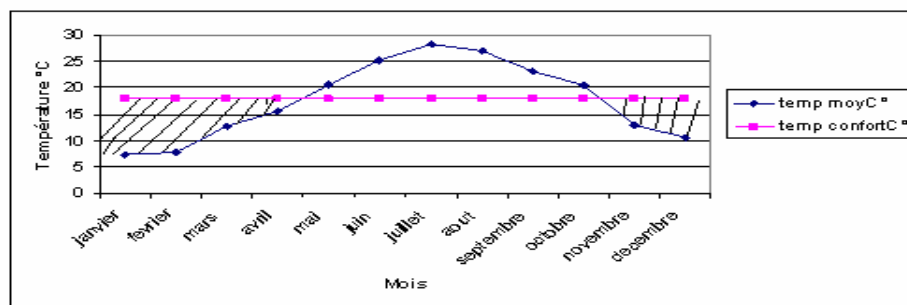


Figure 34: Définition de la période de chauffe pour la période de 1996 à 2005 à Tizi-Ouzou

Selon le graphe des degrés jours de 1996 à 2005 pour la ville de Tizi-Ouzou, La période de chauffe se trouve comprise entre la mi Octobre et la mi Mai, ce qui veut dire que la température de confort qui est de 18°C n'est pas atteinte pendant cette période et qu'il faut recourir à l'utilisation de chauffage. En revanche, de la deuxième moitié de mai à la mi octobre la température de 18°C est atteinte sans recours à un système de chauffage. Ce qui fait que la durée de la période de chauffe est de six mois.

Pour les prévisions de consommations d'énergie, il faut faire une intégrale dans le temps des pertes thermiques du bâtiment :

$$E = \int P dt = \int GV (T_i - T_e) dt \quad (\text{Roulet C.A., 1987})$$

Où V est le volume du bâtiment et G exprime les pertes thermiques d'un mètre cube de bâtiment si la différence de température intérieur– extérieur est de 1K

II.2.4.2. Température moyenne journalière

Un bâtiment possède une certaine inertie. On a donc considéré que son besoin de chauffage était proportionnel à la température moyenne d'une journée (et non à la température la plus froide de la nuit). Il a été convenu de prendre comme référence la moyenne arithmétique entre la température minimale de nuit et maximale de jour. Ainsi, une température minimale de -5°C à 3h00 du matin et +7° à 15h00, va être comptabilisée comme une journée dont la température moyenne est de 1°C. (Roulet C.A., 1987).

II.2.4.3. Degrés Jours "équivalents"

Le calcul des Degrés Jours repose sur le calcul des apports solaires propres à chaque bâtiment. Ainsi, un bâtiment fortement vitré bénéficiera d'un apport solaire hivernal important et ses besoins de chauffage diminueront d'autant. De plus, un bâtiment bien isolé verra sa chaudière coupée plus tôt puisque les mêmes apports des équipements intérieurs (l'éclairage artificiel par exemple) feront monter plus vite la température intérieure.

II.2.5. VENTS

Le mouvement de l'air est une autre partie importante du climat, à l'échelle locale aussi bien que globale. Par l'action du vent, les différentes zones climatiques interagissent les unes avec les autres. Le vent est aussi un élément important à prendre en compte dans la conception d'un bâtiment et son environnement immédiat. Les conditions du site, en particulier les vitesses de vent potentielles, peuvent influencer significativement la possibilité d'utilisation de la ventilation naturelle.

II.2.5.1. Grandeurs mesurées

La vitesse et la direction du vent ont un impact substantiel sur le microclimat et sur la demande énergétique des bâtiments. A l'échelle urbaine, les écoulements d'air modifient la température de l'air, et peuvent rapidement évacuer la chaleur due à l'ensoleillement des surfaces. De plus, le vent est un bon dilueur de la pollution de l'air. Tous les systèmes de

ventilation naturelle sont influencés par la vitesse et la direction du vent sur le site, et ces données sont très variables.

- **La vitesse**

Elle est généralement mesurée en m/s. Les vitesses du vent circulant librement sont normalement mesurées en terrain découvert à 10 m de hauteur. Les mesures en zone urbaine sont souvent faites à une hauteur comprise entre 10 et 20 m pour éviter les obstacles. Les vitesses près du sol sont plus faibles qu'en écoulement libre.

- **La direction**

La direction exacte peut être décrite par une échelle en degrés, où le Nord est généralement à 0° , tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Cette échelle en degrés est nommée le gisement ou l'azimut. On utilise généralement huit indications : les quatre points cardinaux (Nord, Est, Sud et Ouest) et quatre points semi- cardinaux (N.E, S.E, S.O et N.O). Occasionnellement ces huit directions sont encore subdivisées en 16 (N.N.W, O.N.W, N.N.E, etc.)

II.2.5.2. Vent, couche limite et rugosité

La topographie et le type de couverture du sol affectent le gradient de vitesse du vent. Près du sol la vitesse du vent est toujours plus faible qu'en hauteur, mais avec une couverture inégale du sol le taux de croissance de la vitesse avec la hauteur est plus important qu'avec une surface régulière et lisse, comme de l'eau.

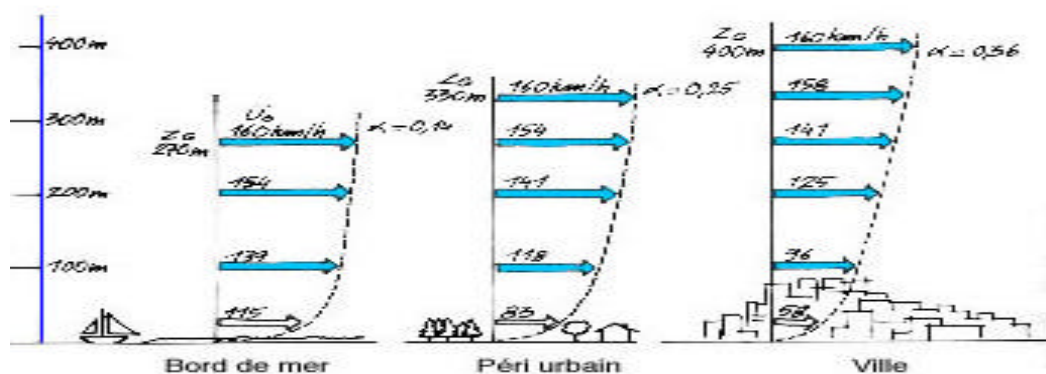


Figure 35 : Gradient de vitesse du vent pour diverses topographies

Source : (Orselli J., 2005)

La vitesse du vent peut être réduite après un long obstacle horizontal, par exemple de 50% à une distance égale à dix fois la hauteur et par 25% à une distance de vingt fois la hauteur.

II.2.5.3. Effet du vent sur les bâtiments

Le vent a une action déterminante dans les transferts de chaleur à la surface des parois des constructions, pour la ventilation des locaux et sur la qualité des espaces extérieurs, c'est pour cela que la connaissance des effets du vent sur les constructions est essentielle pour assurer leur stabilité. À l'approche du sol, l'énergie cinétique de l'air se dégrade avec l'apparition de mouvements désignés par le terme de *turbulence atmosphérique*. La couche limite atmosphérique est la couche d'atmosphère qui est le siège de cette turbulence.

Les mouvements d'air près du sol, l'épaisseur et les caractéristiques de la couche essentiellement turbulente, sont liés aux caractéristiques du sol, c'est-à-dire aux dimensions, disposition, répartition et nombre d'obstacles qui y sont présents. L'effet direct du vent sur un bâtiment est lié à la structure même des écoulements principaux et secondaires qui vont créer des champs de pression hétérogènes et variables autour des bâtiments. Ces écoulements peuvent causer des désordres dans le bon fonctionnement des systèmes couplés au bâtiment, notamment ceux qui assurent son contrôle climatique et sa ventilation ainsi que les systèmes de protection contre les nuisances des ambiances extérieures en affectant évidemment la sécurité des travailleurs et le confort des usagers.

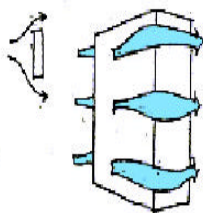
Les écoulements d'air autour des bâtiments peuvent affecter la sécurité des travailleurs, le confort des usagers ainsi que le bon fonctionnement des équipements. L'écoulement dans la sous- couche visqueuse est dominé par la viscosité. Si l'écoulement frappe un angle tel que le coin d'un bâtiment, un phénomène de séparation a lieu aussi tôt. Pour le bâtiment, c'est la connaissance des caractéristiques du vent au voisinage du sol qui est importante.

- **Formes bâties**

En milieu construit, les situations d'abri et d'exposition sont très variables car elles dépendent de la répartition des champs de pression autour des bâtiments. Il faut savoir que les conditions d'existence de ces phénomènes et leur intensité sont soumis essentiellement à l'environnement proche. Nous distinguons les formes isolées et les formes associées : (Orsell J., 2005)

- **Les formes isolées**

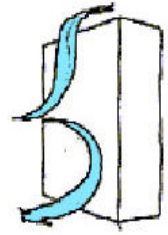
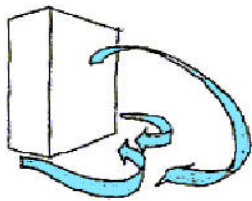
Effet de coin,



C'est un phénomène d'accélération localisée, à l'angle d'un bâtiment, dû à un gradient très élevé du champ de pression sur un espace limité entre la façade exposée et celle qui se situe en dépression. L'effet de coin est proportionnel à la hauteur de l'angle de la construction, dans le cas des bâtiments à niveaux ou des tours, la vitesse peut être de 1,2 à plus de 2 fois son état initial.

Effet de tourbillon amont,

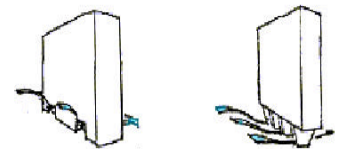
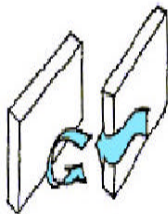
C'est un phénomène de mouvement d'air tourbillonnaire, à composante verticale, plongeant sur la façade directement exposée au vent. Pour les constructions basses l'effet est peu sensible, alors qu'il est important pour les constructions de plus de R+5

***Effet de sillage et de rouleau aval,***

C'est un phénomène de mouvement d'air tourbillonnaire sur la façade située sous le vent et plongeant sur la façade en dépression située sous le vent. Il est proportionnel à la surface du bâtiment qui s'oppose à l'écoulement principal du vent. La vitesse est faible au centre. La zone de séparation des écoulements au niveau du sol est in stationnaire et se situe à une distance d'une à deux fois la hauteur de la construction.

Effet de trou ou de passage sous immeuble,

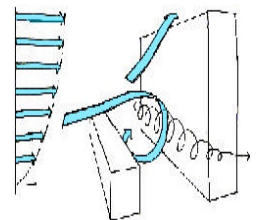
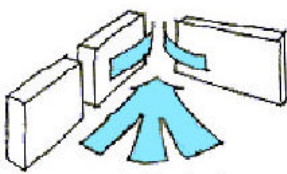
C'est un Phénomène d'accélération localisé du vent sur une zone de communication au niveau du sol entre 2 façades l'une en surpression, l'autre en dépression. Les valeurs de la survitesse évoluent entre 1,2 et 1,5 pour une hauteur construite variant de 20 à 50m.

***Effet de barre,***

C'est une disposition décalée de 2 constructions créant un couloir de La vitesse et la direction du vent ont un impact substantiel sur le microclimat et sur la demande énergétique des bâtiments. A l'échelle urbaine, les écoulements d'air modifient la température d'air, et peuvent rapidement évacuer la chaleur due à l'ensoleillement des surfaces. La valeur de la survitesse évolue entre 1,2 et 1,6 pour des constructions entre 12 et 35m de hauteur. (TAREB, 2004).

Effet Wise

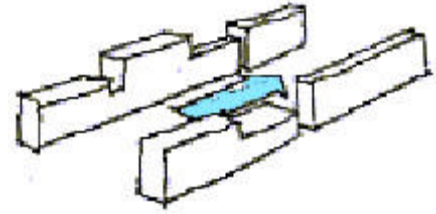
C'est l'association de bâtiments de tailles différentes et implantés parallèlement qui entretient un tourbillon à composante verticale issu de l'effet de tourbillon aval ou de sillage du bâtiment amont combiné avec le tourbillon amont du bâtiment situé en aval.

***Effet venturi,***

Disposition relative de 2 bâtiments formant un collecteur de flux, le rétrécissement du passage a pour effet d'augmenter la vitesse pour un débit identique.

Effet de canalisation,

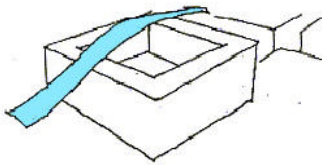
Il correspond à une configuration classique d'une rue délimitée par des constructions en continu de chaque cotés. Cette disposition entretient et prolonge tout phénomène situé au début de la rue.



Effet combiné venturi et canalisation

Il s'agit de l'association d'une place ouverte et d'une rue, la première fait office de collecteur et accélère les flux, la deuxième développe spatialement le phénomène.

Effet de maille ou de cour



Configuration appartenant à un tissu urbain homogène et créant une rugosité de sol, tendance générale à l'amélioration des conditions locales du vent.

Effet agora



Espace ouvert dégagé soumis à l'exposition directe du vent. Pour un espace dégagé de plus de 100m les effets de l'environnement proche ne se font plus sentir. Les lieux de type place sont dépendant des accès rues et autres éléments de convergence du vent.

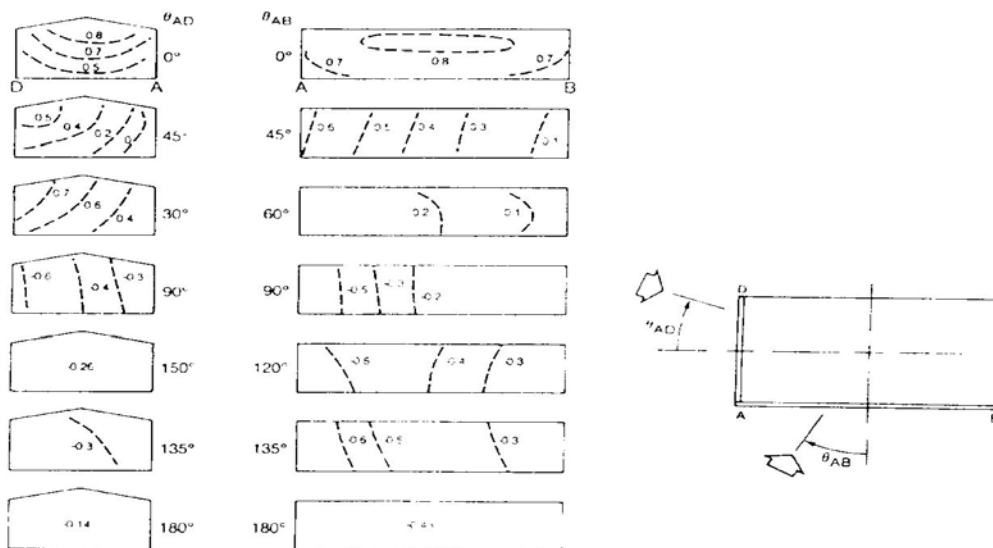


Figure 36: Exemple de distribution de C_p sur un bâtiment
Source : (TAREB, 2004)

II.2.6. Humidité

En plus de la température et des vents, l'humidité est le troisième paramètre important du climat. Elle apparaît en tant que vapeur et précipitations. Les précipitations sont mesurées en mm/a.

- **L'humidité relative**

L'humidité de l'air est souvent exprimée en "humidité relative". Cela peut être un concept difficile car l'humidité relative dépend autant de la température de l'air que de la quantité réelle de vapeur d'eau contenue dans l'air. Aux températures élevées l'air contient plus de vapeur d'eau qu'aux faibles températures.

L'humidité peut être absorbée jusqu'à atteindre la saturation à la température de l'air. Pendant la journée (spécialement le matin), comme la couche d'air la plus basse a été chauffée par la surface du sol, l'évaporation s'accroît, la vapeur peut être assimilée par l'air chaud. Les vents égalisent les différences de température et d'humidité entre basses et hautes couches. Aussi longtemps que la température s'accroît et que l'humidité absolue conserve son niveau, l'humidité relative décroît.

Le soir et durant la nuit, la situation est inversée. Spécialement lors d'une nuit claire avec un air calme, la couche la plus basse se refroidit, son humidité relative augmente, le point de saturation est bientôt atteint et avec un refroidissement supplémentaire l'humidité en excès se condense sous forme de rosée. Quand l'air atteint la température de rosée le brouillard commence à se former, et s'il n'y a ensuite ni refroidissement rapide et ni mouvement d'air, une épaisse couche de brouillard peut se développer près du sol.

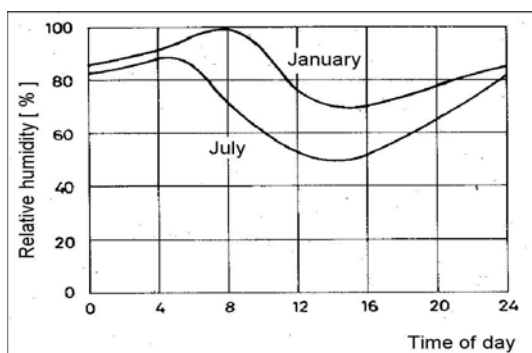


Figure 37 : Exemple d'évolution quotidienne de l'humidité relative en janvier et juillet
Source : (Labeyrie J., 1985)

II.2.7. Précipitations

Dépendant de la zone climatique et d'influences régionales, la quantité périodique de pluie varie beaucoup.

- Les précipitations globales moyennes sont d'environ 860 mm/a.
- La valeur minimale en zones chaudes et sèches est inférieure à 250 mm/a.

- La valeur maximale apparaît en zones chaudes et humides. Elle peut atteindre ou dépasser 2000 mm/a.

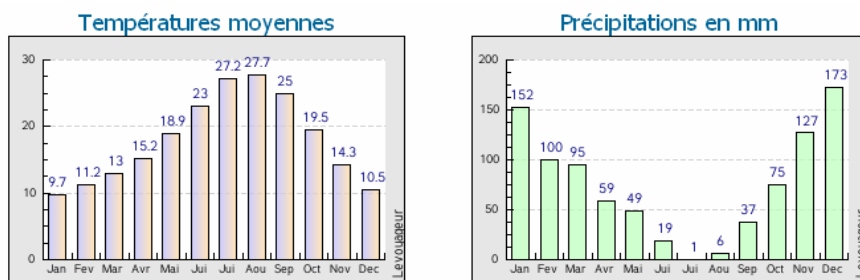


Figure 38 : température et précipitations moyennes de Tizi-Ouzou en 2008

Source : ONM

Les températures mentionnées ci dessus sont exprimées en degrés Celsius et représentent les moyennes mensuelles observées sur un grand nombre d'années.

L'évaporation tire son énergie de l'ensoleillement. Cela signifie qu'une haute température cause une évaporation intense qui conduit à d'intenses précipitations. Cela peut provoquer une forte humidité dans les zones chaudes proches de l'équateur. Cependant beaucoup de zones de chaleur sèche ont aussi un niveau élevé d'irradiation solaire, cela peut dessécher le sol et l'air en donnant un ensemble de faibles humidités et fortes températures là où la présence de la végétation est faible.

II.2.8. Construction Et Climat

Il est tout à fait naturel qu'une construction de n'importe quel type (bâtiment, pont, réseau enterré, route...), soit soumise aux agents climatiques. Ce qui explique d'ailleurs sa fonction de base qui est celle de protéger ses occupants et leurs biens de ces agents. Cette protection peut être contre le froid, le chaud, la pluie, le vent, la neige...

Les variations des phénomènes climatiques dans le temps et d'une région à une autre ne sont plus à démontrer, c'est pour cela que l'homme a de tout temps essayé de limiter les impacts de ces aléas naturels, en améliorant son savoir faire dans le domaine de la construction en s'adaptant à chaque climat, selon les aléas dominants, les matériaux disponibles, les reliefs, les habitudes etc... Ce savoir faire ancestral fait l'objet aujourd'hui d'une démarche scientifique et technique. La deuxième moitié du 20ème siècle a vu apparaître des réglementations techniques spécifiques à quelques agents climatiques tel que : les règles « neige et vent » en France, en 1946. Les règles techniques évoluent du fait des avancées dans la connaissance des phénomènes.

Il faut donc que l'homme puisse concilier entre le climat, l'environnement, et son confort.

II.3. Les Besoins De L'homme

En un siècle et demi, le confort a subi d'importantes modifications tout en restant une préoccupation relativement constante. Du confort luxe de la seconde moitié du XIX^{ème} siècle au temps actuel, où « tout est confort » il y a une différence importante du point de vue du niveau de vie, du mode de vie et surtout des technologies utilisées. La mécanisation du confort, la réalisation d'un minimum confortable technique, l'extension de la problématique du confort à la sphère public a peu à peu façonné le sens de cette notion. (Candas V., 2000)

C'est dans les années vingt à trente que s'est posé pour la première fois le problème du bien être ambiant pour toute la population (satisfaire en température, humidité et qualité de l'air). Entre 1946 et 1975 certains freins et obstacles à l'extension du confort vont être levés, lui permettant de devenir un enjeu économique et social. Le développement de la technologie va jouer un rôle très important dans l'amélioration du confort.

Ce qui différencie la situation de l'architecture moderne par rapport au problème énergétique des époques précédentes est non seulement la diminution des ressources énergétiques mais surtout les exigences d'un confort thermique généralisé.

De la volonté de satisfaire les exigences émergentes du confort thermique dans le bâtiment a résulté la généralisation de l'utilisation de machines thermiques afin de créer et de maintenir des conditions d'ambiance intérieures confortables et stables tout au long de l'année. Ce modèle d'architecture s'est internationalisé sans tenir compte des particularités du climat, du site, du bâtiment etc.... et entraîne ainsi de fortes consommations d'énergies d'origine fossiles épuisables et polluantes. (Lavigne P., 1994).

Les ambiances à l'intérieur des bâtiments, et les dépenses énergétiques qui sont associées à certaines d'entre elles, dépendent des qualités que le concepteur donne au bâtiment. La question centrale pour le concepteur est donc de maîtriser les facteurs de conception possédant une influence sur le comportement physique du bâtiment: cela concerne les phénomènes liés à la thermique, à la lumière, à l'aéraulique, à l'acoustique. La philosophie qui domine l'intervention de l'architecte dans ce domaine est que la bonne réponse aux facteurs agissants (essentiellement le climat local et l'environnement sonore et visuel) réside d'abord dans la conception architecturale, et que les technologies ne sont que de nature corrective, et n'interviennent donc qu'en aval de l'architecture.

II.3.1. Notion de confort a l'intérieur du bâtiment

La fonction essentielle de nos constructions est de créer un climat intérieur bien adapté

à nos besoins et notre bien être, en d'autres termes à notre confort qui se définit comme une sensation subjective fondée sur un ensemble de stimuli. Le confort à l'intérieur des bâtiments est la synthèse de perceptions multiples (lumineuse, thermique, aéraulique, sonore) qui répondent à la fois aux exigences physiologiques et aux aspects d'usage et de culture. Les normes en définissent les limites (qualité et taux de renouvellement de l'air, température minimum et maximum, niveau d'éclairage) pour préserver la santé des habitants. Le confort est donc une sensation psycho-physiologique faisant intervenir plusieurs paramètres. Il est difficile de cerner la notion très complexe de confort d'un point de vue scientifique.

Outre les conditions propres à l'individu (métabolisme, activité, habillement) les paramètres suivants qui ont une interaction certaine entre eux interviennent aussi dans le confort: (Roulet C.A., 1987).

Les conditions thermiques (température de l'air, sources de rayonnement, température des surfaces environnantes, la perméabilité thermique du sol)

- Qualité de l'air (vitesse relative de l'air par rapport au sujet, humidité relative et pureté de l'air, concentration en ions)
- Acoustique (niveau de bruit, temps de réverbération)
- Optique (éclairage naturel et artificiel, couleurs, volumes intérieurs et leur distribution)
- Degrés d'occupation des locaux
- Ambiance

La standardisation des modes de vie et Le développement économique aboutiront tôt ou tard à des normes de confort accrues pour une part grandissante de la population du globe et donc à une demande d'énergie renforcée. Cette évolution sera amplifiée par l'uniformisation des matériaux et des techniques de construction, ainsi que des pratiques architecturales, qui s'éloignent trop souvent des habitudes locales généralement bien adaptées à l'environnement.

II.3.2. Confort Thermique

II.3.2.1. La Notion De Confort Thermique

La neutralité thermique pendant laquelle l'homme ne désire pas un environnement plus chaud ou plus froid, est une condition nécessaire pour le confort thermique. Cependant, l'obtention de la neutralité thermique ne garantit pas le confort. Par exemple, une personne exposée à un champ d'émission asymétrique, pourrait se trouver dans un état de neutralité thermique mais pas de confort thermique.

Certaines définitions du confort intègrent les aspects physiologiques, telle que celle de Givoni. (Givoni B. 1972), qui présente le confort thermique comme l'ensemble des

conditions pour lesquelles les mécanismes d'autorégulation du corps sont à un niveau d'activité minimum, alors que celle de Fanger (Fanger P.O., 1972), prend en compte des éléments sensoriels du confort, définissant ainsi le confort comme un état d'esprit exprimant la satisfaction de son environnement. Du fait de l'aspect subjectif du confort thermique apparaissant comme un jugement affectif, son évaluation nécessite l'utilisation de trois échelles essentielles relatives à : la sensation, l'agrément et la préférence. (Moujalled B., 2007)

Pour obtenir le confort, un regard s'impose sur les réponses aux trois questions suivantes :

- Comment vous sentez -vous (Froid- Chaud) ?
- Comment trouvez -vous cela (Agréable-Désagréable) ?
- Que préféreriez-vous (plus froid-Plus chaud) ?

Chez l'Homme, le besoin de « satisfaction thermique » est évident et toutes les structures bâties sont équipées de systèmes permettant de réchauffer ou de refroidir le climat intérieur. La question de la définition du confort thermique se pose en ces termes. (Candas V., 2000)

Dans les milieux bâtis, le confort thermique constitue une exigence essentielle à laquelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires. La définition du confort est ainsi d'une grande importance pour le bâtiment afin de lui permettre d'atteindre ses objectifs de fonctionnalité tout en justifiant l'installation des équipements d'ambiance (chauffage, ventilation et climatisation).

S'il fallait classer les notions de confort, on pourrait se hasarder à la gradation suivante : (Candas V., 2000)

- **inconfort** : expression de l'insatisfaction ou du désagrément de façon continue ou répétitive.
- **confort dégradé** : résulte de l'apparition épisodique (temporelle) ou locale (spatiale) d'un certain inconfort non persistant ou ressenti localement mais de façon peu intense (par exemple, avoir légèrement froid aux pieds) ;
- **confort** : peut résulter de deux possibilités :
 - se déduit de l'absence exprimée de désagrément ou d'insatisfaction (échelle affective),
 - se déduit de l'incapacité qu'ont les gens à s'exprimer sur leur état thermique (échelle perceptive) ; cette notion est proche de l'indifférence ;
- **confort optimal** : résulte de l'expression de l'agrément du bien-être exprimé par l'individu par rapport au climat perçu (l'exemple le plus convaincant est celui de la douche : on ajuste la température de l'eau pour une sensation recherchée d'agrément) ;

- **confort maximal** : peut être celui qui résulte d'une parfaite adéquation entre tous les souhaits de l'individu et son état thermique (le bain à température « parfaite » pour l'individu peut correspondre à cet état). Il n'est pas sûr que ce confort maximal puisse être durable ; il correspond souvent à des phases transitoires qui font suite à des inconforts notoires.

Le confort thermique désigne ainsi une interaction forte entre l'occupant et le bâtiment, plus important qu'un simple voisinage décrit par un nombre limité d'équations physiques décrivant les transferts thermiques. Plusieurs configurations sont possibles:

- Le bâtiment influence l'occupant;
- L'occupant agit sur le bâtiment;
- Le bâtiment et l'occupant s'influencent mutuellement.

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique.

II.3.2.2. Les différents facteurs du confort thermique

L'environnement thermique est caractérisé par quatre grandeurs physiques (la température de l'air, la température de rayonnement, l'humidité et la vitesse de l'air). Ces variables réagissent avec l'activité et la vêtue du corps humain pour établir son état thermique et constituent ensemble les six paramètres de base des échanges thermiques entre l'homme et son environnement. Mais au delà de ces variables, la perception thermique d'un environnement peut être influencée par des variables physiologiques, psychologiques et sociologiques.

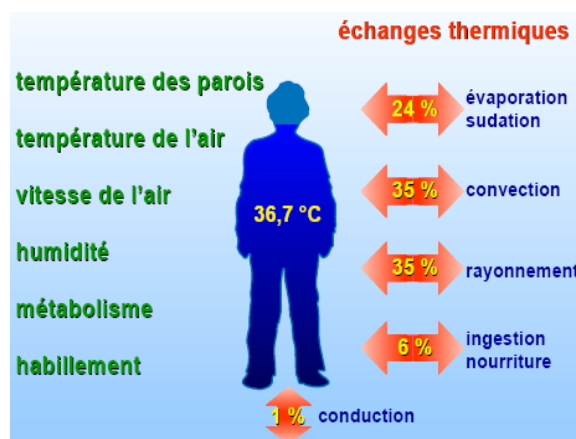


Figure 39: Les pertes thermiques du corps humain dépendent de 6 facteurs physiques
Source : (Lièbard A., de Herde A., 2005)

La recherche des conditions de confort thermique nous amène à étudier des phénomènes où interagissent les facteurs suivants: (Hollmuller P., Lachal B., Romério F., Weber W., 2003)

1. L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
2. La température ambiante de l'air T_a .
3. La température moyenne des parois T_p .
4. L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température t_a et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
5. La vitesse de l'air, qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s.

Les facteurs qui influencent le confort thermique peuvent être divisés en variables personnelles (telles que l'activité et l'habillement) et en variables environnementales (telles que la température de l'air, la vitesse de l'air, l'humidité de l'air ainsi que l'intensité du rayonnement). Ce dernier groupe dépend directement de la conception du bâtiment ainsi que des systèmes de chauffage et de refroidissement.

II.3.2.3. Aspect physiologique du confort thermique

Afin de garder sa température corporelle à une température avoisinant les 36,7°C, l'homme dispose de récepteurs sensoriels cutanés et internes qui l'informent à tout moment de son état thermique.

A tout déséquilibre thermique l'homme répond par un ensemble d'actions ou de réactions conscientes tel que la modification du niveau d'activité, ou de la vêtue ou bien inconscientes tel que la vasomotricité, agissant sur les échanges internes par modification du débit sanguin, la sudation augmentant les pertes évaporatoires au travers des pores de la peau par une production d'eau, et le frissonnement, qui participe à la production de chaleur par des réactions musculaires.

Le bilan des échanges thermiques entre le corps humain et l'environnement s'exprime comme suit : (Moujalled B., 2007).

$$Q_M - Q_{dif} - Q_{evap} - Q_{resp} = Q_r + Q_c \quad \text{Où}$$

Q_M est la chaleur métabolique

Q_{dif} est la diffusion par la peau

Q_{evap} est l'évaporation de sueur

Q_{resp} est la chaleur latente de la sudation

Q_r est les pertes thermiques par rayonnement de la surface extérieure d'une personne

Q_c est la chaleur convective vers l'environnement

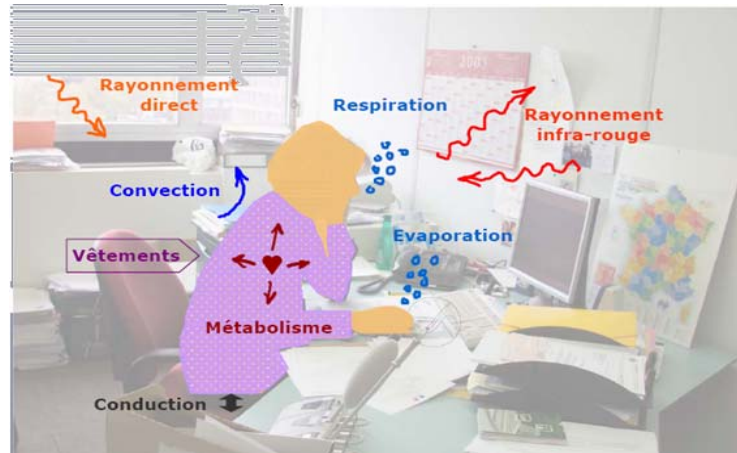


Figure 40: L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement
Source : Moujalled B., (2007)

- **Le métabolisme**

Le métabolisme représente la production de chaleur interne du corps humain nécessaire pour le maintenir à la température constante de 37°C. La température du corps humain étant généralement supérieure à celle de l'ambiance, il doit donc compenser les pertes de chaleur vers celle-ci. Le métabolisme est représenté par l'effort physique dépensé dans une activité, rapporté à l'unité de surface du corps de l'individu/ Il est exprimé en W/m² ou en met.

La quantité de chaleur émise par l'être humain dépend non seulement de la taille du corps et du degré d'activité mais aussi de l'individu (âge, sexe, etc...).

Le tableau 05 nous donne la chaleur du métabolique en fonction de l'activité d'un individu normal d'âge moyen. (Grundström K., Johansson E., Mraissi M., Ouahrani D., 2003)

Activité	Chaleur métabolique	
	W	met
Dormant	75	0,7
Au repos, Assis	110	1,0
Au bureau	110-145	1,0-1,4
Marche lente	135-180	1,3-1,7
Ménage	210-360	2,0-3,4
Marche rapide	270-395	2,6-3,8
Travaux manuels	425-505	4,0-4,8

Tableau 05 : Chaleur métabolique selon différentes activités
Source: ASHRAE 1997

- **Habillement**

L'habillement fonctionne comme une couche isolante et contribue ainsi à accroître la température du corps. Le pouvoir isolant est normalement exprimé en clo, une unité standard

pour la résistance à la chaleur de l'habillement ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$). Le tableau 06 montre les valeurs clo pour différents vêtements.

Vêtements	Isolation (clo)
Short, chemise manche courte	0,4
Pantalon, chemise	0,6
Comme ci-dessus, plus veste	1,0
Costume laine, gilet, chemise manches longues	1,5
Jupe /robe, chemisier, collant	0,5-0,7
Comme ci-dessus plus pull laine manches longues	1,1
Vêtement chaud plus manteau laine	2,0-2,5

Tableau 06 : Valeur clo pour différents vêtements (y compris les chaussures)
Source : ASHRAE 1997, Markus et Morris 1980

II.3.2.4. Aspect psychologiques

Il existe d'autres facteurs intrinsèques à l'individu et qui sont indépendants des aspects physiologiques du confort tel que l'âge, le poids, le régime alimentaire ou même la prise de médicaments qui influencent le jugement de confort d'un individu (Havenith G, Coenen JML, Kistemaker L, Kenney WL 1998). D'autres paramètres, davantage liés à l'ambiance du local dans lequel se trouve l'individu, peuvent aussi influencer la perception du confort. (Cordier N., 2007).

- La couleur de l'ambiance, on définit les couleurs froides (le bleu ou le vert), et les couleurs chaudes (le rouge et le jaune).
- L'occupation alentour : la présence d'occupants dans le local a une influence directe sur les conditions thermiques, par un dégagement de chaleur ou encore par l'augmentation de la température radiante.
- Le stress lié à l'agitation peut aussi modifier la perception de l'ambiance dans le local.

II.3.3. Présentation des modes de transfert de chaleur

La chaleur produite par le corps est dissipée dans l'environnement à travers la surface cutanée et par voie respiratoire sous forme de chaleur sensible et latente. La convection, le rayonnement, et la conduction sont les trois modes d'échange de chaleur sensible à la surface cutanée. La chaleur latente est reprise par évaporation de la sueur à la surface de la peau. La ventilation respiratoire dissipe la chaleur du corps par convection (chaleur sensible) et par évaporation (chaleur latente). (Moujalled B., 2007)

- **Les échanges radiatifs**

Lorsqu'il y a transmission de la chaleur par rayonnement, la chaleur se transmet d'un

corps à un autre par le moyen d'ondes électromagnétiques donc sans contact direct entre le corps émetteur et le corps récepteur. Son expression est donnée par la relation de Stefan-Boltzman

$$M^0 = \sigma T^4$$

σ Coefficient de rayonnement du corps considéré (constante de Stefan).

T Température de la surface,

M Emittance

On distingue deux catégories d'échanges radiatifs :

- Rayonnement CLO qui est le rayonnement courte longueur d'onde dû à des corps émettant dans le spectre des courtes longueurs d'ondes tels que le soleil, provoquant un apport énergétique non négligeable.
- Rayonnement GLO qui est provoqué par une différence de température entre le corps des occupants et les surfaces du local dans lequel il se trouve.

- **Les échanges convectifs**

Le transfert de chaleur s'effectue entre une surface et un fluide de températures différentes. Cette surface est souvent solide, mais elle peut définir deux masses fluides en mouvement. Son expression est donnée par la loi de Newton :

$$\Phi = h S (T_1 - T_2)$$

Φ puissance thermique en (Kcal/h), S surface du corps solide (m²) et h Coefficient d'échange thermique par convection (Kcal / h m²°C)

Le coefficient h dépend de plusieurs paramètres, sa valeur se présente donc sous forme de fonction plus ou moins complexe, suivant que l'écoulement est laminaire ou turbulent.

Les échanges convectifs peuvent être de nature libre s'ils sont issus d'une différence de température entre les vêtements de l'individu ou sa peau et la température de l'air ou forcée ou forcée pour les vitesses d'air importantes.

- **Les échanges conductifs**

La chaleur se propage à l'intérieur du corps, de particule en particule. La chaleur s'effectue grâce à l'énergie cinétique des molécules en mouvement, et sans qu'il y ait déplacement de ou des corps. Elle est régie par la loi de Fourier.

Pour une paroi homogène, l'application de la loi de Fourier, nous donne l'équation suivante :

$$\Phi = \lambda / e S (T_{pi} - T_{pe})$$

Φ Puissance thermique (Kcal/h), e Epaisseur de la paroi (m), λ Coefficient de conduction thermique (conductivité thermique) (Kcal/hm²°C), S Surface de la paroi (m²), T_{pi} Température de la paroi intérieure (°C), T_{pe} Température de la paroi extérieure (°C)

Les échanges conductifs apparaissent à chaque fois que l'individu se trouve en contact direct avec une surface de température différente. C'est un phénomène que l'on retrouve

quant l'individu exerce l'activité de bureau puisque son corps se trouve souvent en contact avec le mobilier.

- **Les échanges évaporatoires**

Il se présente sous deux formes, la respiration et la sudation

La respiration est un phénomène d'évaporation diffusive continue lié à la présence permanente d'eau sur la peau. La sudation est un processus de régulation qui se déclenche dès lors que le corps n'est plus en équilibre thermique.

- **Les échanges respiratoires**

C'est la chaleur sensible ou latente, issues des mouvements convectifs et évaporatoire au niveau pulmonaire.

II.3.4. Les paramètres de confort thermique

1- La température

1-a- La température de l'air

La température de l'air (°C, °F, ou K) est simplement la température du fluide qui circule autour d'un individu et qui détermine le flux de chaleur entre l'air et l'individu.

Par température de l'air, on entend la température ambiante mesurée soit à l'intérieur soit à l'extérieur à l'ombre, c'est probablement l'unité la plus généralement utilisée pour décrire le climat. (Rosenlund H., 2000)

- **Température sèche (Ts)**

Température de l'air au sens usuel du mot, indiquée par la lecture sur un thermomètre ordinaire dont le bulbe est sec et qui est protégé du rayonnement.

- **Température de rosée (Tr)**

Température maximale à laquelle l'air doit être refroidi pour qu'il devienne saturé en gardant la même teneur en eau.

- **Température humide (Th)**

Température d'évaporation de l'eau dans l'air, elle se mesure au moyen d'un thermomètre à bulbe humide, dont le réservoir est entouré d'une mèche humide et protégée du rayonnement.

Certaines études ont fourni une base scientifique permettant une réglementation des conditions de confort des lieux de travail. Par exemple, la réglementation pour la protection du travail (RGPT) dans son article 64 du titre II, impose des températures de l'air minimum-maximum en fonction du travail effectué, c'est-à-dire du métabolisme, pour une humidité relative comprise entre 40 et 70%. (Lavigne P., 1994).

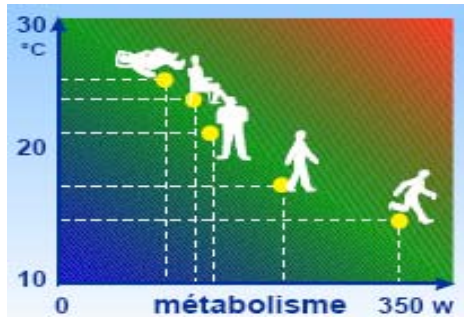


Figure 41: Température de confort pour différentes activités pour une tenue d'hivers (pantalon, chemise, pull à manches longues, chaussettes épaisses, et chaussures), une vitesse de l'air de 0,4 m/s et une humidité relative de 50 % (d'après O.Fanger)

Source : (Lièbard A., de Herde A., 2005)

Les valeurs de référence admises pour les températures de l'air sont données dans le tableau suivant. (Bodart M., 2002). Elles sont calculées pour une valeur moyenne de surface des parois inférieure de 2°C à la température de l'air. Ces valeurs peuvent être minorées si la différence est plus petite et doivent être majorées si la différence est plus grande.

On remarque que ces températures, bien qu'elles soient plus basses que les températures d'ambiance optimales de confort, elles sont acceptées dans certains cas comme température de confort dans le cadre d'une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie.

Type de local	Température de l'air
Locaux où des gens habillés normalement sont au repos ou exercent une activité physique très légère. Par exemple : bureaux, salles de cours, salles d'attente, restaurants, salles de réunion ou de conférence.	21°C
Locaux où des gens peu ou pas habillés sont au repos ou exercent une activité physique très légère. Par exemple salles d'examens ou soins médicaux, vestiaires.	23 à 25°C
Locaux où des gens habillés normalement exercent une activité physique légère. Par exemple ateliers, laboratoires, cuisines	17°C
Locaux où des gens peu habillés exercent une grande activité physique. Par exemple salles de gymnastique, salle de sport.	17°C
Locaux qui ne servent que de passage pour les gens habillés normalement. Par exemple corridors, cages d'escalier, vestiaires, sanitaire.	17°C
Locaux uniquement gardés à l'abri du gel. Par exemple garages, archives.	5°C

Tableau 07: Valeurs de référence de température de l'air

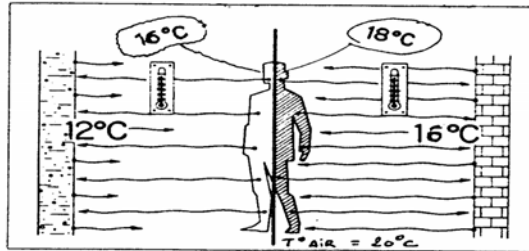
Source : (RGPT)

1-b- La température radiante moyenne

C'est la température moyenne des surfaces environnantes telles que : murs, plafond, sol et fenêtre. Elle détermine la perte de chaleur du corps par rayonnement vers les surfaces voisine, et a d'importantes répercussions sur le confort humain.

1-c- La température opérative

La température de l'air et la température moyenne émise sont souvent considérées comme un paramètre connu sous le nom de température sensible ou température de fonctionnement. C'est donc une moyenne pondérée de la température de l'air et de la température radiante ;



(Roulet, C.A., 1987)

$$t_{rs} = \frac{t_a + t_m}{2}$$

Figure 42: La température de confort dépend de la température de l'air et de la température des parois

La figure illustre la notion de température résultante sèche (température de confort) telle que définie plus haut. Pour une paroi non isolée (à gauche). La température de surface est basse ; 12°C, avec une température de l'air ambiant de 20°C, la température résultante sera de 16°C. Soit une température inconfortable : c'est l'effet dit « de paroi froide ». Le corps perd de la chaleur en direction des sources froides.

Pour une paroi isolée (paroi de droite). La température de surface est égale à 16°C et la température résultante augmente jusqu'à 18°C. La température des parois étant toujours inférieure à celle du corps. Ce dernier continue à perdre de la chaleur mais en moindre quantité. Lui permettant d'atteindre un état de confort. (Lavigne P., 1994)

2- Humidité de l'air

L'humidité de l'air, pouvant être exprimée en tant qu'humidité relative ou pression de vapeur, influence le confort principalement sous de fortes températures de l'air : plus l'humidité de l'air est élevée moins la personne supporte des températures hautes.

L'air contient de la vapeur d'eau. On mesure la quantité d'eau par un taux d'humidité qui peut varier de 0% (air parfaitement sec) à 100% (air saturé). La quantité de vapeur d'eau que peut contenir l'air augmente avec la température. Quand la température dépasse les 30°C, l'influence des changements de l'humidité relative peut avoir des incidences considérables sur le confort thermique. De hauts niveaux d'humidité provoquent par exemple, des problèmes d'électricité statique, le développement de micro-organismes et de moisissures. Le maintien de l'humidité relative entre 30% et 70% va limiter les problèmes de ce genre.

La figure 43 représente un diagramme de confort thermique dans le cas d'une activité légère en position assise, en tenue d'intérieur d'hiver et pour une vitesse de l'air $v = 0,2$ m/s.

La différence entre la température de l'air et la température moyenne de surface des parois est de 1°C et l'humidité relative varie entre 30 et 70%. (Lavigne P., 1994)

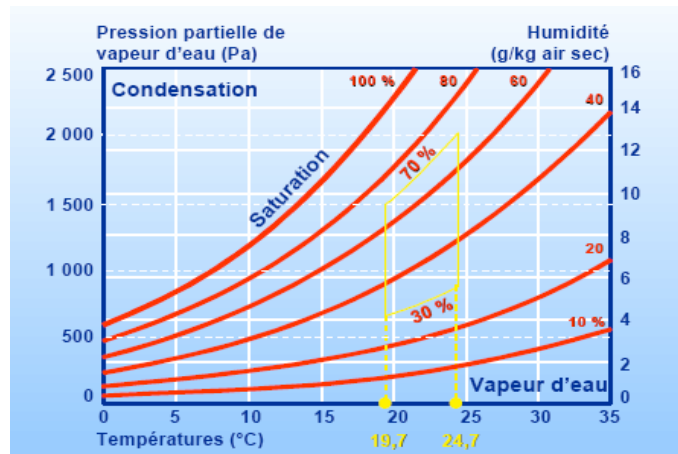


Figure 43 : Plage de confort pour une activité de bureau
Source : (Lièbard A., de Herde A., 2005)

3- Vitesse de l'air

La vitesse de l'air (en mètre par seconde) correspond au mouvement de l'air par rapport à un objet. Son intensité varie, impliquant une fréquence de variation que l'on quantifie par l'écart-type de la vitesse d'air moyenne. On introduit alors un facteur d'intensité de turbulence. L'impact de la vitesse de l'air est important car son effet est associé à celui de la température de l'air (convection) et à celui de l'humidité de l'air (évaporation).

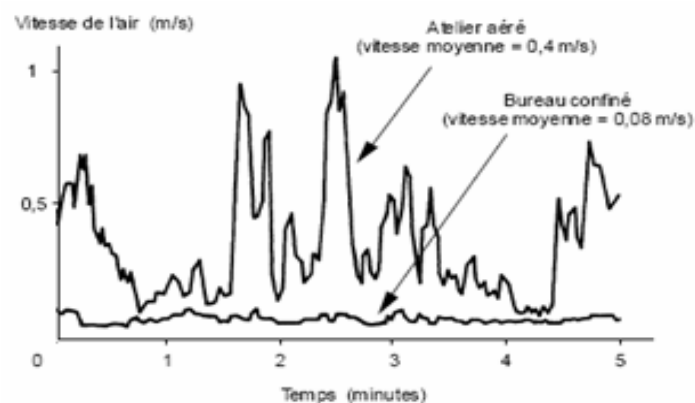


Figure 44 : Variabilité de la vitesse de l'air à l'intérieur des bâtiments
Source : Repris du polycopié d'Ergonomie. Cours B. 1973. Wisner.A.Craméd.

II.3.5. Modèles et indices de confort thermique

II.3.5.1. Modèle de confort thermique

Depuis des décennies, des modèles de prédiction des niveaux de confort à l'intérieur des locaux ont été développés afin d'évaluer et d'anticiper les niveaux de confort thermique en thermo-aéraulique du bâtiment.

Le modèle le plus largement répandu pour l'évaluation des conditions de confort reste le modèle de Fanger (Fanger P.O., 1967). Il considère les échanges de manières globales, dans une ambiance thermique stationnaire. Tous les modèles conduisent à la détermination d'indices de confort, l'indice associé au modèle de Fanger étant l'indice PMV (Predicted Mean Vote). (Fanger P.O., 1973).

II.3.5.2. Indice de confort thermique

PMV (Predicted Mean Vote). Cet indice établi par Fanger sur un échantillon de 1300 personnes permet de mesurer une sensation thermique globale du corps humain à partir du métabolisme. (Roux, J.J., Noël, J., 2004). Il donne la moyenne des votes d'un groupe important de personnes exprimant un vote par référence à une échelle de sensation thermique. Cette échelle (tableau 08) est en relation directe avec l'équation du confort relativement complexe définie par Fanger. (Fanger P.O., 1982). L'avantage de cet indice réside dans le fait qu'il permet d'obtenir un paramètre unique de confort en tenant compte de tous les paramètres principaux influençant le confort (physiques et physiologiques).

PMV	Sensation thermique
3	Très chaud
2	Chaud
1	Légèrement chaud
0	Neutre
-1	Légèrement froid
-2	Froid
-3	Très froid

Tableau 08 : échelle de sensation thermique

Source : (Fanger P.O., 1982)

Le PMV et le pourcentage d'insatisfaction PPD (Predicted percentage of dissatisfied) sont des indices qui permettent de vérifier si un environnement thermique donné amène au confort thermique. (Millanvoye M., 2003)

En raison des différences individuelles, il est difficile de spécifier une ambiance thermique satisfaisante pour chacun. Les conditions indiquées ici sont prévues pour être acceptables par au moins 80 % des occupants. Pour ceci, le PPD doit être inférieur à 10 % pour le confort de l'ensemble du corps, et moins de 10 % des occupants doivent éprouver un inconfort local, ce qui signifie que le PMV doit être maintenu dans les limites $\pm 0,5$. (Vogt & Metz in Scherrer J., 1981). PMV et PPD peuvent également être obtenus rapidement à l'aide d'appareils mesurant les paramètres thermiques. Il suffit alors de fournir les données concernant l'isolement vestimentaire et l'activité de l'opérateur pour connaître directement les résultats. (Roulet C. A., 1987).

II.3.6. Définition des zones de confort

Une zone de confort indique les limites, pour la température, l'humidité de l'air, etc., dans lesquelles le climat est considéré comme confortable.

La réaction de l'homme aux conditions climatiques externes varie d'une personne à une autre. A défaut de définir une zone de confort qui conviendra à tout le monde, on définit souvent la zone de confort comme celle où le confort est éprouvé par 80 à 90% de personnes. (Grundström K., Johansson, E., Mraissi M., Ouahrani D., 2003)

La définition de la zone de confort est surtout utile pour nous permettre de savoir à quel moment on peut utiliser une forme active de production de chaleur ou de froid. On utilise souvent ce que l'on appelle un diagramme psychrométrique dans lequel il est pris en compte aussi bien la température que l'humidité afin d'obtenir la zone de confort.

L'axe de température horizontal indique soit les températures à l'ombre (pour les études de l'extérieur) soit la température opérative (pour les études à l'intérieur des bâtiments). Le pouvoir de refroidissement du vent fait que la zone de confort se déplace vers la droite à chaque fois que la vitesse du vent augmente. A l'extérieur, l'apport de chaleur provoqué par les rayonnements solaires a un effet négatif dans un climat de températures élevées, mais positif dans un climat de faibles températures.

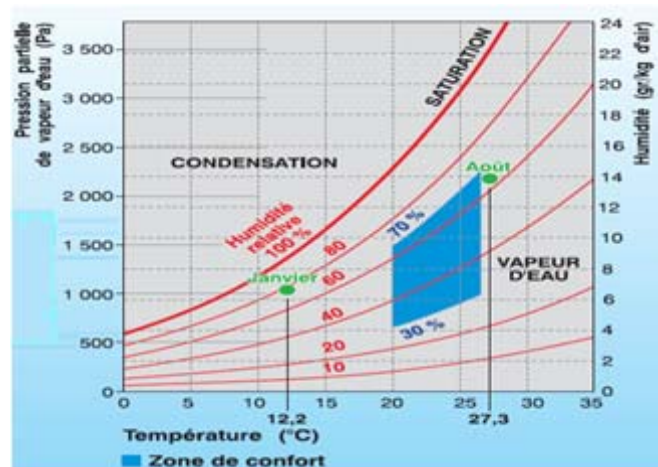


Figure 45: Le diagramme psychrométrique de la ville de Tunis
Source : Traité de l'architecture et de l'urbanisme bioclimatique

Le diagramme psychrométrique de la ville de Tunis indique que pendant l'hiver un système de chauffage est à prévoir surtout pour la nuit, vu que les températures sont en dessous de la zone de confort. A la mi saison l'inertie des bâtiments et les apports solaires bien utilisés peuvent ramener la température à la zone de confort. Pendant l'été, les moyennes des températures se situent dans la zone de confort, une bonne ventilation permet d'éviter l'emploi du conditionnement d'air.

II.3.7. Renfort du confort dans l'architecture pour les bureaux

Le corollaire à une stratégie de maîtrise de l'énergie poussée est l'obtention de bonnes conditions de confort thermique d'hiver et d'été, ainsi que le confort visuel (quantité et qualité de l'éclairage naturel, niveau de qualité de l'éclairage artificiel)

II.3.7.1. Le confort d'été dans les bureaux

Les bureaux sont surtout occupés de jour, c'est-à-dire quand les apports climatiques sont les plus forts. Les apports thermiques externes (grands vitrages) et internes (bureautique et occupation plus dense que dans l'habitat) justifient souvent la climatisation.

Le travail de bureau étant très statique, certaines sources d'inconfort se font sentir de façon plus importante. Comme par exemple,

- Asymétrie dans la température de rayonnement
- Courants d'air
- Température du sol trop basse ou trop élevée
- Stratification verticale des températures trop importante

La place que prend donc aujourd'hui la climatisation dans notre société tient autant à des facteurs socio-économiques, qu'à l'évolution de nos modes de vie, de consommation, ou à la confiance (trop grande) que nous accordons à la technologie.

La recherche du " confort thermique " vise à réduire les charges en énergie de nos bâtiments, tout en améliorant notre qualité de vie en offrant des ambiances intérieures plus saines. Afin de tirer parti au mieux des avantages de la nature, et de se protéger de leurs désagréments, une stratégie de confort d'été cherchera donc à remplir les 3 objectifs suivants :

- 1 - Limiter les apports solaires
- 2 - Réduire et dissiper l'énergie thermique à l'intérieur du bâtiment
- 3 - Favoriser les mouvements d'air et contrôler le taux d'humidité.

Pour chacun de ces objectifs, les moyens suivants sont envisageables :

- Une conception bio-climatique des bâtiments permet de limiter l'ensoleillement et d'augmenter les surfaces à l'ombre mais également de rechercher les orientations favorables au vent et de faciliter la ventilation notamment traversante.

- Le traitement des espaces extérieurs permet d'améliorer notablement la qualité de l'air entrant dans le bâtiment notamment par l'usage de la végétation (protection solaire et source de refroidissement de l'air par évapo-transpiration), par l'usage de l'eau (rafraîchissement et humidification de l'air sec et chaud), ainsi que par la limitation des surfaces imperméables

- La protection solaire des parois (vitrages, mais également toitures et murs) qui absorbent une partie du rayonnement solaire et peuvent le retransmettre à l'intérieur du logement
- L'utilisation de l'inertie thermique des parois pour stocker la fraîcheur nocturne et la restituer dans la journée
- La réduction des apports internes de chaleur par une optimisation des équipements et une réduction des consommations d'énergie.
- Une bonne ventilation, dans la mesure du possible " naturelle ", c'est-à-dire peu mécanisée, notamment en concevant des locaux traversants et en mettant en œuvre une surventilation nocturne.
- La maîtrise du renouvellement d'air qui permet notamment de réduire son taux d'humidité, d'assurer son oxygénation suffisante et d'éviter sa pollution par les odeurs. (Pacetta B., 2007).

Toutefois certains gestes doivent être faits pour arriver à un meilleur confort :

Ne pas ouvrir les fenêtres :

- Pendant les heures chaudes, dans les bâtiments non climatisés
- Quand la climatisation fonctionne

Pratiquer la surventilation nocturne quand elle est possible.

II.4. Conclusion

Afin d'avoir un bâtiment confortable sur tout les plans mais surtout thermiquement, les concepteurs ont surtout recours à la technologie en utilisant des équipements (pour la climatisation et le chauffage) grands consommateurs d'énergie et principaux producteurs de gaz à effet de serre donc des équipements pollueurs de l'atmosphère, très mauvais pour l'environnement.

Le climat a longtemps été un des paramètres les plus ignorés dans le processus de conception architecturale. Souvent la littérature se rapportant au climat est présentée sous une forme laborieuse, exigeant un investissement important en temps et en énergie pour être maîtrisé par un architecte dont les soucis dépassent souvent ce cadre d'où la tendance à négliger les paramètres climatiques au profit d'autres.

Il est important de dire aujourd'hui que sans une bonne connaissance du climat et de ses éléments, particulièrement le rayonnement solaire qui a une très grande influence sur les ambiances intérieures des bâtiments ainsi que les paramètres influençant le confort thermique nous ne pouvons avoir des bâtiments confortables sans une grande consommation énergétique.

III : Intégration du concept bioclimatique pour une utilisation rationnelle de l'énergie

III.1. Introduction

Afin de réduire la consommation d'énergie qui est de plus en plus croissante, il est plus que jamais nécessaire d'améliorer les performances énergétiques et environnementales des bâtiments. Au-delà des performances intrinsèques de l'objet bâtiment, encore très largement perfectibles, il convient d'agir également sur les impacts énergétiques et environnementaux respectifs, d'une part des différentes filières de construction utilisables (filière béton, filière bois, filière acier...) et des composants de construction, d'autre part des choix d'aménagement et d'implantation des bâtiments (accès aux sources et réseaux d'énergie, consommation de surfaces et d'espaces, modes de transport utilisables...)

Ce constat a aussi engendré un développement considérable de la recherche en énergétique afin de tendre vers une conception optimale du bâtiment. Les axes de recherche s'étendent de l'enveloppe (isolation, matériaux, vitrage etc...) jusqu'aux différents types d'installations techniques en incluant des systèmes de régulation et de gestion technique.

Le bâtiment traditionnel qui était caractérisé par sa grande efficacité énergétique, a été peu à peu remplacé par le bâtiment dit moderne, mais dont la performance énergétique est très mauvaise, du fait de la non prise en compte lors de sa conception, des conditions climatiques et du niveau de performance thermique requis. C'est pour cela qu'une bonne connaissance des systèmes passifs utilisés dans l'architecture bioclimatique et à utiliser lors de la conception des bâtiments tertiaires, est très importante afin de concevoir des bâtiments plus confortables avec une consommation énergétique moindre. Dans ce chapitre nous aborderons les caractéristiques du bâtiment tertiaire méditerranéen ainsi que les solutions techniques et réglementaires à utiliser afin de limiter la consommation d'énergie dans ce type de bâtiment.

III.2. Confort et énergie dans le bâtiment

On peut trouver des bâtiments naturellement confortables, alors que d'autres ont besoin d'importantes installations techniques, grandes consommatrices d'énergies, afin de garantir des conditions acceptables. Les conditions climatiques en zones méditerranéennes induisent des comportements spécifiques pour les bâtiments. En effet, alors que les besoins en chaleur en hiver sont assez faciles à couvrir, la satisfaction du confort d'été reste difficile à atteindre. Une bonne conception du bâti permet de satisfaire à ces demandes en confort, tout en réduisant la consommation énergétique des techniques actives de chauffage, ventilation, et rafraîchissement.

Un bâtiment devrait assurer, avec une consommation d'énergie limitée, un confort au moins équivalent à celui régnant à l'extérieur. (Gallo C., Sala M. et al, 1998). Après le déclenchement des installations de chauffage et de refroidissement, l'intérieur du bâtiment ne devrait être ni plus chaud en saison chaude, ni plus froid en saison froide. La figure 46 représente le comportement d'un bâtiment inadapté au climat et d'un bâtiment adapté au cours de l'année. En effet la bande grise représente les exigences de confort, C la température extérieure et on peut facilement lire les périodes de refroidissement et de chauffage pour un bâtiment A bien conçu et un bâtiment B inadapté à son climat.

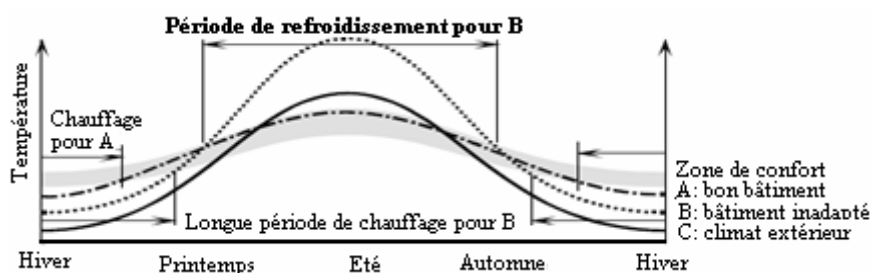


Figure 46 : Evolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, sans effet des installations techniques (chauffage ou climatisation).

Source : Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments

De nombreux exemples montrent qu'une forte consommation d'énergie ne va pas forcément de paire avec un confort élevé. Au contraire, la plupart des bâtiments à forte consommation sont inconfortables, et de nombreux bâtiments à basse consommation offrent un environnement intérieur de très bonne qualité. Les bâtiments bien isolés, construits selon les nouvelles normes, présentent une consommation annuelle moyenne réduite à moins de la moitié. Pour limiter la consommation d'énergie à des valeurs raisonnables, il est nécessaire de savoir où agir. Il faut donc pouvoir prédire les flux d'énergie dans le bâtiment, afin d'agir là où les mesures d'économie d'énergie seront les plus efficaces et les mieux à même d'offrir un confort élevé. (Chatelet A., Fernandez P., Lavigne P., 1998)

III.3. Consommation d'énergie dans le bâtiment tertiaire méditerranéen

Pour les pays de la région méditerranéenne, la population est passée de 285 millions d'habitants en 1970 à 465 millions en 2006. (Plan bleu, 2008) (2). Par conséquent, la demande dans le secteur du bâtiment a augmenté considérablement et a fait de la construction l'un des principaux moteurs de la croissance de ces pays. L'accroissement de la demande d'énergie est ainsi en passe de devenir un problème crucial pour la région, compte tenu du contexte énergétique international et de la part des énergies fossiles dont les consommations

couvriraient encore 87 % des consommations énergétiques, avec 40 % pour le pétrole. (Plan bleu, 2008) (1).

III.3.1. Bâtiment tertiaire

Le tertiaire dans le bâtiment correspond aux bâtiments occupés par les activités du secteur tertiaire (commerces, bureaux, santé, enseignement, infrastructures collectives destinées aux sports, aux loisirs, aux transports, CHR: cafés/hôtels/restaurants, et généralement tous les E.R.P: établissements destinés à recevoir du public). Le secteur tertiaire comprend de très nombreux bâtiments qui sont suffisamment vastes ou complexes pour que l'exploitation technique y soit une activité identifiée. Il est difficile de préciser des seuils de surface, la complexité technique (liée aux activités abritées) étant un élément correcteur majeur. On peut toutefois retenir entre 1 500 m² et 2 500 m² comme seuil bas et entre 6 000 m² et 10 000 m² comme seuil haut. (ADEME, 2003).

Le secteur tertiaire présente un certain nombre de caractéristiques communes avec le secteur résidentiel en matière de consommation d'énergie, notamment une forte demande de chauffage et un usage important de l'électricité pour l'éclairage et le fonctionnement de différents appareils. Les grands axes de la politique de maîtrise de la demande d'énergie dans le secteur tertiaire concernent essentiellement l'efficacité énergétique du bâtiment. Les politiques publiques ont cherchés à actionner conjointement deux leviers : une approche réglementaire, d'une part, et la transformation des comportements individuels de consommation dans le lieu de travail à travers l'information et la sensibilisation, d'autre part.

Dans le secteur du tertiaire et dans tout les pays du monde, il a été constaté que les branches les plus consommatrices d'énergie sont les commerces et les bureaux. La consommation d'énergie dans les immeubles de bureaux varie entre 100 et 1000 kwh/m² selon leurs situations géographiques, les types d'équipements de bureau utilisés, le type de l'enveloppe du bâtiment, le type d'éclairage etc ... (Weckstein M., Salagnac J.L., 2006).

III.3.2. Bâtiment tertiaire méditerranéen et ses caractéristiques

Le climat méditerranéen, caractérisé par des conditions climatiques spécifiques avec des hivers cléments et ensoleillés, et des étés aux pointes de chaleur extrêmement élevées, induisent impérativement des besoins spécifiques, notamment concernant le confort d'été, alors que les besoins en chauffage sont relativement faciles à couvrir.

Le bâtiment méditerranéen doit être facile à chauffer, mais doit aussi rester frais en été, avec une consommation d'énergie aussi réduite que possible.

« C'est cette prise en compte du climat estival et de ses conséquences en terme de confort qui caractérise le plus le bâtiment méditerranéen. Une bonne conception du bâti permet à satisfaire à ces demandes en réduisant voire en annulant les dépenses énergétiques des techniques actives de chauffage, ventilation et rafraîchissement. Cette conception doit en outre procurer un confort visuel, acoustique et une qualité de l'air, tout en tenant compte de l'occupation des bâtiments et du comportement des usagers. »¹

Le confort thermique n'est pas le seul à être recherché dans la conception d'un bâtiment méditerranéen, elle devra procurer un confort visuel, acoustique et une bonne qualité de l'air tout en tenant compte de l'occupation du bâtiment et du comportement des usagers. Cette conception devra avant tout s'attacher à la qualité de l'enveloppe afin de parvenir aux performances que l'on peut attendre d'un tel bâtiment. Les équipements techniques nécessaires au maintien du confort intérieur devront assurer leurs fonctions dans des conditions d'efficacité énergétique optimales.

Le climat méditerranéen, avec ses importants apports solaires, semble donc tout indiqué pour la construction de bâtiments climatiques à consommation d'énergie très réduite. Le rafraîchissement sera au cœur des préoccupations pour la réduction de la consommation énergétique globale. L'augmentation de vente de petits systèmes de climatisation (systèmes split pour la plupart des cas, très énergivores) témoignent de l'importance à accorder au confort d'été.

Jusqu'à il n'y a pas longtemps, l'attention restait principalement focalisée sur le secteur du logement, pourtant l'impact du parc tertiaire est loin d'être négligeable, surtout si l'on considère que sa consommation finale s'est accrue de plus de 25% en quelques années, en raison de la multiplication des usages spécifiques de l'électricité (bureautique et éclairage) ainsi que la généralisation de la climatisation dans les locaux. Les bureaux sont les plus grands consommateurs d'énergie dans le secteur du tertiaire. Même si la consommation d'énergie final pour la climatisation a sensiblement augmenté ces dernières années, c'est le chauffage qui constitue le premier poste énergétique pour les bureaux.

III.3.2.1. Consommations d'énergie pour la construction des bâtiments

La consommation énergétique pour la construction d'un bâtiment comprend la consommation directe pour la réalisation des chantiers et la consommation indirecte pour la fabrication des matériaux, leur approvisionnement et leur transport vers les chantiers. Pour le

¹ Extrait de «L'Energie dans la programmation des bâtiments en région méditerranéenne », Commission Européenne

bâtiment existant, elle est comprise entre 7 et 10% de la consommation énergétique sur leur durée de vie (dont 5 % pour la part imputable à la seule fabrication des matériaux). Pour les bâtiments neufs, la proportion est de l'ordre de 15 %. Avec des bâtiments à très haute performance énergétique cette proportion pourrait atteindre 20 à 25 % de la consommation énergétique sur leur durée de vie. (ADEME, 2003).

III.3.3. Consommation d'énergie dans le bâtiment tertiaire en France

En France le secteur du bâtiment (Résidentiel et tertiaire) est à l'origine de 19 % des émissions nationales de gaz à effet de serre et de 25 % des émissions nationales de CO₂ soit, plus d'une demi-tonne de carbone par an et par personne. Sa consommation en énergie finale est de 42 %, soit 1,1 tonne d'équivalent pétrole par an et par personne (Plan Climat, 2004). La consommation d'énergie des bâtiments a augmenté de 8 % par an au cours des 30 dernières années du fait de l'accroissement du parc des bâtiments, de l'accroissement de la surface moyenne des locaux, de l'augmentation du confort et de l'apparition de nouveaux besoins. Le chauffage, la climatisation et l'électricité représentent la plus grande part des consommations d'énergie. (ADEME, 2003).

Branches (1)	Parcs	Consommations
	Millions de M ²	TWh
Commerces	1883	497
Bureaux	1728	512
Enseignement	1664	266
Santé-Action sociale	939	17
Sport-Loisir	611	226
CAHORE (2)	543	226
Habitat communautaire	535	123
Transports (3)	243	87
TOTAL	8146	2141

(1) Hors armées, artisanat, grands établissements publics de recherches et d'éclairage public.
 (2) CAHORE = Cafés, Hôtels, Restaurants.
 (3) Gares et Aéroports.

Tableau 9: Secteur tertiaire : Parcs et consommation énergétique finales 2001.
Source : (ADEME, 2003)

La consommation totale du secteur tertiaire en France est de 214,1 TWh en 2001 et ce pour une surface de 814,6 millions de m² de bâtiments chauffés ou climatisés. Sur la période 1986-2001, le taux de croissance des surfaces du parc tertiaire s'établit à 1,8 % par an en moyenne alors que celui des consommations d'énergie est légèrement supérieur et s'élève à 1,9 % par an. Les deux branches les plus consommatrices d'énergie sont les commerces et les bureaux. Elles représentent à elles seules près de la moitié des consommations.

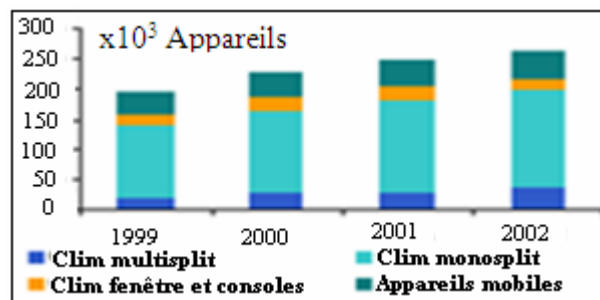
III.3.3.1. Consommation d'énergie par usage des bâtiments du secteur tertiaire

L'usage de chauffage représente le premier poste de consommation avec 54 % de la consommation totale. Le second poste recouvre les usages spécifiques de l'électricité (26 %). La climatisation représentait en 2001, 10,3 TWh, soit 5 % de la consommation totale du

secteur, mais elle augmente de plus en plus lors de ces dernières années. (ADEME, 2005).

L'électricité spécifique marque l'évolution la plus importante dans le tertiaire, soit 38% pour l'année 2003 par rapport à 1990. (ADEME, 2005). Même si une faible part de cette consommation est due à la climatisation, ce poste reste l'un des seuls qui augmente fortement depuis plusieurs années. La Figure 47, montre l'évolution des installations de climatiseurs en France qui ne cesse de croître, reflétant le souci grandissant du confort thermique en période estivale et la volonté de se prémunir contre les effets d'une éventuelle canicule.

Figure 47 : Climatiseurs individuels de moins de 17.5 KW en France
Source : (CENERG, 2006)



Le confort thermique en période estivale est devenu un enjeu prépondérant, tant énergétique que sanitaire.

Branches	Consommation d'énergie (TWh)					
	Chauffage	ESC	Cuisson	Électricité spécifique	Climatisation	Total
Commerces	22,2	2,9	1,1	20,5	2,9	49,7
Bureaux	28,5	1,4	0,8	16,3	4,2	51,2
Enseignement	19,9	2,4	1,6	2,3	0,3	26,6
Santé-Education sociale	14,9	3,7	1,2	5,3	1	26,6
Sports-Loisirs	9,1	3,8	0,4	2,9	0,8	17
CAHORE	9,8	2,6	5,9	3,3	0,9	22,6
Habitat communautaire	7	2,1	1,3	1,9	0,1	12,3
Transports	4	0,5	1,2	3,8	0,1	8,7
TOTAL	115,4	19,4	12,7	56,3	10,3	214,1
Parts en %	54%	9%	6%	26%	5%	100%

Tableau 10:
Tertiaire :
Consommations
énergétiques finales
par usages en 2001
Source : (CEREN-
Climat normal)

Les consommations par usage peuvent varier fortement selon la nature de l'activité. Ainsi, par exemple, la part du chauffage dans la consommation totale représente 43 % pour la branche CAHORE, 45 % pour la branche Commerces alors qu'elle atteint 56 % dans les bureaux, 57 % dans le secteur de la santé et atteint les 75 % dans les locaux d'enseignement. (ADEME, 2005).

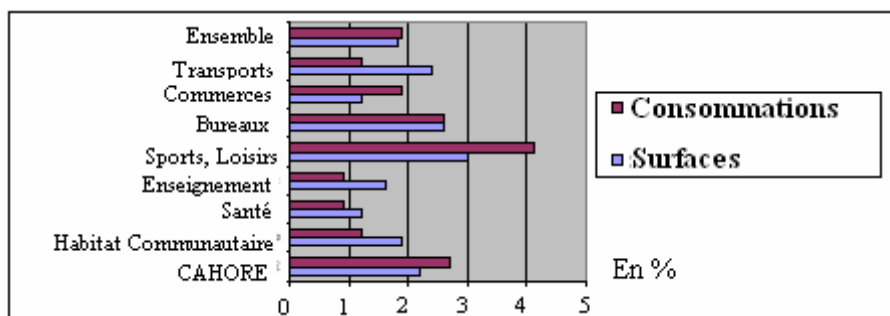


Figure 48: Taux de croissance moyen annuel des parcs et consommations par branches du secteur tertiaire entre 1986 et 2001.
Source : CEREN-Climat normal

Les consommations unitaires du secteur tertiaire rapportées au m², restent stables, malgré une forte tendance à l'augmentation des consommations, du fait de la croissance continue en équipement des bâtiments pour assurer des services toujours plus nombreux et, inversement, du fait du progrès technologique rapide sur ces équipements et de la mise en œuvre de la réglementation thermique sur la construction neuve.

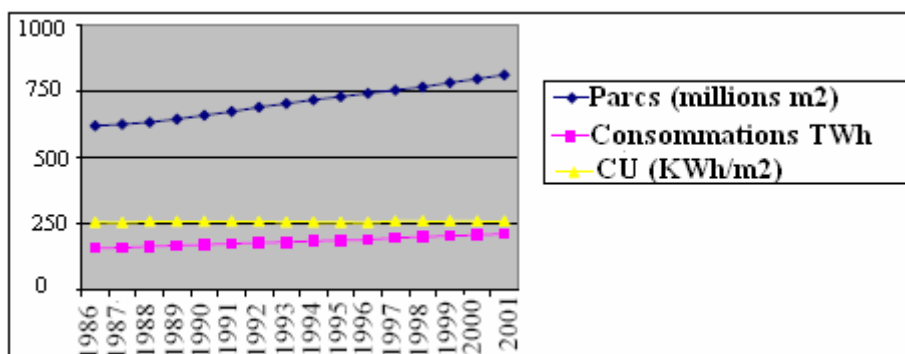


Figure 49 : Evolution des parcs et consommation du secteur tertiaire en France

Source : CEREN-Climat normal

III-3-4- Consommation d'énergie dans le bâtiment tertiaire en Algérie

L'Algérie connaît depuis bientôt une décennie un développement intense et soutenu de la construction des bâtiments tertiaires, initiés par les promoteurs privés et publics. Le nombre de bâtiments tertiaires réalisés par l'état ces dix dernières années est considérable, il atteint les 4789 bâtiments de 1999 à 2008 et il concerne tous les secteurs confondus (**Tableau 11**).

Secteur	Année										Total
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Education nationale	124	158	176	197	197	210	193	283	232	379	2149
Formation	16	14	13	15	14	03	01	03	01	01	81
Enseignement supérieur	40	52	48	76	59	74	113	126	95	171	854
Administratif	48	42	58	62	69	45	52	52	42	114	584
Jeunesse et sport	55	83	89	161	220	34	09	03	03	02	659
Santé	34	48	150	53	33	-	01	04	-	02	325
Justice	06	02	08	05	06	09	02	06	04	03	51
Culture	09	06	04	06	07	12	03	08	06	17	78
Affaires religieuses	-	-	-	-	-	-	-	-	01	04	05
Solidarité	-	-	-	-	-	-	-	-	-	03	03
Total	332	405	546	575	605	387	374	485	387	693	4789

Tableau 11: Les équipements publics réalisés durant les dix dernières années (par secteur)

Source : (Ministère de l'habitat, 2009)

Les exigences et normes internationales en matière de performances énergétiques et environnementales des constructions ne sont pas encore suffisamment intégrées aux processus de conception et de construction. Ceci conduit d'ores et déjà à de grandes pressions sur les ressources (énergie, eau, matériaux, ...), à des impacts importants sur l'environnement et ne contribue nullement au développement durable des territoires, ni, au plan mondial, à la lutte contre le réchauffement climatique. En 2005, le secteur du tertiaire en Algérie a atteint une consommation énergétique de 4 millions de tep.

Comme pour la France, les deux secteurs d'activités les plus consommateurs d'énergie sont les commerces et les bureaux qui représentent plus de la moitié de la consommation totale.

Branches	Consommations
	%
Commerces	39
Administration centrale	19
Tourisme	8
Santé, action sociale	12
Education	8
Eclairage public	5
Autres	5

Tableau 12: Consommation d'énergie par branche d'activité.
Source : CEREN-Climat normal

La consommation du tertiaire par type d'énergie, montre que l'électricité est prédominante par rapport aux autres types d'énergie et ce suite à l'introduction massive des équipements de chauffage et de climatisation et la généralisation de l'utilisation du matériel de bureautique et informatique. A noter qu'une forte demande d'électricité est à prévoir en raison des perspectives de développement de ce secteur.

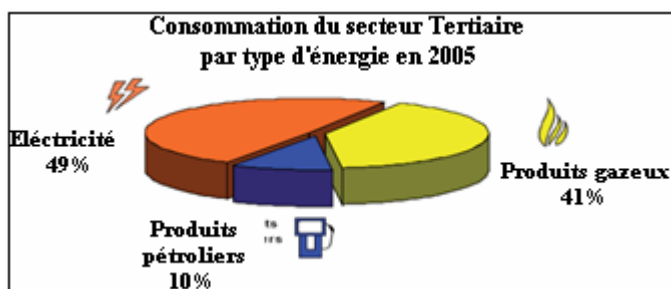


Figure 50 : Répartition de la consommation du tertiaire par type d'énergie
Source : (APRUE, 2007)

La consommation finale du secteur a progressé annuellement de 6% entre 2000 et 2005. 90% de l'électricité produite sert essentiellement à l'éclairage et au refroidissement des locaux, alors que le chauffage et la cuisson représentent 60% de la consommation du gaz naturel. (APRUE, 2007).

La vente d'électricité a augmenté durant les dernières années de 4% par an. Les ventes d'électricité haute tension et moyenne tension ont augmenté en une décennie respectivement de 43% et 63%. L'utilisation domestique et bureautique explose (la moitié de la consommation énergétique du pays en 2005). Selon le groupe Sonelgaz, la demande d'électricité croît de 7% par année. (DGTPE, 2006)

Les questions de la disponibilité et du coût des énergies fossiles deviennent problématiques. L'Algérie envisage aussi leur substitution par d'autres sources. Le marché des énergies renouvelables est prometteur, et leur promotion constitue un des grands axes de la politique énergétique et environnementale du pays.

Lors d'une réunion à Rome, réunissant les ministres de l'Union Européenne et des

pays du Maghreb, en décembre 2003, la promotion de la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables au Maghreb est mise en avant. Dans les objectifs formulés, le marché local doit atteindre 500 MW d'ici 2010, amenant la part de l'électricité produite par les énergies renouvelables à 5% de l'électricité totale produite. Concernant l'export, le marché européen est en mesure d'absorber 1 000 MW d'énergie renouvelable venant d'Algérie. (DGTPE, 2006)

III.4. Qualité environnementale des immeubles tertiaires

L'efficacité de la gestion énergétique constitue l'une des priorités de la démarche Algérienne qui se veut pleinement inscrite dans la problématique du développement durable, considérant le bâtiment dans sa globalité. Elle a pour objectif de limiter l'ensemble des impacts de la construction d'un immeuble sur l'environnement tout en assurant à l'intérieur des conditions de travail saines et confortables. Il ne faut pas oublier que c'est le bâti existant qui détermine le niveau des pollutions et des consommations actuelles et à venir, c'est pourquoi il importerait de pérenniser la démarche environnementale au-delà de la phase de production pour la promouvoir dans la gestion et la rénovation des bâtiments, permettant l'amélioration de la performance de l'ensemble du parc du tertiaire. En effet, la démarche incite à mettre en œuvre des techniques innovantes de conception de l'enveloppe et de la structure ainsi que de conception bioclimatique² tirant profit de l'inertie des constructions pour réduire les besoins de rafraîchissement en été, de chauffage en hiver et d'éclairage artificiel.

III.5. La demande énergétique dans les immeubles de bureaux

D'après ce qui a été vu précédemment, les deux secteurs les plus consommateurs d'énergie sont les bureaux et les commerces. Il est donc intéressant d'étudier les bâtiments de bureaux, vu que le secteur commerciale est plus varié et doit être étudié au cas par cas.

III.5.1. Bref aperçu sur l'évolution des immeubles de bureaux

Les premiers bâtiments de bureau érigés au XIX^e siècle, étaient ventilés et éclairés naturellement, les bureaux étaient peu profonds afin d'assurer la pénétration de la lumière naturelle et permettre la ventilation transversale et ce jusqu'au moment de l'apparition de l'éclairage électrique et plus tard de la ventilation mécanique et du conditionnement d'air qui

² Orientation, compacité du bâtiment, dimensionnement des surfaces vitrées, Forte isolation thermique, toiture végétalisée, protection solaire, rafraîchissement nocturne...

ont permis au concepteur de ne plus tenir compte de ces contraintes. C'est ainsi qu'au début des années 60, les bâtiments sont devenus plus larges, souvent vitrés sur toute la façade, provoquant des surchauffes en été vu que les systèmes de refroidissement d'air étaient peu efficace. A partir des années 70, les charges internes des bâtiments augmentèrent avec le progrès réalisés en termes d'équipements d'informatique et de bureautique et l'utilisation de l'éclairage artificiel rendu nécessaire par l'augmentation de la profondeur des locaux. Vers les années 80, les occupants de ces immeubles profonds, scellés et permettant peu de vue vers l'extérieur, ayant commencé à ressentir des malaises et donc à voir leur productivité baissée ont exigé un plus grand contrôle de leur environnement de travail. L'inconfort ressenti dans ces immeubles, ajouté aux inquiétudes sur le changement climatique et l'épuisement des ressources naturelles ont fait que l'on s'intéresse plus aujourd'hui à la performance énergétique de ce type d'immeubles.

III.5.2. Demande énergétique dans les immeubles de bureaux

De l'énergie fossile est employée dans les bâtiments pour différents usages : le chauffage, la climatisation, la ventilation, l'éclairage, les équipements de bureautique ainsi que les dispositifs tels que les chargeurs de téléphone et les ordinateurs portables. En raison de la forte croissance des besoins dans le domaine du tertiaire, les contraintes de limitation de la consommation globale d'énergie d'un bâtiment ainsi que l'amélioration des confort d'été et d'hiver se sont imposées.

L'usage massif des énergies fossiles a provoqué la création de bâtiments non viables dépendants d'équipements technologiques. Ce type de bâtiment s'est développé partout y compris sur la rive de la méditerranée ce qui pousse aujourd'hui le concepteur à un retour vers les principes de la bioclimatique, dont le potentiel peut être multiplié grâce aux technologies actuelles.

III.6. Les principaux postes consommateurs d'énergie dans le bâtiment tertiaire méditerranéen

1- Le chauffage

Le chauffage des locaux a pour rôle de maîtriser une température intérieure de confort en hiver. Le niveau de température requis sera fonction pièce par pièce, local par local, du taux d'occupation et de l'activité des occupants. Le bâtiment méditerranéen, de par le climat clément de la région, n'avait parfois aucun système de chauffage. De nos jours, les occupants exigent un confort (chaleur, fraîcheur, ventilation) qui demande l'utilisation de techniques de

chauffage de plus en plus performantes. Les consommations d'énergie d'un bâtiment à l'autre dépendent de facteurs liés au site et au type d'établissement (météo, forme générale des bâtiments et implantation, destination du bâtiment, etc) ; liés aux bâtiments et à leurs équipements (qualité de l'isolation, bon fonctionnement ventilation, type qualité et âge de l'installation) ; liés aux usages (habitude des occupants, etc.) et enfin liés à l'utilisation de systèmes innovants. (ADEME, 1999)

L'objectif est de produire le maximum d'énergie secondaire (chaleur, électricité...) à partir du minimum d'énergie primaire (énergies fossiles et préférentiellement les énergies renouvelables), avec le moins de rejets nocifs. Pour cela on peut s'orienter dans deux voies différentes qui sont :

- Favoriser le développement de générateurs de chauffage performants : notion de rendement de génération ou de production (ratio entre l'énergie primaire consommée et l'énergie secondaire produite), notamment : Chaudière à haut rendement, Chaudière à condensation, Cogénération
- Favoriser le recours aux énergies peu polluantes, locales ou renouvelables dans les systèmes de production de chaleur pour le chauffage (y compris production à partir de chaleur récupérée), notamment : Bois énergie, Solaire thermique, Géothermie, Réseaux de chaleur

2-Climatisation et rafraîchissement

La climatisation permet de garantir un niveau de température et un niveau hygrométrique, degrés d'humidité constant dans les locaux, quel que soit les conditions extérieures. Le rafraîchissement consiste à maintenir un écart de température entre l'intérieur et l'extérieur sans garantie d'un niveau de température intérieur constant. La climatisation permet donc d'améliorer la qualité des ambiances et les conditions de travail toute l'année en créant un climat propice aux contacts humains et aux échanges. Dans les espaces climatisés, il est constaté une diminution de la fatigue et de l'absentéisme ainsi qu'une augmentation de la productivité. On peut trouver deux grandes familles de systèmes de climatisation :

- les systèmes centralisés ou semi-centralisés qui peuvent produire du chaud et du froid et qui sont généralement composés de groupes de production de froid, disposés dans des locaux techniques et d'une distribution par des systèmes « tout air »³ ou « tout eau »⁴ dans les locaux du bâtiment à rafraîchir ou à chauffer.

³ Le système de climatisation « tout air » comprend une centrale de traitement d'air et quatre réseaux d'air : l'amenée d'air extérieur, la reprise de l'air des locaux, l'insufflation dans les locaux d'un mélange d'air repris et d'air extérieur et l'évacuation d'air excédentaire.

⁴ Chaque local est alimenté en eau froide et/ou eau chaude à partir d'une production centralisée.

- Les systèmes décentralisés ont recours à des unités divisionnaires installées dans chaque local ou chaque zone du bâtiment et qui sont raccordées à une boucle d'eau parcourant le bâtiment. Dans cette catégorie, on trouve la climatisation individuelle qui est aussi appelée système à détente directe⁵, elle est souvent utilisée dans le petit et moyen tertiaire existant.

Les climatiseurs individuels sont des appareils monoblocs ou bi-blocs (split-system) à condensation par air ou par eau. Ils ventilent, rafraîchissent, déshumidifient et peuvent également assurer le chauffage.

On recense dans cette catégorie :

- les climatiseurs air/air
- les climatiseurs à condensation par eau
- les centrales autonomes à condensation par air ou par eau - les roofs-tops (unités de toitures).

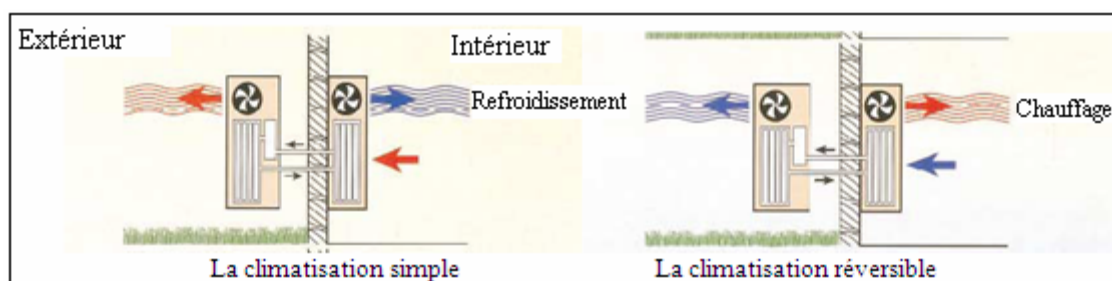


Figure 51: La climatisation simple ou réversible
Source : Schéma SANYO publié par HEYLEN V.S. sa

Les grands inconvénients de ces systèmes en plus de la consommation d'énergie sont principalement la place qu'ils occupent (souvent encombrants), la défiguration des façades et surtout les problèmes de santé qu'ils provoquent particulièrement dans le tertiaire où les personnes passent plus de 5 heures dans les locaux climatisés. Les manifestations les plus fréquentes observées sont la sécheresse et l'irritation des yeux, la sécheresse et la démangeaison de la peau, l'inflammation et l'obstruction nasale, des douleurs pharyngées et un enrouement, des manifestations sensorielles, neuropsychiques et générales (fatigue, maux de tête, vertiges).

3-Eclairage

Une installation d'éclairage comprend : des lampes (incondescentes ou fluorescentes) ; des luminaires pour diffuser la lumière et protéger les lampes ; et des systèmes de commandes allant des simples interrupteurs aux équipements automatiques d'allumage et d'extinction,

⁵ Produisent directement le froid dans l'unité de climatisation placée à l'intérieur du local à climatiser.

éventuellement programmation par zone. L'utilisation de l'électricité dans les bâtiments publics concerne essentiellement l'éclairage, les ascenseurs, la bureautique, le nettoyage et les ateliers.

4-Ventilation

Elle doit assurer l'apport nécessaire d'air neuf hygiénique aux occupants des locaux, éviter la dégradation des bâtiments sous l'effet de condensation et évacuer les polluants, odeurs, autres, etc.

III.6.1. Croissance du secteur climatisé

Malgré les progrès réalisés au niveau de la construction des bâtiments, plusieurs éléments contribuent à l'augmentation des besoins de rafraîchissement. Parmi ceux-ci on liste : (Filfli S., 2006)

- L'isolation très efficace de l'enveloppe qui conduit à un emprisonnement de chaleur dans les cas où il y a impossibilité d'ouvrir les baies (hauteur ou à cause des bruits à l'extérieur).
- L'augmentation forte de taux des surfaces vitrées dans les bâtiments modernes pour des raisons architecturales avec absence de protections solaires extérieures.
- L'augmentation des jours où la température et le rayonnement extérieur sont au dessus de la moyenne.
- L'emploi d'un très grand nombre d'équipements électriques (ordinateurs, imprimantes, scanner, éclairage, etc...) ce qui augmente les apports internes

Bien que les progrès en matière de systèmes de climatisation ont permis d'améliorer l'image de la climatisation en produisant des appareils plus performants et plus efficace, la climatisation reste grande consommatrice d'énergie et productrice de gaz à effet de serre.

Pour pouvoir limiter l'augmentation de la demande de climatisation il faut agir sur trois postes principaux :

- La conception du bâtiment et les gestions de ses équipements;
- L'emploi de matériels (bureautique, éclairage,..) à faible consommation;
- L'utilisation de systèmes de climatisation efficaces.

Ces trois postes sont interconnectés entre eux ce qui nécessite une étude plus approfondie de l'effet d'un ou plusieurs paramètres liés aux autres.

III.7. La maîtrise de l'énergie dans le bâtiment tertiaire

L'accès du plus grand nombre de personnes à l'énergie, facteur de confort et de qualité de vie, est devenu un droit citoyen. La limitation de la consommation énergétique par le rationnement ou par la hausse des prix (rationnement par l'argent) se heurte donc à un problème d'acceptabilité sociale (voir l'actuelle impopularité de la hausse des prix des carburants). Il va de soit qu'il n'est pas impossible de faire des économies d'énergie. Des gisements importants existent encore à l'heure actuelle dans l'amélioration des performances des appareils de grande consommation (bureautique, éclairage, ...), des transports routiers, de l'isolation thermique des bâtiments. L'introduction de nouvelles normes auprès des constructeurs en matière de consommation énergétique de leurs produits semble donc la voie la plus efficace pour obtenir des résultats quantifiables. Selon l'ADEME, le développement de technologies plus performantes permet d'envisager en 2050 une baisse de consommation importante.

Pour le secteur du tertiaire, les économies sont attendues sur les postes éclairage, chauffage, climatisation, ainsi que dans le secteur industriel, à partir de l'amélioration des procédés de fabrication. Il est très important de préciser que les besoin urgent d'économie d'énergie ne doit pas pour autant compromettre la qualité des ambiances thermiques intérieures. Un benchmark international récent réalisé pour le PREBAT⁶ et piloté par le CSTB met en évidence, en simplifiant, trois modèles internationaux de maîtrise de l'énergie pour le bâtiment dans le monde.

1/ Premier modèle: basse consommation d'énergie et bâtiments passifs.

Le principe est une faible consommation dans des bâtiments sur-isolés. Les principales références sont le label allemand Passivhaus et le label suisse Minergie

Le bâtiment est dit passif, car pour l'essentiel, l'utilisation « passive » de la chaleur issue du rayonnement solaire, des personnes et des appareils (éclairage, micro-ordinateur...) est suffisante pour obtenir une température normale en période froide. En France, l'association Effinergie fondée par trois conseils régionaux (Alsace, Franche Comté, Languedoc Roussillon), un collectif d'industriels (« Isolons la terre contre le CO₂ »), deux banques (Caisse des Dépôts, Banque Populaire) et le CSTB a défini un label (neuf et rénovation) basse consommation « à la française », le label Effinergie® inspiré de Minergie.

2/ Deuxième modèle: Energie et environnement.

⁶ Programme de Recherche et d'expérimentation sur l'Energie dans le Bâtiment

L'énergie est alors un objectif articulé à d'autres cibles (insertion dans le site, confort, matériaux, déchets...). C'est un modèle adapté à des investisseurs pour lesquels l'énergie n'est pas l'objectif principal. Les labels américains LEED™, britannique BREEAM et français HQE® sont des exemples de ce modèle.

3/ Troisième modèle: économie et production d'énergie.

Les bâtiments sont isolés et le solaire assure une production locale d'énergie. Les maisons de la variante américaine sont plus isolées et moins industrialisées que celles de la variante japonaise, la production locale d'énergie est photovoltaïque.

III.7.1. Contexte réglementaire en matière de maîtrise d'énergie

- **Contexte français**

La dernière révision de la réglementation thermique, conçue initialement pour le secteur résidentiel, intègre progressivement les spécificités des immeubles de bureaux, notamment la problématique des apports calorifique interne et des besoins de climatisation qui en découlent. En revanche, il est à noter que c'est dans le secteur du tertiaire que la démarche de la haute qualité environnementale a en premier abouti, avec l'élaboration en 2005 d'une certification NF, alors que les labels de performance énergétique restaient l'apanage de la filière logement.

Les pouvoirs publics Français ont édicté en 2000 la nouvelle réglementation thermique des constructions neuves qui visait à réduire la consommation d'énergie de 20% dans le résidentiel et de 40% dans le tertiaire par rapport à la RT de 1988 ; Elle introduit une exigence de confort d'été sous la forme d'une température intérieure, de plus elle oriente clairement le constructeur vers les parties de bâtiments où les progrès restent encore à accomplir : vitrages et fenêtres performants, ponds thermiques, et équipements de chauffage à rendement élevés. La RT 2000 a été reprise par la suite dans le plan climat. Le renforcement de la législation fut particulièrement sévère dans le tertiaire. La RT 2005, présente plusieurs nouveautés majeures :

- Les consommations énergétiques, formulées en consommation d'énergie primaire (Cep), ne sont plus exprimées en kwh/an, mais le sont désormais en kwh/m²/an.

- Les énergies renouvelables sont intégrées et valorisées en plus des autres énergies.

Pour le tertiaire, la production photovoltaïque est prise en compte par la méthode de calcul et soustraite à la consommation.

- La conception bioclimatique est favorisée et valorisée.

-La limitation de la compensation entre enveloppe et systèmes, présente pour le résidentiel dans la RT 2000, est étendue aux bâtiments tertiaires.

-Les consommations d'énergie liées à la climatisation sont intégrées dans le calcul afin de maîtriser le recours à celle-ci.

-Le maître d'ouvrage est obligé de fournir une fiche de synthèse d'étude thermique, au dépôt de son permis ainsi qu'à la fin des travaux.

Il est prévu toutefois un renforcement de la réglementation thermique tous les 5 ans, au moins jusqu'en 2015. C'est pourquoi la RT 2000 est remplacée par la RT 2005 qui sera, elle-même remplacée en 2010 par une réglementation encore plus exigeante.

- **Contexte algérien**

La loi 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie est un texte généreux par son objectif principal, qui demandera certainement beaucoup de temps pour sa concrétisation. Elle prend en effet en charge la maîtrise de l'énergie à l'échelle nationale et pour tous les secteurs confondus. Elle prend en charge ce qui suit :

- utilisation rationnelle de l'énergie, développement des énergies renouvelables, réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement (article 2).
- plus grande efficacité du système de consommation à travers un modèle de consommation énergétique nationale déclaré d'utilité publique (articles 6 et 7).
- modalités de concrétisation de la maîtrise de l'énergie, avec des normes et exigences d'efficacité énergétique, le contrôle de cette efficacité, l'audit énergétique obligatoire et périodique pour les établissements grands consommateurs d'énergie, la sensibilisation des utilisateurs par des actions de formation, de perfectionnement technique et de démonstration pour les administrations et établissements publics et privés, de sensibilisation, d'éducation et d'information du grand public et du milieu scolaire, avec le programme national de maîtrise de l'énergie et son financement ainsi que les mesures d'incitation et d'encouragement et la connaissance du système énergétique national, la coordination des actions de maîtrise de l'énergie par la création d'un organisme au niveau central (articles 8 à 39).

III.7.2. Efficacité énergétique

La nécessité d'économiser l'énergie apparaît dans le débat politique à partir du premier choc pétrolier de 1973. «*L'utilisation rationnelle de l'énergie* » a succédé au terme «*économie d'énergie* », premier terme employé en 1974 et qui renvoie à la réduction des gaspillages dans les consommations de l'énergie. Dans tout les cas, il s'agit d'augmenter l'efficacité de la consommation d'énergie en influant sur les choix du court terme, sans

envisager de modification des comportements du long terme⁷. Au début des années quatre vingt, est apparue, l'expression « *Maîtrise de l'énergie* »⁸. « *La maîtrise de la demande d'énergie* » élargit le concept à tout ce qui est en amont de la consommation d'énergie elle-même (infrastructure, urbanisme, modes de transport etc...), en introduisant l'idée d'une action destinée à infléchir les comportements à long terme. C'est à la fin des années quatre vingt qu'a émergé l'expression « *efficacité énergétique* » qui intègre l'optimisation de l'amont de la chaîne allant des ressources énergétiques primaires au bien consommé. Signalons qu'une expression récente de l'Union Européenne vise à englober alors toutes les précédentes en adjoignant le développement des énergies renouvelables, on parle « *d'énergie intelligente* »⁹

La filière de l'efficacité énergétique fait appel aux produits et matériaux économisateurs d'énergie ainsi qu'aux procédés de fabrication les plus modernes existants sur le marché. Elle repose également sur les connaissances en matière de conception intelligente ainsi que sur la promotion de comportements de consommations plus économes. En effet, l'efficacité énergétique est une option énergétique basée principalement sur l'utilisation de technologies performantes et surtout des choix intelligents de planification, de conception et de gestion du bâtiment. Pour les bâtiments méditerranéens dont les besoins de développement nécessitent une augmentation continue des dépenses d'énergie, le but n'est pas de limiter la satisfaction des besoins, mais plutôt d'assurer celle-ci par une utilisation rationnelle des ressources disponibles garantissant une viabilité environnementale. (Laponche, B., 2002).

III.7.2.1. Nature des services énergétiques

Les utilisateurs des bâtiments ont toujours besoin de services énergétiques comme le froid, la chaleur ou l'éclairage. Ces services proviennent de la conversion des énergies par le biais de technologies d'utilisation finale. Ils représentent l'ensemble des services payés par les consommateurs, en lien avec l'utilisation finale de l'énergie. Ils incluent en somme toutes

⁷ Laponche précise que ce terme traduit bien l'idée qu'on ne remet pas en cause les modes d'utilisation de l'énergie mais qu'on en augmente l'efficacité

⁸ L'agence Française de la Maîtrise de l'énergie- AFME. Est d'ailleurs créée en 1982. . Selon Laponche, l'expression maîtrise de l'énergie se définit comme la somme de l'utilisation rationnelle de l'énergie et du développement des énergies renouvelables. Elle n'a pas d'équivalent en langue étrangère et sa traduction en anglais par energy management est, pour l'auteur un contresens total.

⁹ Le programme européen « une Europe intelligente » Europe intelligente en matière d'énergie » a pour objectif de réaliser une économie de 22% de l'énergie utilisée pour le chauffage, l'air conditionné, l'eau chaude sanitaire ainsi qu'une utilisation de 6% de biocarburants pour les transports ; C'est un programme pluriannuel d'actions sur la période 2003-2006, doté d'un budget de 215 millions d'euros. Il se décompose en quatre domaines d'actions spécifiques : il renforce les volets énergies renouvelables (ALTENER) et efficacité énergétique (SAVE) ; il réoriente l'action internationale existante en matière de promotion internationale des énergies dans les pays en voie de développement (COOPENER) ; il introduit un nouveau volet concernant l'énergie dans les transports (STEER)

les activités telle que : les analyses énergétiques, les audits, la gestion de l'énergie, la conception et la mise en œuvre d'un projet, l'exploitation et la maintenance, le suivi et l'évaluation des économies, la fourniture d'équipements etc... L'énergie est donc un produit au début de la chaîne et un service à la fin.

Il est très important de faire la différence entre les services énergétiques et les services d'efficacité énergétique, en fait ces derniers sont réalisés à partir de l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation finale de l'énergie et non à partir d'un quelconque schéma marketing sans économie d'énergie.

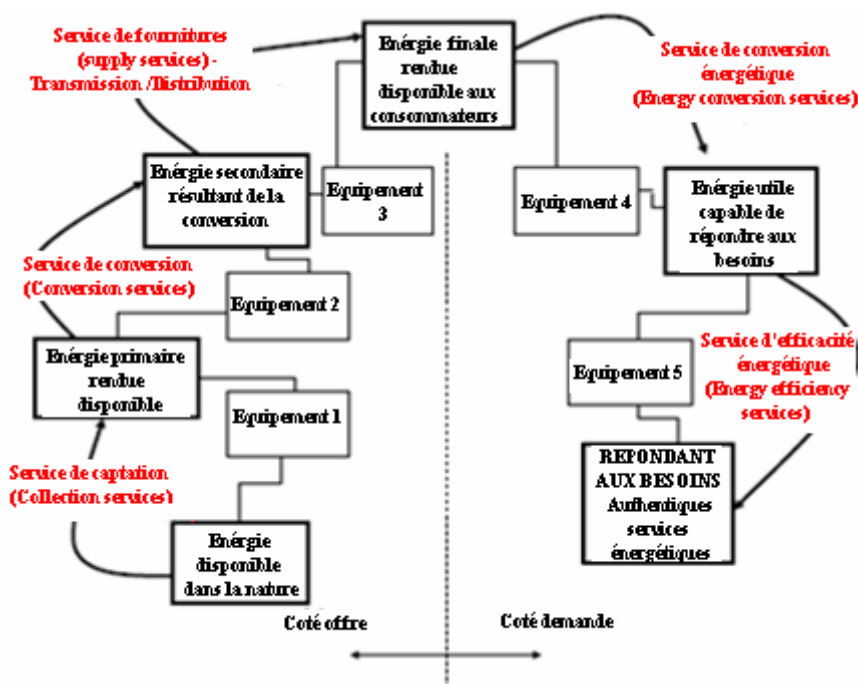


Figure 52 : Représentation schématique des services liés à l'énergie

Source : Energy efficiency programmes and services in the liberalised EU energy markets : good practice and supporting policy- Background document, Wuppertal Institute, 2003.

III.7.2.2. Les principes de base de l'efficacité énergétique

Les principaux objectifs des codes de l'efficacité énergétique sont une réponse à trois problématiques majeures qui sont :

- L'absence de considération énergétique dans la conception et la gestion des bâtiments dans les pays en voie de développement.
- La réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de la construction. En effet les efforts supplémentaires de maîtrise de l'énergie, relèvent de plus en plus de considérations environnementales telles que la lutte contre le changement climatique. A plus long terme, la problématique énergie/environnement devra nous emmener à une transition

vers une utilisation optimale de l'énergie dans l'exploitation des bâtiments en ayant recours aux technologies et aux pratiques les plus appropriées.

- La maîtrise des dépenses énergétiques suite à la croissance de la demande énergétique et à la fluctuation des cours de pétrole et du gaz sur le marché international.

L'efficacité énergétique peut être utilisée comme un argument écologique et commercial pour les bâtiments tertiaires et en particulier les bâtiments administratifs, pour lesquels les acheteurs sont plus sensibles aux aspects éco-énergétiques. C'est une réponse moderne aux problèmes actuels. Elle fait l'unanimité auprès des groupes de pression et s'inscrit dans la perspective du développement durable. En effet, l'efficacité énergétique permet de respecter l'intégrité environnementale, d'améliorer l'équité sociale et de maintenir le développement économique. Par définition, l'efficacité énergétique vise l'obtention du meilleur rendement énergétique par le choix des sources d'énergie, par le recours aux technologies les plus appropriées, par le choix des équipements et des procédés les plus performants, par des mesures de sensibilisation, notamment auprès du consommateur, de manière à influencer son comportement et à lui permettre de faire des choix éclairés, par la formation des personnes travaillant dans l'industrie de l'efficacité énergétique et, enfin, par l'élaboration et l'application de normes.

Les actions visant l'amélioration de l'efficacité énergétique restent surtout du ressort des entreprises, soit dans la maîtrise de leur consommation, soit dans la fabrication ou la vente d'équipements performants, des collectivités locales, des administrations, des sociétés de services et de ménage. L'efficacité énergétique s'adresse principalement aux secteurs de l'industrie, le bâtiment et le transport. Les politiques d'efficacité énergétiques mises en place par les pays membres peuvent être regroupées en plusieurs catégories : Recherche et développement, innovation et démonstration ; information, promotion, éducation et formation ; réglementations, labels, accords volontaires ; diffusion des méthodes et techniques, aides à la décision ; incitations économiques et financières. (Laponche, 2001).

III.7.2.3. Code d'énergie

L'expression « code d'énergie du bâtiment » est beaucoup plus utilisée dans les pays anglo-saxon, alors qu'en France ainsi que les pays utilisant des règles de construction inspirées de la réglementation Française, on entend plus parler de « Réglementation thermique ».

Un code d'énergie est une directive qui a pour rôle de définir les seuils minima d'efficacité énergétique pour les constructions neuves ou pour toute modification d'une

construction. Celui-ci s'intéresse particulièrement à l'enveloppe du bâtiment chauffé ou climatisé, ainsi qu'aux systèmes d'éclairage, d'eau chaude sanitaire et de la gestion de l'énergie. Ils doivent prendre en charge la limitation de la consommation énergétique en même temps que le confort, la durabilité et la sécurité du bâtiment.

Les codes d'énergie sont généralement conçus pour fixer les exigences minimales pour la conception et la construction d'un bâtiment, ils contribuent en effet à réduire les coûts d'exploitation des bâtiments. A noter toutefois que des outils d'évaluation qui permettront de minimiser l'usage de l'énergie dans la construction et l'exploitation du bâtiment, ainsi que l'introduction de technologies qui permettent d'améliorer l'efficacité énergétiques doivent être associés à ces codes. La réglementation concernant l'efficacité énergétique doit être développé en concertation avec les opérateurs du secteur, notamment les industriels et les concepteurs.

III.7.3. Tentative algérienne dans le cadre de projet d'efficience énergétique

Le CNERIB¹⁰ en collaboration avec le programme Européen MED-ENEC¹¹ a lancé le Projet d'Efficience Energétique dans le secteur de la construction. Le Projet, qui intervient après le sommet de Kyoto, est considéré comme un *“instrument majeur pour la mise en oeuvre des efforts de coopération entre les pays MEDA et ceux de l'UE et entre les pays MEDA eux-mêmes”*. En fait, le programme a pour *“objectif de relancer les mesures relatives à l'efficacité énergétique et à l'utilisation de l'énergie solaire dans le secteur de la construction, en vue de réduire tant les besoins d'approvisionnement en énergie que l'impact toujours plus grand des installations de climatisation sur l'environnement.”* (<http://www.med-enec.com>).

Le projet a une logique positive, puisqu'il se base sur la politique de développement durable vu que les pays sud-méditerranéens possèdent une énergie bioclimatique qui permette cela. MED-ENEC assiste à plusieurs Projets pilotes dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, dont celui de l'Algérie. (<http://www.euromedinfo.eu>)

III.7.4. Efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables

La dénomination « Energies Renouvelables » s'adresse à un ensemble très divers de ressources naturelles dont la caractéristique commune est d'être inépuisable ou renouvelable et qui peuvent être transformées grâce à des techniques plus ou moins complexes en produits

¹⁰ Centre National d'Etude et de Recherches Intégrées du Bâtiment algérien

¹¹ Energy Efficiency in the Construction Sector of the Mediterranean

énergétiques directement utiles aux activités humaines. Par opposition aux « énergies fossiles » qui sont des énergies de stock, donc épuisables, les énergies renouvelables sont des énergies de flux. Les différentes catégories d'énergies renouvelables sont les suivantes :

- L'énergie solaire directe, qui provient du flux de photons émis par le soleil, utilisée soit pour la production de chaleur ("solaire thermique"), soit pour la production directe d'électricité ("solaire photovoltaïque").
- L'énergie hydraulique, obtenue à partir de la force mécanique des chutes d'eau.
- L'énergie éolienne qu'on tire de la force du vent qui circule des hautes vers les basses pressions dans l'atmosphère terrestre.
- L'énergie de la biomasse, obtenue par la combustion d'un combustible ou d'un carburant tiré de la matière organique (les plantes, les arbres, les déchets animaux...), elle-même fabriquée par la photosynthèse du carbone.
- La géothermie qui exploite le flux de chaleur qui provient des couches profondes de la Terre.

Ces différentes sources d'énergie sont toutes actuellement exploitées à des degrés divers; nous citerons également pour mémoire d'autres filières d'énergies renouvelables, encore très peu développées : l'énergie tirée des vagues, l'énergie des marées, l'énergie thermique des mers (exploitation des différences de température entre la surface et les couches profondes des mers tropicales).

Pendant des millénaires, l'essentiel de l'apport énergétique extérieur aux activités humaines s'est fait par l'utilisation de la biomasse, sous la forme du bois de feu et des déchets végétaux et animaux. Utilisée par des techniques modernes, la biomasse offre aujourd'hui un potentiel considérable, aussi bien en quantité que par la diversité de ses utilisations comparable à celle du pétrole. L'hydraulique a maintenu une place importante grâce à l'invention de la turbine. Il faudra attendre la fin du 20^{ème} siècle pour que l'énergie éolienne réapparaisse et fasse une percée spectaculaire dans la production d'électricité, grâce à des progrès techniques remarquables inspirés de l'industrie aéronautique. Quant à l'énergie solaire directe, on ne peut pas nier qu'elle a toujours été présente dans le développement des civilisations par "l'architecture traditionnelle" qui a toujours su s'adapter au climat et utiliser au mieux les apports solaires. Le solaire photovoltaïque, est par contre issu d'une découverte scientifique récente et sa compétitivité économique reste encore limitée à des applications particulières (électrification en site isolé) du fait de son coût.

Pendant la suprématie indiscutable des énergies fossiles, les énergies renouvelables n'ont connu qu'un faible développement et ce pour différentes raisons. La première est due à

des orientations de politiques industrielles et économiques et à une distribution inégale des efforts de recherche et la deuxième incombe surtout aux handicaps ou impossibilités que présentent les énergies renouvelables.

La première de ces difficultés est celle de la disponibilité dans le temps : ces énergies ne sont pas toutes constamment à notre disposition "à l'état naturel" : le soleil ne brille pas en permanence (énergie intermittente), le vent ne souffle pas tout le temps (énergie aléatoire). Comme on ne sait pas (ou mal, ou très cher) stocker ces sources d'énergies dans leur état naturel (à l'exception du bois) ou sous la forme de l'énergie transformée (électricité, chaleur), on ne peut pas assurer la disponibilité de l'énergie au moment où l'on en a besoin.

La seconde difficulté est liée au fait que ces énergies sont dispersées (faible quantité d'énergie en un lieu donné ou apport d'énergie relativement concentré mais dans des sites particuliers) et généralement difficilement transportables sous leur forme originelle. Cela signifie que les énergies renouvelables sont particulièrement adaptées à une utilisation in situ et que leur potentiel devra être en général estimé en fonction non seulement de la ressource mais aussi de l'existence d'une demande d'énergie dans les lieux ou les régions où cette ressource est accessible (nombre d'habitants par exemple).

Le caractère "local" de la plupart des énergies renouvelables constitue un handicap dans le cadre d'une conception centralisée et globale de la politique énergétique, par contre, il peut être un atout dans la mise en place d'un système énergétique décentralisé dans lequel la source d'énergie est proche du consommateur, où celui-ci peut avoir un rôle actif dans sa production et dans sa gestion, car la prise en charge des questions de sécurité énergétique et de protection de l'environnement concerne plus directement chaque citoyen et chaque collectivité. Enfin il ne faut pas négliger le facteur limitant que peut constituer pour le développement des énergies renouvelables "l'occupation de l'espace", soit en termes de surfaces (compétition pour les terres agricoles entre cultures alimentaires et cultures "énergétiques"), soit en termes de destruction de sites (hydraulique) ou d'endommagement de paysages (éolien).

Les énergies renouvelables présentent, par rapport aux énergies fossiles, deux avantages déterminants : le caractère inépuisable ou renouvelable de la ressource et, pour la plupart d'entre elles, leur contribution positive à la protection de l'environnement et notamment à la lutte contre le changement climatique. Ces deux avantages permettent d'envisager, ce qui est fait dans certains scénarios de prospective énergétique, une prédominance des énergies renouvelables dans l'approvisionnement énergétique mondial à l'horizon d'un siècle.

III.7.4.1. Substitution des énergies conventionnelles par les ENR

Les énergies renouvelables ont un rôle central à jouer dans le cadre d'une politique volontariste de maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment en se substituant à des énergies fossiles. De façon synthétique, les énergies renouvelables trouvent leurs créneaux dans les applications suivantes:

- réseaux de chaleur alimentant les bâtiments : la géothermie, le bois énergie et l'énergie des déchets ont ici une place très importante dans les régions où leur présence est connue.

Des inventaires régionaux des ressources locales permettent de répondre à la question de la localisation et l'expansion des réseaux de chaleur alimentés par les énergies renouvelables.

- production d'eau chaude sanitaire (ECS) domestique ou collective avec comme cibles potentielles la maison individuelle, les logements collectifs, le secteur de la santé, l'hôtellerie, les maisons de retraite... En construction neuve ou à rénover.

- chauffage/rafraîchissement du tertiaire public ou privé (applications plus limitées sauf pour les pompes à chaleur qui ont un champ d'application large). Le confort d'été étant un élément crucial à prendre en compte avec le réchauffement climatique. Le rafraîchissement solaire n'est pas encore parvenu à dépasser le stade d'opérations exemplaires avec campagnes de mesures associées du fait d'une maturité technologique encore insuffisante et de coûts trop élevés. La diffusion sur le marché de ces technologies ne peut être envisagée.

Lorsque l'on se place dans une perspective de diviser par 4 ou 5 les émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050, le recours intensif aux énergies renouvelables est incontournable en complément de la maîtrise des consommations.

III.7.4.2. Les énergies renouvelables en Algérie

- **Potentiel solaire**

Le potentiel le plus important en énergies renouvelables que détient l'Algérie est sans contexte le solaire. C'est d'ailleurs le plus important de tout le bassin méditerranéen avec 169.440 TWh/an qui correspond à 5.000 fois la consommation algérienne en électricité.

Energie moyenne reçue par kWh/m²/an: Régions côtières 1700 kWh/m²/an, les Hauts plateaux 1900 kWh/m²/an et le Sud 2650 kWh/m²/an. (Hamouda R., 1999).

- **Potentiel éolien**

Dans le Sud Algérien, la vitesse moyenne du vent est plus élevée que dans le Nord et plus particulièrement le Sud ouest (supérieures 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar). Du fait des microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaia et Annaba, sur les hauts plateaux de Tiaret et Kheiter ainsi que dans la région délimitée par Bejaia au Nord et

Biskra au Sud, la vitesse moyenne au Nord est généralement peu élevée. Les applications de l'énergie éolienne sont variées mais la plus importante consiste à fournir de l'électricité. Ce sont des parcs d'aérogénérateurs ou «fermes» éoliennes. (Hamouda R., 1999).

- **Potentiel en biomasse**

Employé pour désigner toute la matière vivante, ce terme de biomasse s'applique depuis peu à l'ensemble des végétaux employés comme sources d'énergie. Le bois de feu est bien sûr la plus ancienne de ces sources. Aujourd'hui on peut ajouter la biomasse dite « humide » ; les déchets organiques agricoles, les déchets verts, les boues des stations d'épuration ainsi que les ordures ménagères. Le potentiel Algérien en Biomasse est de : 37 MTEP de Forêt et de 30 MT Déchets urbains. (Hamouda R., 1999).

- **Potentiel de la géothermie**

Le principe de la géothermie consiste à extraire l'énergie contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou d'électricité. Partout, la température croît depuis la surface vers l'intérieur de la Terre. Par rapport à d'autres ENR, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques, ni même de la disponibilité d'un substrat (cas de la biomasse). C'est donc une énergie fiable et stable dans le temps.

Selon les régions l'augmentation de la température avec la profondeur est plus ou moins forte, et varie de 3 °C par 100 m en moyenne jusqu'à 15 °C ou même 30 °C. Le potentiel Algérien est de : 200 sources chaudes dans la partie Nord du pays dont 33% ont des Temp. > à 45°C, pour atteindre 98°C À Hammam Meskhoutine (W.Guelma). (Hamouda R., 1999).

III.7.4.3. Les réalisations dans le domaine des ENR dans le secteur du tertiaire

- **Au Grand Sud**

Electrification de 15 mosquées, 15 écoles, et 20 postes de sécurité (gendarmeries, gardes communales, Réalisation d'une centrale hybride solaire (PV) / diesel de 13 Kwc à Illizi (300 foyers = 2000 habitants); Balisage de 2300 Km de pistes ainsi que l'alimentation de plus de 100 sites de télécommunications. (Hamouda R., 1999).

- **Au nord**

Une centrale photovoltaïque de 10 Kwc, connectée au réseau Sonelgaz du CDER (coopération Algero-Espagnole), Station de services de Naftal alimentée en énergie solaire (la Bridja-Staoueli d'une puissance de 7 Kwc), Installations pilotes au profit de la Gendarmerie Nationale: alimentation en énergie photovoltaïques de postes de surveillances routières.

D'autres projets d'énergies renouvelables connectés au réseau national sont en cours et s'inscrivent dans le cadre du programme quinquennal 2005-2009. Il y a des projets pour le

solaire ainsi que pour une centrale hybride de cycle combiné solaire-gaz à Hassi R'mel d'une capacité de 150 MW. Le coût d'investissement de cette infrastructure est évalué à 150 millions de dollars. Un autre projet éolien à Tindouf, estimé entre 10 et 13 millions d'euros, est à l'étude. (Hamouda R., 1999).

III.7.4.4. Cadre législatif et réglementaire Algérien

La politique nationale de promotion et de développement des énergies renouvelables est encadrée par des lois et des textes réglementaires.

En 1983, la première loi régissant l'Evaluation des Impacts sur l'Environnement (EIE) a été promulguée (la loi cadre n°83-03 du 5 février sur la protection de l'environnement en Algérie), mais le décret exécutif n'a suivie qu'en Février 1990 (décret exécutif 90-78). Celle-ci a été suivie en 1999 par La loi 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie qui prend en charge l'utilisation rationnelle de l'énergie, le développement des énergies renouvelables, et la réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement, puis en 2002 a été promulguée la loi relative à l'électricité (Loi n°02-01 du 5 février) qui a été suivie par son décret et en 2004 la loi relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable (la loi n° 04-09 du 14 août 2004).

Dans le cadre de la loi 99-09, le FNME¹² a été institué. Des actions touchant les énergies renouvelables sont prévues pour être financées dans ce cadre au titre du PNME¹³ 2006-2010. Il s'agit pour le secteur tertiaire, de l'installation de 400 chauffe-eaux solaires pour la production d'eau chaude sanitaire. Quant à la Loi n°02-01, elle prévoit d'accorder des tarifs préférentiels pour l'électricité produite à partir des énergies renouvelables et la prise en charge du raccordement des installations y afférentes par le gestionnaire du réseau de transport et/ou de distribution à ses propres frais. La prime accordée peut aller jusqu'à 300% du tarif normal. Pour les contributions de l'énergie solaire inférieure à 25%, la dite prime est servie dans les conditions suivantes: de 20 à 25%: la prime est de 180 %, de 10 à 15%: la prime est de 140%, de 5 à 10% : la prime est de 100 %, et enfin de 0 à 5% : la prime est nulle. (CDER, 2003).

III-7-5-Conception bioclimatique et les labels « Basse Energie »

Comment progresser vers une haute efficacité énergétique dans le tertiaire méditerranéen?

- 1- Par des objectifs ambitieux de limitation des consommations énergétiques :
Chauffage, confort d'été, ventilation, éclairage...

¹² Fonds National de Maîtrise de l'Energie

¹³ Plan National de Maîtrise de l'Energie

- 2- Par le recours systématique aux énergies renouvelables : Solaire thermique et photovoltaïque, bois, géothermie, éolien, micro hydraulique...
- 3- En tenant compte des paramètres méditerranéens spécifiques: Canicule estivale, microclimats, régimes de vent, rayonnement lumineux élevé, forte productivité solaire, coût très élevé du foncier...
- 4- En définissant des solutions techniques en réhabilitation et en neuf
- 5- En fournissant des bilans énergétiques détaillés

Conception bioclimatique et labels sont des termes qui englobent différentes règles propres à augmenter l'efficacité énergétique des bâtiments. Le terme concept bioclimatique en lui-même est qualitatif, il n'y a pas d'objectifs de performances. A l'inverse, les labels s'appuient sur des performances calculées. Elle vise principalement l'amélioration du confort d'un espace bâti qui peut minimiser le recours aux énergies non renouvelables. Il est nécessaire de préciser que les différents labels se basent sur des méthodes de calcul différentes, il n'y a pas de comparaison possible entre eux. Le label suisse Minergie pour les constructions efficaces sur le plan énergétique a été introduit en France. Le standard Minergie réduit la charge sur l'environnement par une utilisation rationnelle de l'énergie et par le recours aux énergies renouvelables. L'exigence de performance est de 38 kWh/m.an en neuf et 60 kWh/m.an en rénovation (chauffage, froid, ECS, auxiliaire de ventilation) tout en maîtrisant le niveau des investissements. Minergie dispose également d'autres labels plus exigeants: Minergie P: bâtiment passif, Minergie eco: utilisation de matériaux sains et naturels, Minergie P eco regroupement des certifications Minergie P et eco(www.minergie.fr).

III-8-Concept Bioclimatique

Les relations de l'architecture avec l'environnement sont à l'ordre du jour. Elles concernent Non seulement l'impact écologique et visuel, mais aussi les échanges entre le climat et les ambiances intérieures. L'homme a toujours construit un abri pour se préserver des contraintes climatiques, mais ces modes de constructions prenaient toujours en considération le climat. Le but est donc de pouvoir continuer à assurer l'abri et le confort de l'utilisateur tout en minimisant la consommation d'énergie fossile pour la climatisation et le chauffage ainsi que l'impact du bâtiment sur l'environnement. L'art de bâtir en prenant en compte l'influence des facteurs climatiques n'est pas une invention du 20^{ème} siècle. L'analyse d'anciennes bâtisses montre que celles-ci jouissent d'aspects bioclimatiques et sont même présentées aujourd'hui comme une référence en matière de savoir-faire. L'intérêt du

« bioclimatique » va donc du plaisir d'utiliser un espace à l'économie de la construction, ce qui est en fait un élément fondamental de l'art de l'architecture (Izard J. L., Guyot A., 1979).

III.8.1. Evolution de la pensée bioclimatique en architecture

III.8.1.1.L'architecture Vernaculaire

L'architecture vernaculaire représente l'ancêtre de l'architecture bioclimatique, c'est en effet la période de l'énergie à bon marché et l'apparition d'isolants thermiques efficaces qui ont mis ces principes de côté jusqu'à leur retour dans une période plus récente

En effet Le processus de conception et de construction utilisé, se base sur des modèles avec des ajustements et des variantes, en fonction des expériences, des besoins, des possibilités individuelles et surtout du climat. (Folch R., 1999). De ce point de vue, elle est conçue comme quelque chose de simple, de clair, de facilement compréhensible, dans lequel la tradition s'exprime comme une forme de contrôle collectif, elle représente aussi une forme de respect envers les autres et envers l'environnement lui-même. (Nourissier G., Reguant J., Casanovas X., Grazc., 2002),

Les bâtiments publics qu'on appelle aujourd'hui bâtiments tertiaires bien qu'il en existait très peu (lieux de culte, lieux de regroupement, écoles, bâtiments à usage agricole, grands espaces de commerce, etc...) suivaient la même logique de construction.



Figure 53: La plus ancienne casbah en terre battue de la vallée de Draa au Maroc (photo A .Sbai)

Les bâtiments en maçonnerie de moellons et en terre battue utilisent des matériaux locaux. Ce qui est une constante de l'architecture traditionnelle. Ce type de construction très lourde donne une forte inertie thermique, ce qui stabilise le climat intérieur. Le contraste entre la chaleur torride du désert saharien et la fraîcheur relative régnant à l'intérieur des bâtiments en terre battue est étonnant.

Source : (Roulet C.A., 2004)

Cette architecture emploie dans sa construction les matériaux locaux, pierre, terre, bois ou autres matériaux végétaux. Évidemment, l'emploi des matériaux locaux est ce qui détermine une plus grande continuité temporelle des différents types de construction. (Casanovas X., 2005). Elle joue avec la connaissance spécifique du microclimat, avec l'emploi de simples systèmes passifs, basés sur les épaisseurs et les couleurs des maçonneries ainsi que la disposition et la taille des vides, en recherchant la protection face aux agents météorologiques défavorables, avec des réponses différenciées selon les climats humides ou

secs. Il ne manque pas non plus de systèmes spécifiques de chauffage. La pratique architecturale et l'ingénierie doivent s'allier pour reprendre et réinterpréter les principes de l'architecture vernaculaire.

III.8.1.2.L'architecture traditionnelle Algérienne

- **Le modèle mozabite**

Dans l'architecture traditionnelle des milieux arides, la réduction des températures internes pouvait être réalisée soit au moyen de concepts de refroidissement passifs tels que : évaporation, convection, rayonnement nocturne, ventilation, absorption de l'humidité en climat chaud et humide, radiation vers la voûte céleste, bâtiment enterré soit par un bon choix de matériaux dont les effets thermiques dépendent de leur résistance thermique et leur capacité calorifique. (Benziada R., 2006).

L'architecture ancienne du M'zab est relativement confortable l'été et l'hiver. En fait le choix des matériaux et des couleurs des façades sont judicieux puisqu'ils contribuent en même temps à l'esthétique du bâtiment et au confort thermique intérieur en réfléchissant une partie des rayons solaire. L'épaisseur des murs en plus d'être imposé par l'utilisation du matériau terre servait aussi à augmenter l'inertie de la construction. La lumière est introduite dans les constructions à travers des ouvertures en forme de patio couvertes avec des feuilles de palmier en période estivale. Le système d'irrigation qui permet l'humidification de l'air est un moyen de climatisation.

- **Le modèle Kabyle**

Les constructions traditionnelles de la Kabylie sont caractérisées par l'utilisation de la pierre et de la terre (matériaux locaux), les toits sont soit en tuile (majoritairement) ou en terre (toit végétalisé) comme dans le cas d'un village nommé Ait El Kaid dans la commune des Oudhias. Les ouvertures sont très petites et très peu nombreuses et donnent généralement sur des cours. Dans toutes les constructions kabyles un espace est réservé au bétail afin de permettre de chauffer les pièces.



Figure 54: Mosquée souterraine au m'zab (à gauche) et Ancienne maison d'arrêt à Ait El Kaid en Kabylie (à droite)

Source : personnelle

III.8.1.3. De l'architecture traditionnelle à l'architecture bioclimatique

L'architecture traditionnelle méditerranéenne a éprouvé plusieurs influences à travers le temps. Elle sert de référence à la nouvelle architecture bioclimatique où la passivité constructive se combine avec l'ajustement à l'ensoleillement et la création de systèmes qui incorporent la ventilation, la création d'ombres et d'humidité et de systèmes de chauffage complémentaires où la biomasse est la ressource énergétique normalement utilisée, comme autant de méthodes d'amélioration du confort employées par cette architecture en réponse aux conditions climatiques difficiles. Le développement du conditionnement d'air au début du siècle précédent a conduit au déclin des solutions passives de refroidissement. Pendant un temps elles ont même été complètement ignorées, jusqu'à la crise énergétique des années 1970 qui a créé un intérêt nouveau pour ces techniques. Ce renouveau n'a touché les bâtiments tertiaires qu'à partir des années 1990.

L'architecture bioclimatique n'est donc pas une nouveauté dans l'histoire. La plupart des principes environnementaux préconisés de nos jours ont été expérimentés par différents mouvements architecturaux depuis la révolution industrielle. Aujourd'hui, les expérimentations se multiplient, le développement durable est devenu une priorité des concepteurs. La crise énergétique ainsi que le changement climatique ont fait qu'il y a eu un retour en force vers les procédés ancestraux en les améliorant grâce aux nouveaux procédés technologiques.

Le retour à l'architecture bioclimatique démontre donc son importance et sa pertinence croissantes à résoudre une partie des questions naissantes du 21^{ème} siècle, notamment, le souci d'une amélioration de l'environnement et une bonne maîtrise de la consommation énergétique à travers un développement soutenable ou durable. La conception bioclimatique peut être un des moyens de mise en application d'une politique internationale, telle que le protocole de Kyoto, par une réduction d'énergie employée et leurs incidences sur l'environnement. Par conséquent, si la conception bioclimatique est un moyen, alors la durabilité est le résultat.

Alors que les bâtiments d'habitation (surtout en France) bénéficient d'une réglementation très sévère, les bâtiments tertiaires en revanche, malgré l'application correcte des normes actuelles restent des bâtiments trop consommateurs et très inconfortables en été et en hiver. L'architecture traditionnelle a su répondre par le passé avec ses moyens aux contraintes climatiques. Des solutions contemporaines existent, sans attendre l'obligation d'application de nouvelles réglementations thermiques (NRT). Les concepteurs doivent respecter certains points précis (voir tableaux ci-dessous).

CONTRAINTES	RÉPONSES TRADITIONNELLES	RÉPONSES ACTUELLES POSSIBLES
Limiter les déperditions	Murs épais, foin au grenier, espaces tampons au Nord	Isolation thermique et espaces tampons
Profiter des apports internes	Animaux au rez-de-chaussée, sous l'habitation	Apports par appareils divers : éclairage, bureautique...
Profiter des apports solaires en hiver	Ouvertures au sud	Ouvertures au sud Murs capteurs (Trombe, etc.)
Garder une température clémente en été	Ouvertures de petites dimensions Volets et persiennes Enduits clairs Patio Végétation Courants d'air Mare, fontaine Ventilation des combles	Patio Végétation Ventilation transversale sur ventilation Fontaine, piscine Création de sur-toiture, toiture végétale, toiture à rafraîchissement nocturne
Limiter les variations de température jour/nuit	Murs intérieurs et extérieurs porteurs et massifs Toit de tuiles Planchers lourds	Forte inertie thermique du bâtiment par les murs et planchers Inertie rapportée (masse d'eau ou de matériau à chaleur latente)
Supporter les pointes de chaleur estivale	Inertie thermique forte Réponse comportementale : sieste, adaptation du rythme aux saisons	Inertie thermique forte Réponse comportementale : sieste, piscines... et toujours adaptation du rythme aux saisons
Assurer un bon éclairage des locaux	Volets persiennés Peinture blanche des parois intérieures	Fenêtres largement dimensionnées Brise-soleil, volet, rideau Peinture claire des locaux
Se protéger du Vent	Ouvertures réduites au nord et à l'ouest Génoises, croupes, Végétation, utilisation du relief	Sas et portes étanches Forme aérodynamique du bâtiment Végétation, utilisation du relief

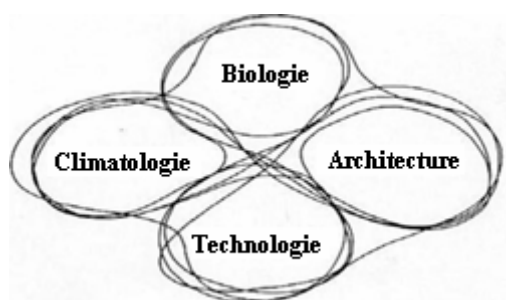
Tableau 13: Réponses traditionnelles et actuelles pour qu'un bâtiment soit confortable

Source : (ARENE Agence Régionale de l'Energie Provence-Alpes-Côte d'Azur, 1999)

III.8.1.4.L'approche bioclimatique en architecture

Les issues de « la Bioclimatique » dans le bâtiment ont été identifiées par Olgyay pendant les années 50 et ont été développées comme un processus de conception pendant les années 60. (Olgyay V., 1952). Le processus de conception rassemble des disciplines de la physiologie humaine, climatologie et physique de bâtiment. (Olgyay V., 1963). Jones (1998) a développé quelques principes bioclimatiques pour de grands bâtiments. (Lloyd, J., D., 1998). Ceux-ci sont concernés par la forme de l'énergie utilisée - renouvelable ou non-renouvelable - l'utilisation de l'efficacité énergétique, la conservation, le bien-être humain, le confort et l'agrément. (Liétard A. et al, 1996).

C'est donc Victor Olgyay qui a tenté pour la première fois de rétablir le lien fondamental existant entre environnement bâti et environnement naturel. L'approche bioclimatique est donc définie comme l'interaction entre la climatologie, la biologie, la technologie et permet de profiter du potentiel des forces de la nature afin de créer de meilleures conditions de vie dans le bâtiment. Cette symbiose entre le bâtiment et son environnement immédiat (**figure 55**) est possible si le concepteur sait maîtriser l'interaction des variables climatiques, biologiques, technologiques et architecturales

**Figure 55 :** Interdisciplinarité de l'approche bioclimatique Source : (Olgyay V., 1963).

De nombreux mouvements plus spécialisés se sont ensuite succédés, elle a été d'abord qualifiée d'architecture solaire, climatique, éco-énergétique, voire autonome pour arriver finalement à l'architecture bioclimatique. Cette période a été marquée par des bâtiments prototypes où l'économie d'énergie, propulsée par la crise de pétrole, occultait les besoins biologiques de confort. Mais depuis peu on constate une grande mouvance vers une réponse aux besoins biologiques de qualité de l'air intérieur et de matériaux sains par une architecture écologique. (Potvin A., Demers C., 2003).

La véritable architecture bioclimatique, c'est-à-dire celle qui utilise activement le climat extérieur pour la régulation du climat intérieur sans chauffage ni ventilation est apparue dans les années 60 avec les premières constructions solaires réalisées. Les innovations techniques (double vitrage, l'amélioration de l'étanchéité et de l'isolation des bâtiments) ainsi que l'apparition d'outils de calcul thermique qui se sont généralisés ont grandement propulsé l'architecture bioclimatique. Dès les années 70, des constructions passives qui sans chauffage ni climatisation restent confortables toute l'année ont fait leur apparition. La crise de l'énergie et les initiatives gouvernementales vont lancer l'architecture bioclimatique qui va se développer parmi les tenants des énergies douces et le mouvement antinucléaire.

L'architecture bioclimatique est un concept global qui regroupe l'occupant, le concepteur et le bâtiment. Dès la conception et la construction, il est nécessaire de penser à préserver l'environnement et améliorer la qualité de vie ; cela durant l'ensemble du cycle de vie du bâtiment jusqu'à sa destruction. C'est dans ce but qu'a été créée la démarche HQE en France, les labels « Bâtiment basse énergie » et « bâtiment passif » en Allemagne, le standard suisse « Minergie » et la méthode BREEAM¹⁴ en Angleterre.

L'approche HQE propose une résolution globale de l'équation environnement-confort-santé. On pourra donc dire que l'approche bioclimatique dans son sens biologique le plus large est incluse des considérations écologiques actuelles de la HQE et de l'architecture verte. C'est une approche sélective des spécificités du climat afin d'optimiser le confort des usagers par une adaptation constante du bâtiment et de ses occupants aux variations environnementales. (Esquisses, 2003).

Pour chacune des différentes familles climatiques, il est possible de dégager un certain nombre d'observations spécifiques permettant de réduire de manière passive, les apports de chaleur dans le bâtiment. Il est impossible de définir une typologie unique de l'architecture

¹⁴ Building Research Establishment Environmental Assessment Method

bioclimatique, il y'en a autant que de climats. L'architecture bioclimatique passe donc inévitablement par une excellente connaissance de son environnement.

III.8.1.5. Les principes de base de l'architecture bioclimatique

L'architecture bioclimatique utilise les procédés passifs et ne requiert pas de techniques particulières, elle nécessite des connaissances spécifiques en physique du bâtiment et beaucoup de « bon sens ». Il est en effet reconnu aujourd'hui que la priorité doit être donnée à l'enveloppe du bâtiment. L'orientation, la structure des façades, des vitrages, de la toiture, des dalles et parois vont mener à la création d'un climat naturel à l'intérieur. La qualité de l'architecture sera d'autant meilleure que le climat naturel résultant à l'intérieur tout au long de l'année sera le plus proche possible des conditions de confort attendues. Les équipements techniques nécessaires ne devraient alors être là que pour compenser ce qui ne peut pas être obtenu naturellement. Nous obtenons ainsi un climat agréable et des installations de faible dimension et donc de coût réduit, consommant peu d'énergie.

En ce qui concerne l'éclairage, il est évident que des installations sont nécessaires, en particulier pour les périodes nocturnes. Pendant la journée par contre, il s'agit d'utiliser au mieux les possibilités offertes par l'éclairage naturel (particulièrement en région méditerranéenne). Cet éclairage est très apprécié par les occupants d'un bâtiment. Néanmoins on observe bien souvent, même lors d'une journée ensoleillée, que les stores de protection solaire sont abaissés, ce qui nécessite l'enclenchement de l'éclairage artificiel. Un éclairage artificiel sera nécessaire dans le cas de locaux très profonds. Plus on s'éloigne de fenêtres, plus il fait sombre. Ainsi, la taille, la géométrie et les formes d'un bâtiment sont des paramètres à étudier afin de développer au mieux les possibilités d'un éclairage naturel. Si l'on vit avec les fenêtres fermées, c'est la qualité de l'air intérieur qui est affectée. Comme, de plus, l'air ne doit être ni trop sec, ni trop humide, ni contenir trop de gaz carbonique, ni de substances allergènes ou toxiques, il faut développer des moyens pour assurer un renouvellement d'air suffisant. (www.climats.ch).

Le besoin urgent d'économie d'énergie ne doit pas pour autant compromettre la qualité des ambiances thermiques intérieures. Cela nécessite une nouvelle vision sur le confort thermique considéré actuellement sous une approche analytique dans les normes. L'enveloppe bâtie n'est plus simplement considérée comme la frontière du domaine occupé, mais elle devient un élément souple chargé de transformer un climat extérieur fluctuant et inconfortable en un climat intérieur agréable. Les principes de base pour avoir une enveloppe qui répond favorablement aux principes de l'architecture bioclimatique sont : (Milan Z., 1993)

- ✓ **Minimiser les pertes énergétiques par:** la compacité du volume, une isolation performante pour conserver la chaleur et la réduction des ouvrants et surfaces vitrées sur les façades exposées au froid ou aux intempéries.
- ✓ **Privilégier les apports thermiques naturels et gratuits par :** des ouvertures et vitrages sur les façades exposées au soleil, le Stockage de la chaleur et des Installations solaires pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.
- ✓ **Privilégier les apports de lumière naturelle par :** l'intégration d'éléments transparents bien positionnés et le choix des couleurs.
- ✓ **Privilégier le rafraîchissement naturel par :** de Protections solaires, la ventilation et une inertie appropriée.

La performance thermique du bâtiment peut être améliorée par diverses méthodes de refroidissement passif, indépendamment des appareils de conditionnement d'air. D'autre part, l'usage d'une seule technique pour la prévention des surchauffes en été ne peut être efficace. En fait, une combinaison judicieuse des différentes techniques, à la manière de l'architecture traditionnelle, peut donner des ambiances de vie favorables, sans recourir aux dispositifs d'appoints. (Hyde R., 2008).

III.8.1.6. Les stratégies de l'architecture bioclimatique

Trois stratégies résument l'approche bioclimatique

- **La stratégie du chaud ou systèmes de chauffage solaire passif**

Le principe fondamental d'une architecture bioclimatique est de tirer le meilleur parti de l'ensoleillement naturel pour assurer les apports de chaleur en période froide. Les principes de la stratégie de chaud sont les suivants : capter le rayonnement solaire, stocker l'énergie ainsi captée, distribuer cette chaleur dans le bâtiment, réguler cette chaleur et enfin éviter les déperditions dues au vent

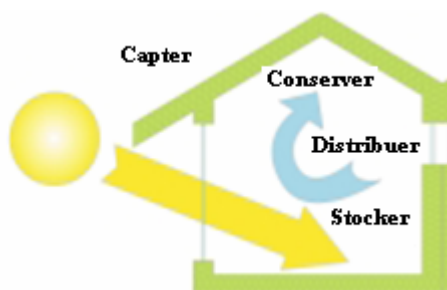


Figure 56 : Concepts de la stratégie du chaud
Source : Architecture et climat

Le captage consiste à recueillir l'énergie solaire, la transformer ensuite en chaleur à travers les surfaces vitrées, et dans une moindre mesure à travers les parois opaques, il est donc intéressant de stocker toute cette énergie jusqu'au moment où le besoin s'en fait sentir,

c'est essentiellement l'inertie des matériaux utilisés pour la réalisation des planchers ou des parois qui permette cette conservation de chaleur. La distribution de la chaleur à l'intérieur du bâtiment peut se faire en cas de besoin de différentes façons : Naturellement (lorsque la chaleur accumulée dans un matériau durant la période d'ensoleillement est restituée à l'air ambiant par convection et par rayonnement.), Par thermocirculation de l'air Ou mécaniquement. Ainsi les systèmes solaires passifs se basent sur deux composants fondamentaux : les vitrages sud et la masse d'inertie thermique, pour absorber, stocker et restituer la chaleur.

Mazria (1981) les classent selon trois familles : Apports directs, apports indirects et apports isolés ou séparés. Cette division repose sur la position entre le soleil, la masse (thermique) et l'espace. Dans chaque type de gain, plusieurs dispositifs ont été décrits. Par ailleurs Givoni (1998) définit les systèmes suivants : Gain direct, mur capteur accumulateur, mur à boucle de convection (thermocirculation), système Barra Constantini¹⁵) et plusieurs types d'espaces solaires¹⁶.

- **La stratégie du froid**

S'il est important de récupérer des calories en période froide, il est tout aussi important, en climat méditerranéen, de se protéger des surchauffes en été.

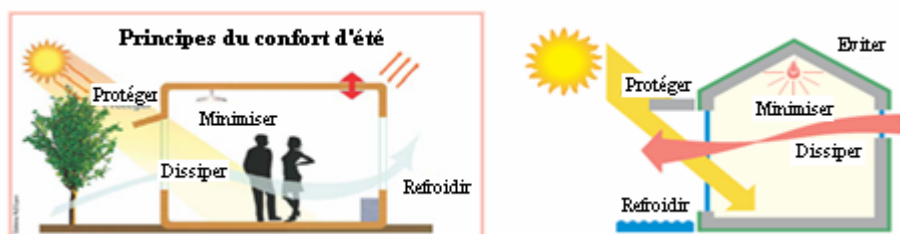


Figure 57 : Concepts de la stratégie du froid
Source : Architecture et climat

Cette stratégie vise à Assurer le confort d'été en limitant au maximum la consommation d'énergie. Le principe étant de rafraîchir l'intérieur du bâtiment en proposant des protections solaires adaptées aux différentes orientations et en évitant les risques de surchauffe en adoptant une isolation appropriée ou une meilleure inertie du bâtiment, en dissipant l'air chaud et en le rafraîchissant.

Les objectifs	Les moyens
Limitier l'insolation	Les protections solaires
Favoriser la ventilation naturelle	L'implantation et la hauteur des bâtiments
	La végétation
	La couleur des matériaux
Réguler la température et l'hygrométrie de l'air	L'inertie des matériaux
	Les espaces tampons
	L'utilisation de l'eau

Tableau 14: principes utilisées dans la stratégie de froid
Source : (ALE – INFOS, 2007)

¹⁵ Mur sud isolé qui fonctionne comme capteur solaire d'air par thermocirculation

¹⁶ Serres modifiables et les porches solaires

Les changements climatiques ont provoqués ces dernières années des canicules récurrentes qui font du confort d'été un souci majeur de la conception architecturale. La tendance a été de recourir systématiquement à l'utilisation d'équipements de climatisation qui sans être un gage de confort, ils constituent une cause d'importantes consommations d'énergie. L'objectif est d'éviter ou au moins limiter le recours à la climatisation en période chaude. Il est strictement recommandé de diminuer la demande de refroidissement dans les bâtiments climatisés en : Utilisant les protections solaires efficaces et en Gérant les installations de climatisation selon les principes d'utilisation rationnelle de l'énergie.

Toutefois il est conseillé de concevoir un bâtiment assurant le confort d'été sans recours à la climatisation, grâce à la combinaison :

- d'une protection solaire efficace,
- d'une diminution des charges internes (moins de 40 W/m²)
- d'une ventilation intensive grâce à des ouvertures suffisantes, représentant au moins 4 % de la surface du local, il s'agit de dissiper la chaleur excessive en exploitant le gradient de température par le biais d'ouvertures produisant un « effet cheminée »
- d'une inertie thermique importante qui permet de minimiser les apports internes de chaleur en évitant les apports externes.

Pour atteindre un confort d'été optimum sans recourir à l'utilisation des énergies fossiles il faut : Intervenir sur le microclimat en créant un jardin, des bassins, une toiture ou des façades végétalisées, etc ou Profiter de la fraîcheur de la terre via un puits provençal.

• **La stratégie de l'éclairage**

Permet de capter le maximum d'éclairage naturel et le répartir ensuite dans les bâtiments en évitant toute source d'inconfort visuel. Il est sans dire que la lumière naturelle peut être captée dans toutes les orientations même si elle varie en qualité et en quantité. Selon les activités pratiquées dans le local, il convient de prévoir des ouvertures adéquates en nombre, en en taille et en position, pour assurer un éclairage suffisant et uniforme.

On peut en fait se protéger de la gêne visuelle que peut provoquer le rayonnement solaire par la construction d'éléments architecturaux fixes, associés ou non à des écrans mobiles. Des stores ou un voilage très fin permettent de réduire la vision trop lumineuse du ciel tout en présentant un éclairage naturel suffisant.

Figure 58: Concepts de la stratégie de l'éclairage naturel
Source : Architecture et climat



III.9.L'enveloppe et les techniques passives

Les trois règles principales auxquelles doit répondre un bâtiment méditerranéen pour être confortable tout le long de l'année sont : Une inertie thermique importante, des protections solaires efficaces ainsi qu'une bonne ventilation naturelle.

On remarque à travers cet exemple (**Figure 59**) que les protections solaires et l'inertie ont un rôle quasi équivalent sur la réduction des températures maximales. Toutefois l'utilisation des deux procédés à la fois ne donnera pas une réduction de température équivalente à la somme des résultats des deux actions. (Izard J.L., 1993)

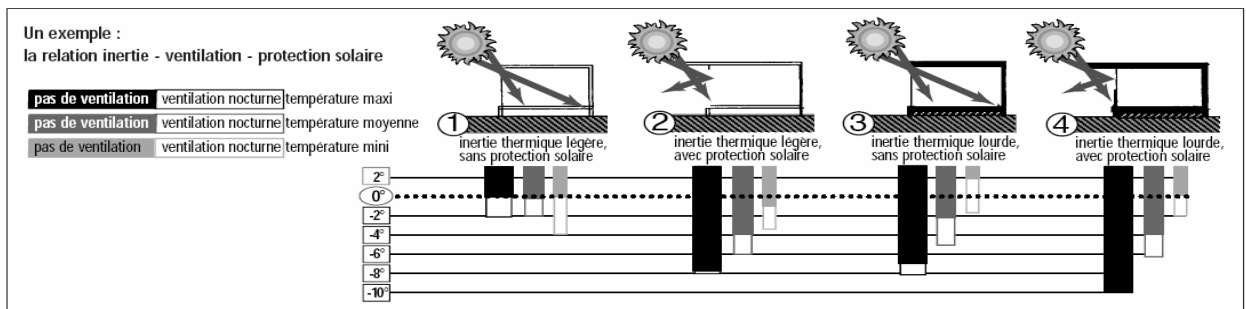


Figure 59: Un exemple de relation entre l'inertie, la ventilation et la protection solaire

Source : (Izard, J.L., 1993)

III.9.1.Orientation

Le premier principe de l'architecture bioclimatique est l'intégration du bâtiment dans son environnement, il est donc plus que nécessaire d'avoir une connaissance parfaite des caractéristiques du climat du lieu où doit s'ériger la construction (les vents dominants, la radiation solaire etc...) et des objectifs du confort. L'implantation du bâtiment doit aussi tenir compte de son impact futur sur l'environnement immédiat. (Chatelet A., Fernandez P., Lavigne P., 1998). L'implantation et l'orientation d'un bâtiment influent notablement sur son comportement thermique, en été ou en hiver,

- Par l'exposition au soleil,
- Par la protection ou l'exposition au vent.

D'une façon générale en climat méditerranéen une exposition principale Sud doit être choisie du fait que le soleil y est disponible toute la journée et toute l'année de plus grâce à la hauteur solaire, les apports sont plus importants en hivers qu'en été à l'inverse des orientations Est et Ouest, ainsi l'orientation Sud permettra :

- Un meilleur ensoleillement en hiver
- Une réduction des apports solaires en été.

En effet le soleil bas en hiver ($\pm 17^\circ$) pénètre profondément dans les locaux alors qu'en été la pénétration du soleil est moins profonde vu que la hauteur solaire est plus élevée ($\pm 60^\circ$).

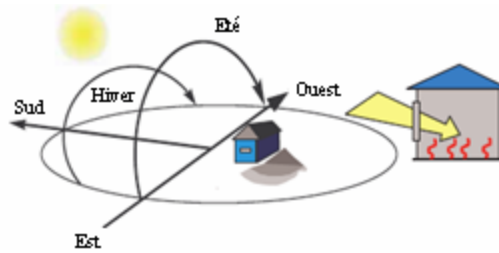


Figure 60: Exposition de la façade sud
Source : (CDER, 2003)

Une orientation vers l'Est permet d'avoir du soleil le matin mais la lumière est difficile à maîtriser car les rayons sont bas sur l'horizon, l'exposition solaire est supérieure à l'orientation Sud en été alors qu'elle est faible en hiver et l'orientation vers l'Ouest présente une possibilité d'inconfort visuel par l'éblouissement et surexposition en été et difficulté de contrôler les surchauffes. (Lièbard A., de Herde A., 2005). On peut profiter des apports solaires sur cette façade Sud soit directement par de larges vitrages ou des serres, soit par les murs capteurs¹⁷.

- **Protection du vent**

De plus afin d'éviter les risques de turbulence, il faut optimiser l'implantation en tenant compte de la topographie et de la végétation. L'orientation est également choisie pour permettre aux vents dominants de pénétrer dans le bâtiment. En effet, la ventilation naturelle est toujours due à une différence de pression, causée par le vent ou par un écart de température. Les vents dominants d'hiver sont une source importante de déperdition (par effet de convection et par infiltration), La protection pourra être assurée par le relief (naturel ou artificiel) du terrain, des brise-vents végétaux, ou par des annexes bâties.

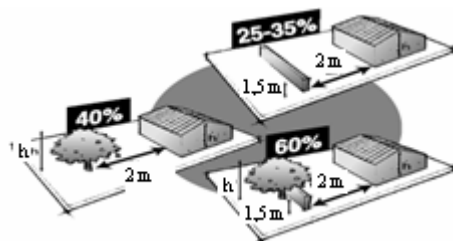


Figure 61: Protection aux vents par des aménagements extérieurs
Source: (Joint Research center commission of the European communities, 1994)

III.9.2. Forme

Une orientation soignée associée à une forme massive permettent de limiter les apports solaires et réduire les charges thermiques et ce particulièrement pour le bâtiment tertiaire avec des gains internes importants. L'effet de la forme du bâtiment sur son comportement thermique est grandement fonction du degré d'exposition de l'enveloppe à la

¹⁷ Murs trombes avec vitrages ou matériaux d'isolation transparents sur la face externe

température extérieure et au vent. De la forme du bâtiment découle la surface de l'enveloppe exposée au soleil, en terme énergétique la position de l'isolation thermique est cruciale. Des formes géométriques complexes et des ailes proéminentes tendent à créer une surprotection solaire. Les conclusions de base proposées par Olgyai pour la forme du bâtiment sont : (Mazria E., 1979)

1. Le bâtiment carré n'est pas une forme optimale où que l'on soit,
2. Toutes les formes allongées selon l'axe nord- sud fonctionnent hiver comme été avec une efficacité énergétique inférieure à celle du bâtiment carré,
3. L'optimum dans tous les cas est une forme allongée dans une direction voisine de l'axe Est - Ouest.

La compacité permet de limiter les surfaces déperditives ou soumises à un éclairage solaire important. Le coefficient de forme ou de compacité, mesure le rapport de la surface de l'enveloppe déperditives au volume habitable (m^2/M^3). Il permet de qualifier les volumes construits en indiquant leur degré d'exposition aux conditions climatiques ambiantes. C'est un critère d'évaluation thermique intéressant mais délicat à appliquer car il dépend de plusieurs facteurs qui sont : La forme, la taille ou le mode de contact. (Falgari J., Chabert F., 2004).

III.9.3.Inertie

III.9.3.1.Définition

L'inertie thermique (ou la masse thermique) est le potentiel de stockage thermique d'un local. C'est la capacité d'un bâtiment à emmagasiner de la chaleur (ou de la fraîcheur). (Sidler O., 1998). La propriété des constructions à forte inertie est de conserver une température stable et de se réchauffer ou se refroidir très lentement, alors que les constructions à faible inertie suivent sans amortissement ni retard les fluctuations de la température. Elle peut être une inertie de transmission (à travers les parois soumises à l'exposition solaire) ou une inertie d'absorption (capacité à stocker la chaleur du local dans les parois internes ou périphériques).

Elle permet l'amélioration du confort thermique et la réduction des consommations tant en hiver qu'en été. Elle limite l'inconfort dû aux fortes variations de températures dans les bâtiments l'été, avec pour corollaire la possibilité de se passer de climatisation (ou au mieux de diminuer sa puissance lorsqu'elle demeure tout de même nécessaire). En hiver, il consiste à réduire les consommations de chauffage grâce au stockage des apports solaires gratuits transmis par les vitrages. La chaleur sera alors restituée afin de réchauffer les locaux.

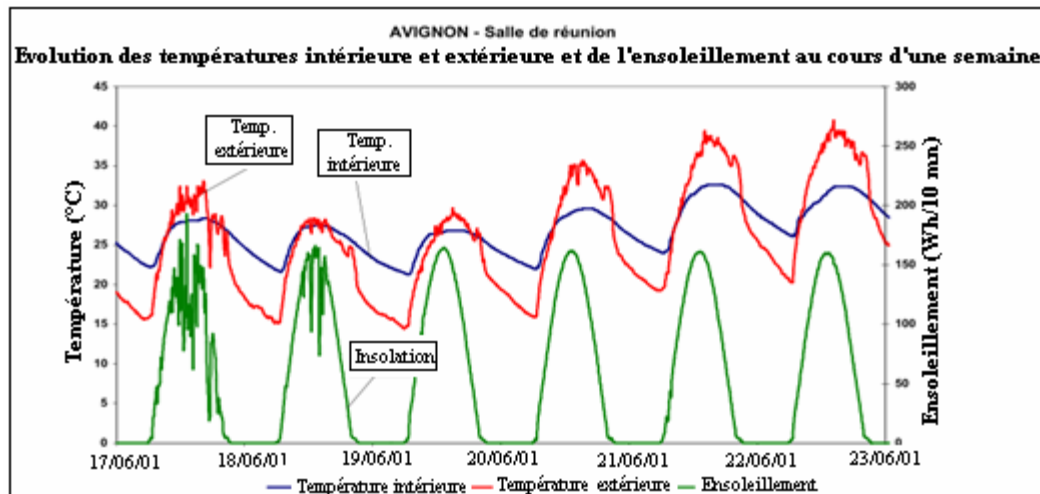


Figure 62 : Bureaux à Avignon- Faible inertie- Température et insolation en Juin
(En l'absence de climatisation)

Source : (Sidler O., 2003)

-Les fluctuations de la température intérieure sont très importantes au cours d'une journée (de l'ordre de 8,5°C).

-Les variations de températures extérieures atteignent 19°C, et les valeurs minimales sont situées entre 15 et 20°C. L'air extérieur constitue une source de refroidissement importante que le bâtiment, faute d'inertie, ne sait pas mettre à profit pour refroidir les locaux.

III.9.3.1. Les paramètres de l'inertie, ou facteurs influents

- **Le déphasage**

Le déphasage caractérise le temps que met une onde de chaleur pour traverser une paroi et est fonction de l'épaisseur de la paroi et de la diffusivité du mur. Il permet de profiter de la fraîcheur des murs pendant la journée en été, alors que pendant la nuit, une ventilation intense refroidit la structure du bâtiment. A l'inverse, en hiver, le mur dégage sa chaleur lentement, de façon à ce que la température ne baisse pas notablement pendant la nuit. Ainsi, on évite d'éventuelles surchauffes et limite les pertes de chaleur. (SIDLER O., 1998).

- **La conductivité thermique**

La conductivité thermique est le flux de chaleur, par mètre carré, traversant un matériau d'un mètre d'épaisseur pour une différence de température de un degré entre les deux faces. Elle s'exprime en W/m. °C. C'est une donnée intrinsèque à chaque matériau, qui caractérise donc uniquement ses performances isolantes. (ARENE PACA, 1998)

- **La Capacité thermique**

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

matériau pour que sa température s'élève d'un degré est grande. D'une manière générale, les matériaux à forte capacité thermique sont aussi les plus lourds. (ARENE, 1999)

- **La diffusivité thermique**

La diffusivité thermique caractérise la vitesse à laquelle la chaleur se propage, par conduction, dans un corps.

- **L'effusivité thermique**

L'effusivité caractérise la capacité des matériaux à réagir plus ou moins rapidement à un apport de chaleur intérieur, que cet apport soit le fait d'une source interne ou du rayonnement solaire. On privilégiera les matériaux ayant une grande effusivité.

- **Les matériaux**

Les principales notions physiques des matériaux, regroupées derrière le terme d'inertie thermique, participent au bon rendement, à la bonne utilisation et au confort de la machine thermique qu'est le bâtiment.

Matériaux	Masse volumique (Kg/m ³)	Chaleur spécifique (Wh/kg. °C)	Conductivité (W/m. °C)	Capacité thermique (Wh/m ³ . °C)	Diffusivité (m ² /h)	Effusivité (W.h ^{0,5} /m ² . °C)	Vitesse de transfert (cm/h)
Béton de granulat : -Plein -Caverneux	2300 1650 à 2100	0,26 0,24	1,75 1,15 1,4	600 395 505	2,93.10 ⁻³ 2,90.10 ⁻³ 2,78.10 ⁻³	32,3 21,3 26,6	4,1 4,1 4,0
Mortier	1950	0,235	1,15	460	2,51.10 ⁻³	23,0	3,8
Brique de terre cuite	1900	0,240	1,15	455	2,53.10 ⁻³	22,9	3,8
Pierre lourde granite/gneiss	2600	0,195	3,0	505	5,92.10 ⁻³	39,0	5,8
Pierre calcaire	2450	0,200	2,4	490	4,90.10 ⁻³	34,3	5,3
Meulière lourde	2200	0,210	1,8	460	3,90.10 ⁻³	28,8	4,7
Sable sec	1800	0,220	0,4	395	1,01.10 ⁻³	12,6	2,4
Brique terre crue	1800	0,235	1,1	425	2,60.10 ⁻³	21,6	2,4
Béton laitier -Plein -Caverneux	2300 1800	0,245	1,4 0,7	565 440	2,48.10 ⁻³ 1,59.10 ⁻³	28,1 17,6	3,8 3,0
Béton de pouzzolane	De 1000 à 1650	0,24	0,35 0,52	240 395	1,46.10 ⁻³ 1,31.10 ⁻³	9,2 14,3	2,9 2,7
Béton cellulaire	400 à 800	0,245	0,16 0,33	100 195	1,63.10 ⁻³ 1,68.10 ⁻³	4,0 8,0	3,1 3,1
Plâtre courant	900	0,300	0,35	270	1,30.10 ⁻³	9,7	2,7
Sol léger et sec	1500	0,210	0,36	315	1,14.10 ⁻³	10,6	2,6
Bois lourd chêne, hêtre	650	0,665	0,23	435	0,53.10 ⁻³	10,0	1,7
Bois léger résineux, peupliers, etc	400	0,755	0,12	300	0,40.10 ⁻³	6,0	1,5
Panneaux de particules	600	0,639	0,14	385	0,37.10 ⁻³	7,3	1,4
Acier	7870	0,133	52	1045	49,7.10 ⁻³	233	16,8
Aluminium	2700	0,258	230	695	330.10 ⁻³	400	43,4
Cuivre	8930	0,110	380	980	387.10 ⁻³	611	47,0
Zinc	7130	0,110	112	785	143.10 ⁻³	296	28,5
Laine minérale	15	0,233	0,04	3,5	11,4.10 ⁻³	0,4	8,1
Polystyrène	18	0,383	0,04	6,9	5,8.10 ⁻³	0,5	5,8
Eau	1000	1,16	-	-	-	-	-

Tableau 15: Caractéristiques thermiques de principaux matériaux de construction.

Source : (ARENE, 1999)

Les matériaux les plus performants pour un stockage de l'énergie sont ceux qui disposent de la plus forte chaleur spécifique, tel le béton, la pierre, la brique, le plâtre...

Les matériaux doivent être locaux de préférence pour qu'ils soient mieux adaptés au climat. (ARENE PACA, 1999).

III.9.3. Hyper inertie

Les bâtiments qui sont en contact avec une grande masse de terre (parties enterrées) disposent de très faibles besoins en énergie du fait de la réduction des surfaces d'échange thermique. La grande stabilité thermique s'accompagne de deux facteurs de risque :

- la ventilation naturelle peut se révéler insuffisante sans dispositifs particuliers
- Le risque de condensation est accru à cause températures murales abaissées (point de rosée sur le mur).

D'une façon générale, l'emploi de structures à forte inertie dans un bâtiment méditerranéen est toujours à associer à des protections solaires efficaces, afin d'éviter une mise en chauffe importante des masses thermiques en été, et à combiner à une ventilation nocturne, traversante de préférence. Une autre limite de l'emploi de l'inertie est donnée par le taux d'humidité, qui devrait se situer entre 35% et 75% d'humidité relative pour un confort correct. (Oliva, J.P., 2001).

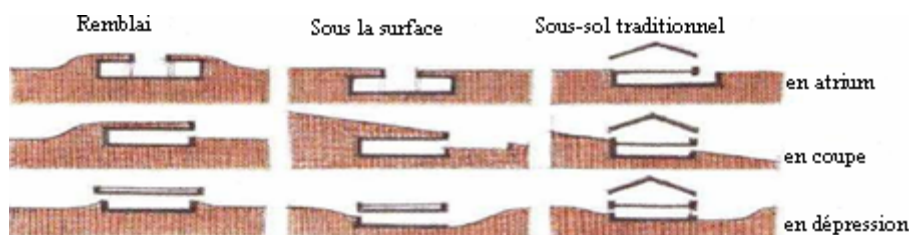


Figure 63 : Coupes de principe montrant diverses possibilités d'implantation d'un bâtiment pour tirer partie de l'hyper-inertie du sol

Source : (Courgey S., Oliva J.P., 2006)

III.9.4. Fenêtres

L'un des systèmes passifs les plus répandus sont les fenêtres, l'utilisation passive de l'énergie solaire est en fait présente dans toute construction munie de fenêtres, la lumière et la chaleur sont apportées par la pénétration du rayonnement solaire par les ouvertures transparentes. L'énergie solaire est captée et stockée dans les parties massives internes du bâtiment. Leur utilisation permet une réduction d'environ 10% de la consommation d'énergie de chauffage. (Lièbard A., de Herde A., 2005).

III.9.4.1. Les Vitrages

Vu la forte conductivité et la transparence des verres traditionnels, les vitrages sont à la fois une source d'apport énergétique, mais aussi de pertes de chaleur suivant leur exposition et l'heure de la journée. (Mazria E., 1979).

- **Les différents types de verre**

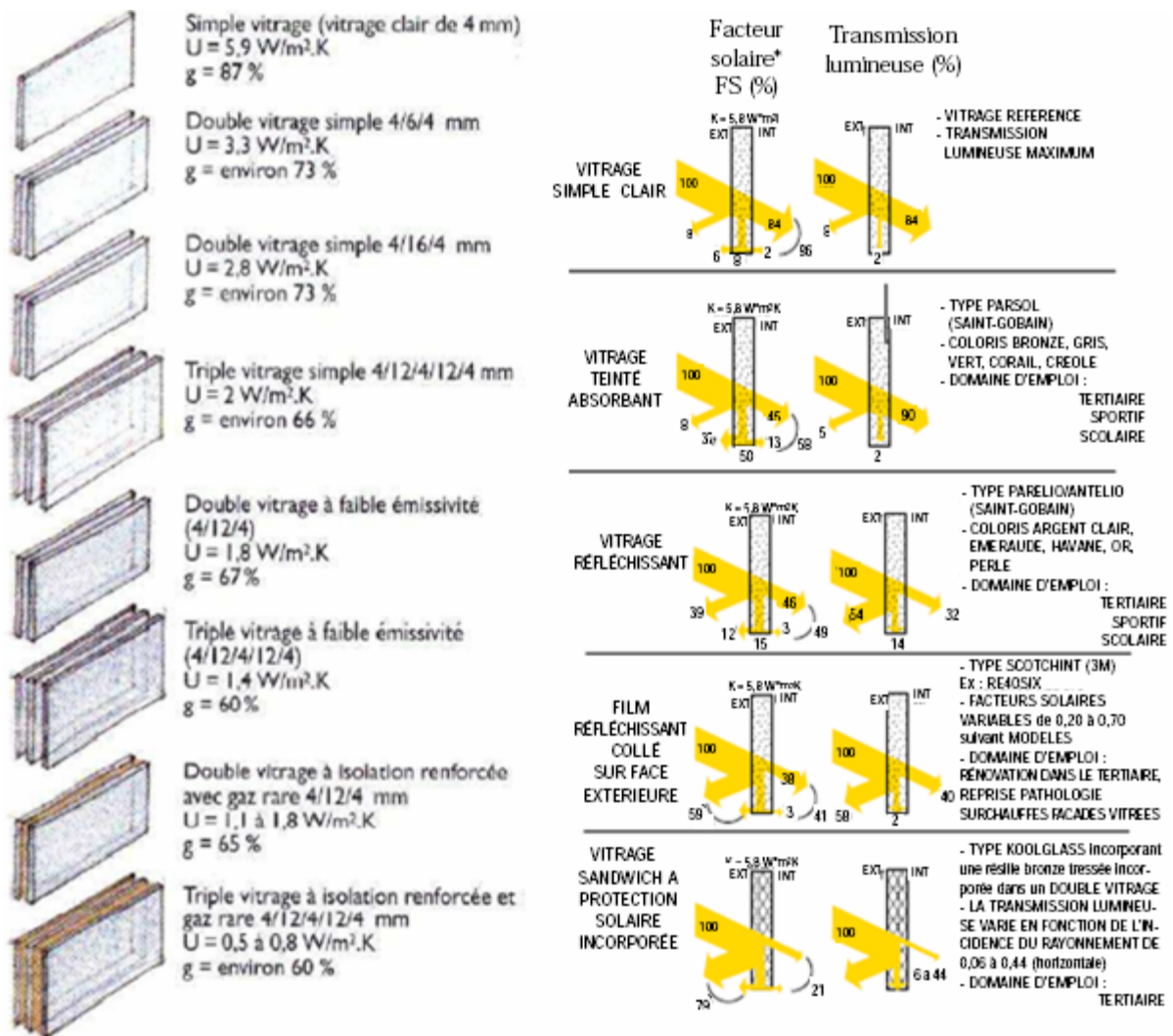


Figure 64: Comparaison de différents types de vitrage

Source : (Courgey S., Oliva J.P., 2006)

- Les verres peu émissifs

Ceux sont des verres qui permettent de diminuer les pertes de chauffage vu que leur conductivité est réduite. Du fait que Les facteurs de transmission solaires sont sensiblement équivalents, ils ne permettent pas de réduire l'effet de serre et donc n'améliorent pas le confort d'été. Au contraire, ils ont tendance à davantage conserver la chaleur en été et donc contribuent à l'augmentation de chaleur dans les locaux. Nécessitent des protections solaires.

-Les verres sélectifs

Ils permettent de réduire les apports solaires dus aux infrarouges sans augmenter la demande d'éclairage artificiel ce qui fait qu'ils ont un bon effet sur le confort d'été. Le problème est qu'ils réduisent les apports solaires en hiver.

- Les verres réfléchissants

Leur effet est limité en été, ils réduisent les apports solaires en hiver et contribuent à augmenter les consommations d'électricité liées à l'éclairage sur l'ensemble de l'année. Ils sont surtout utilisés dans le bâtiment tertiaire car ils permettent de réduire l'éblouissement et les surchauffes de l'été donc une moindre utilisation de la climatisation.

- Les verres absorbants

Ils permettent une réduction de la lumière et de l'énergie transmise.

- Les films réfléchissants

Posés à l'intérieur, ils diminuent l'énergie et la lumière transmises à travers le vitrage. Ils sont particulièrement adaptés en réhabilitation.

- Les verres à protection incorporée

Une résille de bronze est incorporée dans le double vitrage. La transmission lumineuse varie en fonction de l'angle d'incidence.

- Les matériaux d'isolation transparents :

Ces isolants sont soit des matériaux à structure nid d'abeille, soit des aérogels de silice. Ils ont une plus faible conductivité que le verre. Ils ne réduisent pas les apports solaires en été.

- Les fenêtres pariéto-dynamiques

Ces sont des fenêtres composées d'un triple vitrage à travers lequel circule l'air entrant. Entre les parois vitrées, l'air récupère une partie de la chaleur qui normalement s'échappe à travers les vitrages, le problème est qu'il n'améliore pas le confort d'été.

La nature du vitrage a une très grande influence sur la transmission énergétique du rayonnement solaire à l'intérieur d'un local, elle dépend particulièrement de : nombre de feuilles de verre, facteur de transmission de chaque feuille et enfin du facteur de réflexion ou d'absorption. (Lavigne P., 1994). En règle générale, la surface vitrée doit être limitée, mais de nouveaux types de vitrages permettent d'augmenter celle-ci sans dégrader le confort. (Izard J.L., 1993).

III.9.5. Protections solaires

La protection solaire concerne toutes les parois extérieures du bâtiment, qu'elles soient transparentes ou opaques (non isolées thermiquement), elle permet de rendre le bâtiment thermiquement et énergiquement performant en limitant les surchauffes et les éblouissements.

Elle est déterminée par le site et la localisation du bâtiment, son type, son usage, les conditions climatiques, d'ensoleillement et les autres sources d'éclairage (tel que l'éclairage urbain) ainsi que par les stratégies globales de refroidissement, chauffage et de ventilation.

Les dispositifs de protection solaire peuvent bloquer le rayonnement direct (en général plus important), réduire dans des proportions variables les rayonnements diffus et réfléchis, et influencer l'éclairage naturel, l'éblouissement et la ventilation. Ils peuvent faire partie intégrante de l'enveloppe du bâtiment en offrant de grandes possibilités d'expression architecturale.

III.9.5.1. Les différents types de systèmes de protection solaire

Les dispositifs de protection solaire peuvent être structurales (porche, véranda, brise soleil) ou appliquées (stores, persiennes, volets), extérieurs ou intérieurs, saisonnier, fixes ou mobiles, verticaux (principalement pour l'Est et l'Ouest) ou horizontaux, ils peuvent aussi être liés à l'environnement (végétation) et peuvent servir comme systèmes d'isolation. Certains dispositifs permettent de remplir tous ces rôles. (Lièbard A., de Herde A., 2005).

Les systèmes intérieurs munis de revêtements réfléchissants transmettent toujours un peu de gains solaires vers l'intérieur par convection alors que Les systèmes externes sont les plus efficaces pour empêcher les gains solaires en interceptant le rayonnement solaire avant qu'il n'entre dans le bâtiment. Les protections extérieures apportent une amélioration de confort visuel et thermique. Elles doivent être adaptées à l'orientation, ainsi au sud elles doivent être horizontale ou verticale parallèle à la façade, à l'Est et à l'Ouest elles doivent être verticale parallèle à la paroi, elles seront choisies, dimensionnées et orientées pour le soleil d'été.

Exemple d'un choix de protection solaire grâce à l'orientation pour un bâtiment tertiaire de type scolaire

$$P : \frac{\text{portée de la protection solaire}}{\text{différence de niveau entre la protection solaire et le bas de la baie}}$$

Doit être égal quelle que soit la latitude : 0,7 pour l'orientation S, 1 pour les orientations S-SE et S-SO et une valeur comprise entre 0,7 et 1 pour les orientations intermédiaires déterminées d'après la figure ci-dessous en fonction de l'angle A que la direction perpendiculaire à la façade forme avec le sud.

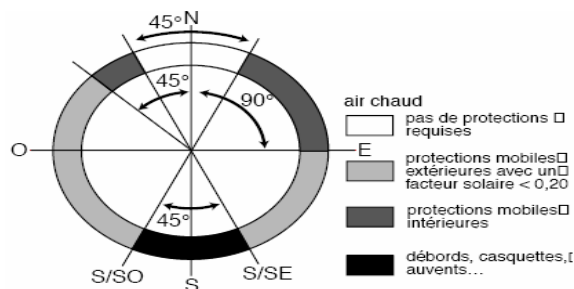


Figure 65: Choix du type de protection en fonction de l'orientation
Source : (Jorck U., 2007)

III.9.5.1.1. Les protections extérieures mobiles

Parmi ces dispositifs de protection solaire mobile on peut trouver les dispositifs extérieurs (Stores, Volets, Persiennes, Ecran entre deux vitres, Vitrage réfléchissant, Vitrage à transmission lumineuse variable, Vitrage teinté, Stores de verre, Stores de verre couplés à des systèmes PV, Eléments optiques holographiques etc...)

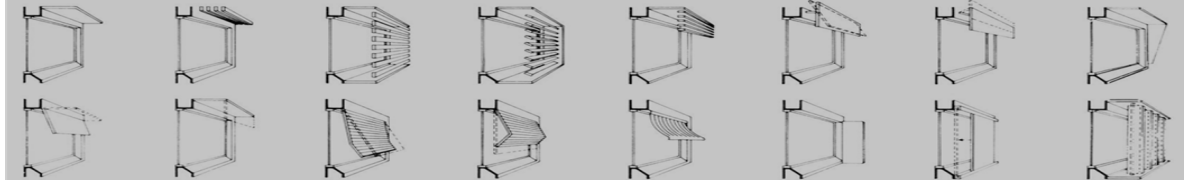


Figure 66: Différents dispositifs de protections extérieures mobiles

Source : TAREB, (2004)

Les solutions mobiles sont très efficaces pour contrôler le rayonnement direct, diffus et réfléchi, elles sont capables de moduler les gains solaires ainsi que les niveaux de lumière naturelle. Elles sont en général très intéressantes, mais onéreuses. Elles peuvent également permettre une ventilation naturelle sans obstacle à travers l'ouverture en façade, et quand elles sont rétractées, elles ne causent plus d'obstruction à la lumière naturelle dans les conditions de ciel couvert. Les volets ou les stores extérieurs ajustables et complètement rétractables sont efficaces, mais peuvent être coûteux s'ils sont automatisés ou à usage commercial. La robustesse est un élément primordial. Ils demandent plus d'entretien et de réparation que les systèmes fixes. Le principal problème demeure leur durabilité.

III.9.5.1.2. Les protections extérieures fixes

Elles sont fréquemment sous forme de casquettes horizontales, d'ailettes verticales ou de volets ou stores permanents. On peut trouver les dispositifs horizontaux fixes (Protection légère horizontale, Avancées horizontales, Skylight, Réflecteur, Stores), les dispositifs Verticaux extérieurs (Rideaux, Stores verticaux, Films réfléchissants sur les fenêtres, Protection passive holographique).

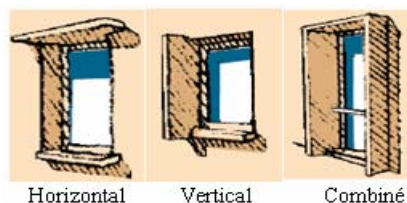


Figure 67 : Quelques exemples de protection extérieurs fixes

Source : (ARENE, 1998)

Ceux sont généralement des éléments architecturaux qui contribuent à la composition des façades. Les systèmes les plus simples pour contrôler le rayonnement solaire direct pour

les incidences fortes (proche de la verticale) sont les avancées horizontales ou casquettes. En climat méditerranéen, où le refroidissement est impératif, l'avancée est souvent sous forme de stores horizontaux pour permettre à l'air de passer librement. Pour obtenir une protection totale au milieu de l'été tout en permettant une pénétration du soleil en hiver, les avancées horizontales doivent être correctement dimensionnées, utilisées en façade Sud et doivent s'étendre suffisamment de chaque côté de l'ouverture. La longueur de débordement est déterminée par la largeur de l'ouverture, la latitude du lieu et la distance verticale entre l'avancée et la fenêtre.

III.9.5.1.3. Les dispositifs de protections solaires intérieures

L'avantage de ces dispositifs est qu'ils peuvent rester ouverts la plupart du temps et ne sont tirés que lorsque l'incidence du soleil le nécessite.

ETE



Figure 1

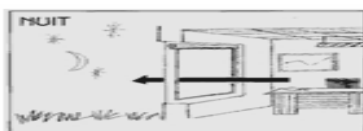


Figure 2

Figure 1 : Le store est baissé et vous procure sa pleine efficacité contre la chaleur, l'éblouissement et reste transparent.

Figure 2 : Le store est relevé et la chaleur diurne s'échappe par la fenêtre.

HIVER



Figure 1

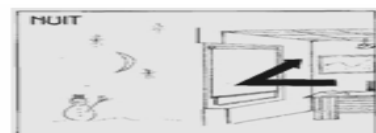


Figure 2

Figure 1 : Le store est relevé et vous bénéficiez de l'énergie solaire passive gratuite

Figure 2 : Le store est baissé et vous conservez votre énergie

Figure 68: Utilisation des stores intérieurs

Les protections solaires intérieures (Volets, Volets roulants, Panneaux intérieurs, Rideaux, Quilt, Store vénitien), situées dans le local ou à l'intérieur des ouvrants sont généralement moins chères, plus facilement ajustables et peuvent être utilisées pour contrôler l'éblouissement. L'idéal est que ces dispositifs soient intégrés seulement en partie supérieure des fenêtres, laissant la partie inférieure libre d'obstruction et ne doivent jamais être de couleur foncée.

III.9.5.1.4. Les protections solaires saisonnières

Les protections solaires saisonnières concernent particulièrement la végétation, elles permettent une modification locale du microclimat urbain. Quand cette stratégie est correctement appliquée, le besoin de protections solaires extérieures ou intérieures peut être

grandement réduit, de plus certaines plantations peuvent protéger non seulement les ouvertures, mais aussi les murs extérieurs et les toits en réduisant les transferts conductifs et les gains par rayonnement. Givoni a remarqué que la végétation influence la température intérieure et les charges de climatisation des bâtiments de différentes façons : Placés à une courte distance des murs et des fenêtres, les grands arbres et les pergolas procurent une bonne protection solaire sans nuire à la ventilation, la végétation au sol autour d'un bâtiment réduit le rayonnement solaire réfléchi ainsi que les rayonnements de grande longueur d'onde émis par le sol vers les murs, réduisant ainsi les gains solaires. La végétation localisée autour du condenseur d'un système de climatisation peut diminuer la température ambiante de l'air. Il consommera ainsi moins d'électricité pour une même puissance frigorifique fournie au bâtiment de plus la végétalisation des façades est recommandée pour les parties les plus exposées aux surchauffes. L'humidité d'un feuillage caduc rafraîchit la façade en été, tandis qu'en hiver, les rayons du soleil peuvent passer. (Van Nostrand R., 1994)

III.9.5.2.Détermination du niveau de protection solaire des baies (FSP)

La maîtrise du flux entrant s'apprécie par le facteur solaire (FS) de la baie munie de sa protection solaire. C'est un coefficient définissant le rapport entre l'énergie solaire qui pénètre à l'intérieur d'un local par une fenêtre ou une paroi opaque et l'énergie solaire incidente sur cette même surface. Le facteur solaire (FS) est un coefficient compris entre 0 et 1. Une protection solaire pour être efficace doit avoir un facteur solaire $(FS) \leq 0,20$.

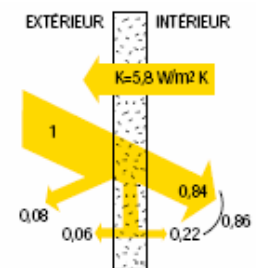


Figure 69: Facteur solaire d'un simple vitrage
Source : (ARENE, 1998)

III.9.5.3.Conception des dispositifs de protection solaire

Le calcul d'une protection solaire se base sur une bonne connaissance de la course du soleil à travers généralement un diagramme stéréographique. En fait les ombres portées créées par projection stéréographique sont très utiles pour concevoir les systèmes de protection et visualiser leur impact en terme d'ombre portée. Szokolay¹⁸ a beaucoup écrit sur la géométrie solaire et la conception des systèmes de protection, et il a identifié trois étapes de base à prendre en compte :

- Identifier les périodes pour lesquelles, une protection saisonnière et journalière est

¹⁸ PLEA Notes: Solar Geometry. PLEA (Passive and Low Energy Architecture) and University of Queensland

nécessaire, tout en considérant le type de bâtiment, sa masse thermique utile, et les gains internes.

- Calculer les performances requises pour le système de protection solaire en définissant les angles horizontaux et verticaux de protection.
- Dimensionner le système pour répondre aux performances attendues. après cela le choix va se porter sur le dispositif qui conviendra le mieux parmi les dispositifs existants.

III.9.6.L'isolation thermique

L'isolation thermique a pour rôle de préserver le confort en réduisant les échanges thermiques avec l'ambiance extérieur. Elle permet de réduire les pertes de chaleur par transmission à travers les parois des bâtiments. Elle peut être utilisée à la fois en construction neuve et en Réhabilitation. Toutes les parties de l'enveloppe sont concernées par l'isolation : les murs, planchers, toitures et les ouvertures

D'une façon générale, on peut constater que plus l'inertie du bâtiment est faible, plus son isolation doit être performante et la protection solaire en été efficace. L'isolation thermique sert surtout à contrôler les températures et l'humidité intérieure et à réduire la taille des systèmes de chauffage et le temps de leur utilisation, ce qui permet de réduire de façon considérable la consommation d'énergie annuelle. Une bonne isolation est donc un facteur essentiel à la maîtrise énergétique du bâtiment. (Lièbard A., de Herde A., 2005).

III.9.6.1.L'isolant thermique

Le choix de l'isolant devrait tenir compte du déphasage induit par le matériau. En général les matériaux les plus légers sont de meilleurs isolants. Le pouvoir isolant d'un matériau est exprimé par sa conductivité thermique qui est influencée par : son poids volumique, sa teneur en eau, la taille des pores d'air et la nature du solide les renfermant.

La résistance thermique d'un matériau isolant est d'autant plus élevée que son épaisseur est grande et que son coefficient de conductivité est faible. Pour choisir un produit d'isolation, on prendra en compte sa résistance thermique R qui figure sur l'étiquette du produit. Plus R est important, plus le produit est isolant. Ainsi les gaz sont de meilleurs isolants que les liquides qui sont meilleurs que les solides. L'isolant peut être placé de différentes façons dans le mur, il peut être placé à l'intérieur, à l'extérieur ou en sandwich. Il est à noter que la position de l'isolant modifie l'inertie de la paroi ainsi que les risques de condensation.

III.9.6.2.L'isolation des murs par l'extérieur

L'isolation par l'extérieur est une solution extrêmement efficace, aussi bien dans la construction que dans la rénovation. Plusieurs solutions techniques sont possibles selon les performances à atteindre (qualité thermique, étanchéité à l'eau et à l'air), l'esthétique recherchée, la complexité de la façade et le prix.

Quelque soit la solution choisie, il s'agit de systèmes relativement simples à la pose. La mise en œuvre sera rapide lorsque de grandes surfaces ininterrompues sont couvertes, mais plus longues pour des surfaces morcelées. Elle s'applique généralement aux murs plans. Le principal avantage de l'isolation par l'extérieur est de procéder à deux opérations en même temps : l'isolation du mur et le ravalement extérieur. Elle diminue considérablement les pertes de chaleurs d'un bâtiment en traitant la majorité des ponts thermiques délaissés par l'isolation classique. Elle protège les murs des variations climatiques améliorant ainsi le confort en hiver comme en été et elle ne réduit pas l'espace exploitable. Par contre son coût est élevé.

Technique	Isolants	Revêtements extérieurs	Pose
Enduit mince	Polystyrène expansé ignifugé. Laine de Roche	Enduits à base de liants organiques (résines) formant une épaisseur de 3 à 5 mm	L'enduit est posé en deux couches. Dans la première couche est introduite une armature (généralement un treillis de fibre de verre) pour le maintien de l'enduit. Le tout est recouvert d'une couche de finition.
Enduit hydraulique	Polystyrène expansé ignifugé. Laine de Roche	Enduit à base de sable, de ciment ou de chaux formant une épaisseur de 15 à 20 mm	L'enduit est posé en deux couches. Dans la première couche est introduite une armature (treillis de fibres de verre, métal) pour le maintien de l'enduit. Le tout est recouvert d'une couche de finition.
Bardage	Laines minérales non hydrophiles. Polystyrène expansé. Liège.	Tuile, ardoise, carreaux de céramiques, bois en clins ou en bardeaux, zinc, aluminium laqué.	Les isolants sont collés ou fixés mécaniquement. Une ossature double accrochée au mur à travers l'isolant permet de fixer le bardage.
	Laines minérales non hydrophiles.	Pierres attachées.	Les isolants sont collés ou fixés mécaniquement. Les pierres sont posées directement sur des attaches fixées au mur (avec une lame d'air entre l'isolation et les pierres d'au moins 2 cm)
Véture	Polystyrène expansé ignifugé. Laines minérales.	Matières plastiques, enduits pierres collées	Les isolants sont collés ou fixés mécaniquement. Les vêtues sont posées sur des ossatures fixées au mur
Vétage	Polyuréthane.		Les isolants sont collés ou fixés mécaniquement. Le Vétage est ensuite fixé mécaniquement au mur à travers l'isolant grâce à des vis chevillées ou des clous et des chevilles sans forcément ménager une lame d'air.

Tableau 16: différentes techniques d'utilisation de l'isolation extérieureSource : Anah¹⁹**III.9.6.3.L'isolation des murs par l'intérieur**

C'est la technique la plus couramment utilisée car elle est la moins onéreuse et la mieux maîtrisée mais elle entraîne une réduction de la surface des pièces, des gênes possibles par exemple pour l'ouverture des fenêtres du fait de l'épaisseur additionnelle, une mise en œuvre qui peut être contraignante dans le cas de prises, canalisations ou autres équipements à démonter, elle ne permet pas de traiter tous les types de ponts thermiques (nez de dalle en plancher haut, etc.). Elle est généralement la solution retenue pour l'isolation des constructions

¹⁹ Agence Nationale d'Amélioration de l'Habitat

anciennes dont le ravalement extérieur est en bon état. (Mémento technique du bâtiment, 2003). Les deux solutions techniques les plus couramment utilisées sont :

- L'isolant quel qu'il soit est placé derrière une contre-cloison maçonnerie en briques plâtrières ou en carreaux de plâtre ou encore en plaques de plâtre vissées sur des ossatures ou sur ossature : L'isolant est alors collé ou fixé mécaniquement au support.
- L'isolant est composé de panneaux composites ou complexes de doublage : Cette solution évite la contre-cloison puisqu'elle fait appel à des panneaux isolants de type polystyrène expansé, polystyrène extrudé, polyuréthane ou laine minérale déjà revêtus d'un parement en plâtre qui seront fixés tout simplement contre le mur par collage soit visser sur des tasseaux ce qui permet de ménager une lame d'air entre l'isolant et la paroi.

III.9.6.4. Isolation répartie, intégrée au mur

L'isolation répartie consiste à construire des murs avec des matériaux épais qui sont à la fois isolants et porteurs ce qui fait que leur mise en œuvre est rapide. On trouve principalement deux familles de matériaux : les blocs en béton cellulaire et les briques alvéolées en terre cuite. C'est un très bon compromis entre inertie thermique et isolation, elle permet d'assurer une bonne perméabilité à la vapeur d'eau, elle réduit les ponts thermiques. (Mémento technique du bâtiment, 2003)

III.9.6.5. Isolation des parois vitrées

La performance thermique d'une paroi vitrée dépend de la nature de la menuiserie, des performances du vitrage, de la qualité de la mise en œuvre de la fenêtre ainsi que la nature des fermetures (volets, persiennes). On peut procéder de différentes façons au renforcement de l'isolation d'un vitrage existant

- **Le survitrage**

C'est un procédé peu onéreux, mais d'une efficacité relative. On pose sur la fenêtre existante une vitre rapportée à l'aide de profilés spécifiques et on renforce l'étanchéité de la fenêtre à l'aide de joints appropriés. Il existe trois types de systèmes : ouvrants, démontables et fixes.

- **Le double vitrage de rénovation**

Il s'agit de doubles vitrages équipés en atelier de minces profilés permettant de les fixer dans les feuillures existantes qui remplacera le vitrage existant sur la fenêtre.

- **Changement de fenêtre avec conservation du dormant existant**

Il est réalisé en mettant en œuvre par recouvrement sur ce dormant une nouvelle fenêtre complète (dormant + ouvrant), en PVC, en aluminium ou en bois.

- **Remplacement total de l'ancienne fenêtre**

Le remplacement de la fenêtre complète (ouvrant et dormant) est la solution à retenir dans tous les cas où la fenêtre existante est en mauvais état.

III.9.7. La climatisation passive par la ventilation naturelle

L'approche bioclimatique utilise « la ventilation naturelle ». Cette stratégie s'avère efficace à contrôler les surchauffes des bâtiments si ceux-ci sont bien conçus et si les conditions climatiques le permettent : une disposition stratégique des ouvertures et une morphologie architecturale favorable à la circulation transversale et verticale de l'air permettront de générer suffisamment de changements d'air pour évacuer la surchauffe.

Une ventilation naturelle (moyens utilisés dans l'architecture des Ksours au sud de l'Algérie) est provoquée lorsqu'il y a une différence de température, couplée à une différence de pression entre deux points du bâtiment. On peut également utiliser le vent et les champs de pression autour d'un bâtiment. L'aménagement astucieux des abords de la maison permet d'améliorer le rendement (plantations, pièces d'eau, pergolas, ...). (Germano M., 2006).

Afin de pouvoir utiliser l'évaporation comme moyen de refroidissement, les parois exposées au vent sec peuvent être modérément ouvertes. Alors que celles exposées aux vents charges de pluie (cote est/sud-est) doivent être particulièrement protégées. (Mendez C., 2005). Les principaux types d'écoulement de ventilation naturelle dans les bâtiments sont :

1. La ventilation traversante

La circulation de l'air à l'intérieur du bâtiment est créée par les écarts de pression dus au vent sur les façades opposées, toutefois la circulation de l'air ne doit pas être perturbée par des obstacles entre les ouvertures situées de part et d'autre du bâtiment. Elle permet de ventiler efficacement même les locaux les plus profonds.

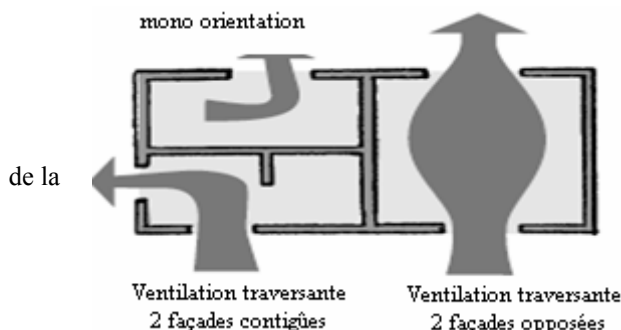


Figure 70: Ventilation traversante (l'abaissement température est fort)
Source : (ARENE, 1999)

2. La ventilation de simple exposition

Dans ce cas le bâtiment doit être muni d'ouvertures hautes ou encore d'une ouverture en haut et d'une autre en bas de manière à favoriser l'établissement d'un tirage thermique qui

permette à l'air extérieur plus frais d'entrer par les entrées basses, et à l'air intérieur de s'extraire par les orifices hauts. Si les fenêtres sont correctement dimensionnées.

3. La ventilation par tirage thermique

Le tirage thermique est en général assuré par la différence de température entre l'air chaud intérieur et l'air plus frais de l'extérieur. Elle peut être aidée par le vent qui, en pratique, est sûrement la force motrice prédominante durant le jour. C'est donc un conduit vertical qui fournit la possibilité d'écoulement de l'air depuis les fenêtres situées sur une façade au vent (avec des pressions positives) à travers la pièce jusqu'à la zone de pression négative située en haut du conduit. Le plan neutre doit être situé au dessus du niveau de la fenêtre la plus haute.

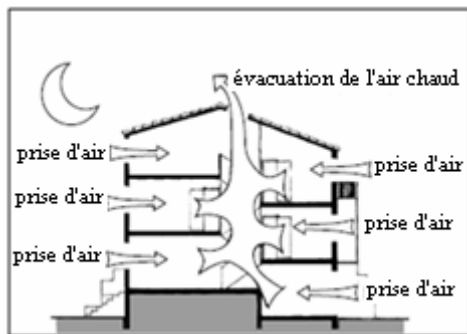


Figure 71: Aération par tirage thermique
Source : (Commission Européenne, 1999)

On peut trouver deux stratégies différentes :

- **La tour à vent :** dispositif destiné à capter les vents en hauteur afin de les diriger vers l'intérieur du local à ventilé. Elle est employée pour acheminer le flux d'air aux espaces intérieurs des bâtiments afin d'assurer un confort de vie pour les occupants.

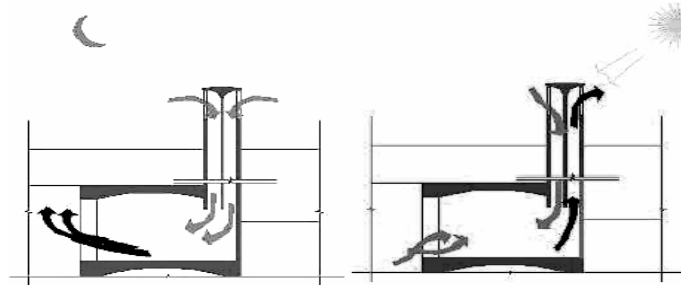


Figure 72: fonctionnement de la tour à vent le jour et la nuit
Source : Ghaemmaghami P., Mahmoudi M., (2005)

On peut trouver la tour à vent unidirectionnelle qu'on trouve dans les régions où les vents saisonniers et journaliers sont pratiquement fixes vers une seule direction. ; La tête de la tour aura une seule ouverture faisant face à cette direction. (Bouchahm Y., 2003)

- **La cheminée solaire**

La cheminée solaire utilise le soleil pour réchauffer ses parois internes. Les forces de poussée dues à la différence de température ainsi créée provoquent un écoulement ascendant le long des parois.



Figure 73: le système de cheminée solaire

Source : (Azami, 2005).

III.9.7.1.La ventilation hivernale

Elle permet de réduire au minimum l'air entrant en tenant compte des activités et de l'occupation des locaux. L'air entrant est réchauffé soit : par récupération sur la perte de chaleur à travers les murs ou les vitrages (effet pariéto-dynamique) ou par préchauffage de l'air par gain direct : prise de l'air derrière une surface captante ou dans une serre ou encore par Préchauffage de l'air entrant par récupération sur l'air extrait (ventilation double flux)

III.9.7.2.La ventilation estivale

La ventilation d'été peut se faire de manières différentes :

1- Par renouvellement de l'air

L'humidification de l'air est obtenue grâce à l'utilisation de points d'eau, brumisation, végétation ou par circulation de l'air dans une masse froide, par exemple une canalisation enterrée (application estivale du puits canadien). Pour les formes peu compactes, la double orientation des différentes pièces sera favorisée.

2- Par refroidissement de la masse du bâtiment

Réduire les entrées d'air chaud durant la journée et favoriser un renouvellement d'air important (supérieur à 4 volumes/heure) en période nocturne (de 23h à 9h) afin de réduire les apports de chaleur durant la journée et de garder la fraîcheur stockée durant la nuit (par effet d'inertie). Dans la zone littorale méditerranéenne, une ventilation diurne est acceptable.

III.9.8.Les espaces solaires

Givoni (1998) distingue deux types d'espaces solaires

- La serre modifiable : possédant un vitrage incliné en toiture
- Les porches solaires : toiture isolée horizontale possédant un vitrage vertical seulement.

Les espaces solaires peuvent avoir plusieurs relations avec le bâtiment, jouant sur l'intégration thermique, fonctionnelle et architecturale dans le bâtiment.

Ces espaces peuvent être : Attachés au mur du bâtiment, Inclus partiellement : entourés Par des espaces sur les deux ou trois cotés ou enfin Inclus totalement : entourés des quatre cotés du bâtiment (cas de l'atrium). (Khelifi L., 2006).

Appelées aussi « espaces tampons vitrés », ils sont constitués d'une surface vitrée située en paroi sud du bâtiment. Le type de climat et la façon d'utiliser ce système détermine si nous devons prévoir un mur de stockage entre lui et le bâtiment. Très souvent, une serre est utilisée pour le préchauffage de l'air de ventilation du bâtiment. Le bâtiment peut donc puiser de la chaleur directement par les surfaces vitrées, par conduction au droit des surfaces opaques et par convection naturelle ou même mécanique de l'air réchauffé dans la serre. Les ouvertures entre la serre et les locaux adjacents ne doivent pas rester ouvertes, sinon la demande énergétique de chauffage des locaux va augmenter. (Mazria E., 1979).

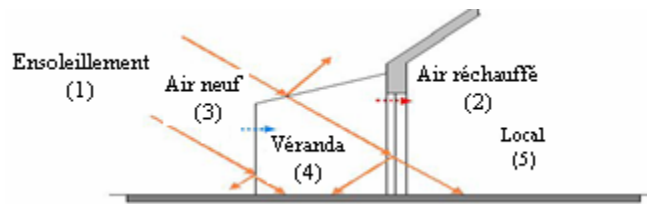


Figure 74: Serre et ensoleillement
Source : (Khelifi L., 2006)

La mise en œuvre d'une serre peut diminuer sensiblement les besoins en chauffage (**Figure 74**). Cependant, des dispositions doivent être prises pour qu'en situation estivale la serre n'augmente pas la charge thermique des locaux contigus (protection solaire, ventilation indépendante).

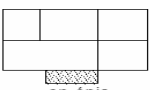
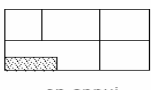
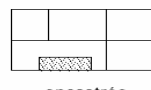
			
	en épis	en appui	encastrée
Consommation chauffage [kW h/an]	8612	8469	8469
Apports solaires [kW h/an]	1500	1579	1186
Apports utiles [kW h/an]	61	81	174

Tableau 17: Influence d'une serre sur la consommation
Source : (Khelifi L., 2006)

Le principe du chauffage avec une serre repose sur la sélectivité du verre vis-à-vis du rayonnement solaire. (CDER, 2003).

III.9.9. Mur capteur

On est à la limite entre les systèmes actifs et les systèmes passifs. La conception des murs capteurs est déjà ancienne (mur Trombe)²⁰ (**Figure 75**). Cette solution présente trois avantages.

- peu d'éléments mobiles sont mis en œuvre, ce qui conduit à une fiabilité élevée pour une

²⁰ Technique de chauffage se basant sur un système de captation solaire, de stockage et de restitution de la chaleur a été développée au C.N.R.S (France) par le Professeur Trombe.

maintenance minimale.

- un stockage à court terme est incorporé au système,
- l'intégration architecturale est assez facile à réaliser.

Par contre, la surface de captation envisageable est très liée à la disposition des locaux et au proche environnement du bâtiment. Elle reste souvent limitée et insuffisante.

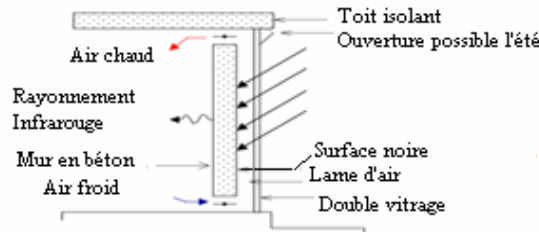


Figure 75: Mur Trombe-Michel

Source : Salem T., (2007)

Le rayonnement solaire en traversant la vitre est absorbé par le mur capteur. L'air au contact de ce mur s'échauffe, s'élève, et pénètre dans le local à travers des orifices en partie haute du mur. L'air intérieur, plus froid, est dégagé naturellement par les orifices inférieurs, ce parcours est appelé "thermocirculation".

Le chauffage des locaux est obtenu principalement par convection sur la face interne du mur qui restitue la chaleur stockée avec un certain déphasage, alors qu'un chauffage instantané est possible grâce à la thermocirculation. Des clapets sont placés devant les orifices inférieurs pour éviter une circulation inverse la nuit.

• Performances du mur trombe (nord de l'Algérie)

Afin d'évaluer les performances d'un tel dispositif dans les conditions climatiques du nord de l'Algérie, une comparaison a été effectuée entre un local muni d'un mur Trombe de 40 cm d'épaisseur et un local classique sur des journées types d'hiver et d'été, il en résulte d'après la figure 81 que la mise en place d'un mur Trombe engendre un gain d'environ 6 °C.

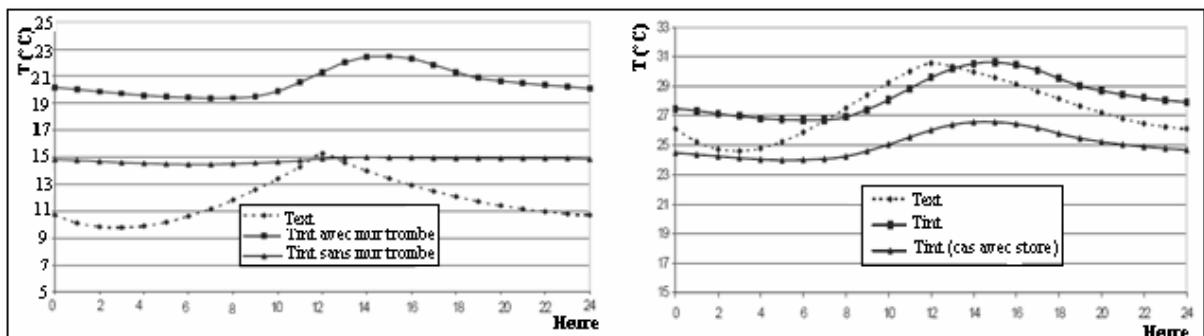


Figure 76: Evolution de la température du local en hiver (à gauche) et en été (à droite)

Source : (Bouguerra E.H., Bouyousfi B. et Retiel N., 1997).

Pour maintenir le local frais pendant les journées chaudes d'été il est nécessaire de prévoir une protection solaire, la figure 81 montre que la mise en place de store vénitien peut diminuer la température intérieure du local d'environ 3 °C et par conséquent minimiser la climatisation en été et le chauffage en hiver.(Bouguerra E.H.,Bouyousfi B.et Retiel N., 1997).

III.9.10.Bilan des différents systèmes

Dans le tableau suivant, les aspects architecturaux ou thermiques qui modifient la mise en œuvre des différents systèmes basse consommation sont récapitulés.

A travers ce tableau on peut voir que l'architecture bioclimatique utilise une association de systèmes passifs afin d'arriver à réduire de manière convenable les besoins en consommation d'énergie pour le rafraîchissement et le chauffage des locaux et qu'un système utilisé seul ne donne pas de bons résultats. La mise en place de protections solaire est nécessaire dans tout les cas pour les bâtiments en climat méditerranéen.

	CHAUFFAGE					RAFRAICHISSEMENT				
	Mur capteur	Isolation dynamique	Fenêtre dynamique	Serre	Plancher solaire direct	Climatiseur évaporatif	Ventilation nocturne	Puits enterré	Rayonnement nocturne	Plancher rafraichissant sur
Pour chaque système, voilà les inérêts qu'il présente:										
Limitier les déperditions thermiques par conduction										
Assurer l'isolation par l'extérieur										
Profiter des apports solaires directs										
Profiter des apports solaires indirects										
Bon fonctionnement avec une forte inertie										
Limitier les déperditions thermiques par renouvellement d'air										
Valorisation de la fraîcheur nocturne										
Valorisation du potentiel thermique de la terre										
Valorisation du potentiel thermique d'une nappe d'eau										
Afin de pouvoir bénéficier de tous les intérêts de ces sytèmes, il faut:										
Mettre en place des protections solaires										

Tableau 18: Tableau récapitulatif des différents systèmes basse consommation

Source : (COSTIC centre de Digne, 2004)

III.10. Conclusion

La conception d'un bâtiment économe en énergie en climat méditerranéen, nécessite une étroite liaison entre la conception architecturale et la conception des équipements techniques. La modélisation des transferts thermiques permet d'avoir une approche prévisionnelle des besoins en énergie pour le chauffage et la climatisation des locaux.

Afin de réduire les besoins énergétiques dans le bâtiment tertiaire en Algérie, on peut jouer sur plusieurs paramètres, à savoir:

- Le bâtiment lui-même: l'intégration du concept bioclimatique qui vise à utiliser les ressources naturelles pour réduire les dépenses d'énergies consacrées au chauffage, à la climatisation et à l'éclairage des bâtiments en vue de réaliser le confort thermique et lumineux.
- L'amélioration des performances et du rendement des équipements.
- Le recours à l'utilisation des énergies renouvelables.

IV : Présentation du cas d'étude et méthodologie de recherche

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous essayerons de faire apparaître de façon précise les caractéristiques de la construction des bâtiments tertiaires dans la ville de Tizi-Ouzou. En l'absence de données statiques précises sur la typologie des constructions à usage tertiaire, nous avons réalisé une enquête basée sur les permis de construire.

Dans le but de cerner les principaux problèmes thermiques et énergétiques dans le bâtiment, nous aborderons un cas d'étude en utilisant dans un premier temps la méthodologie d'enquête en abordant les ambiances à partir d'une démarche principalement qualitative, elle se base sur la perception que les individus ont d'une situation, ou leur réaction face à celle-ci. C'est donc une méthode à indicateurs subjectifs variables. Il s'agit en effet de recueillir des données sur le confort thermique, les systèmes et leur utilisation, la facture énergétique et les besoins des occupants dans un bâtiment représentatif. Après cela nous aborderons la méthode expérimentale qui consiste à prendre des mesures sur site. Ils décrivent des situations qui peuvent être mesurées et représentées quantitativement. (Ait Ameur K., 2002). C'est donc une méthode à indicateurs objectifs.

IV.2. Enquête sur la situation du bâtiment tertiaire à Tizi-Ouzou

IV.2.1. Objectifs

Afin de définir la typologie des constructions à usage tertiaire à Tizi-Ouzou, nous avons réalisé notre première enquête sur le terrain. Nous comptons obtenir des informations sur les thèmes suivants :

- Les caractéristiques constructives des bâtiments (nombre d'étages, surface occupée, surfaces vitrées, etc).
- Les principaux matériaux de construction
- Les principaux matériaux disponibles sur le marché
- Les éventuels défauts liés à l'architecture et à la construction.

IV.2.2. Méthodologie

L'enquête s'est déroulée en juin 2008, et a concerné l'analyse de permis de construire des bâtiments tertiaires délivrés depuis 10 ans. Nous avons ensuite complété cette analyse statique par des entretiens avec des personnes travaillant dans le domaine du bâtiment (ingénieurs en génie civil, architectes, enseignants etc.).

IV.2.3. Analyse des résultats

Les résultats obtenus après notre enquête sont comme suit :

- La hauteur moyenne des bâtiments est d'environ quatre étages.
- Le nombre de bureaux est important
- Les surfaces des bureaux sont relativement petites
- Le nombre d'occupants par bureau est important (03 en moyenne)
- La surface et l'orientation des baies vitrées ne sont pas choisies selon les conditions climatiques, mais selon la vue qu'offrent les fenêtres.

IV.2.4. Les principaux défauts de ces constructions

Les principaux défauts de ces constructions peuvent être résumés comme suit :

- Des orientations inadaptées au climat.
- Des baies vitrées mal adaptées, mal orientées et mal installées, souvent non hermétiques, ce qui engendre des infiltrations d'air avec toutes les nuisances conséquentes : alourdissement du bilan thermique, courants d'air gênants, amenée de poussières et de bruits extérieurs.
- Absence des écrans solaires, ainsi que des orientations et des couleurs non adaptées.
- Utilisation du même système constructif et les mêmes matériaux pour tous les bâtiments quelque soit leur usage.
- Les matériaux d'isolation sont très peu utilisés et se limitent à l'isolation des toitures.
- L'étanchéité est mal soignée et n'offre pas de protection suffisante contre les agents extérieurs (pluie, vent, poussière, etc.) entraînant des migrations d'eau à l'intérieur des murs par capillarité.

L'architecture des bâtiments tertiaires à Tizi-Ouzou n'est pas adapté au climat, (orientation, constructions standardisées et avec les mêmes matériaux de construction) ce qui fait qu'elles consomment beaucoup.

IV.2.5. Les solutions envisageables

Afin de remédier aux problèmes rencontrés dans les bâtiments tertiaires existants à Tizi-Ouzou, une transformation profonde doit être faite dans la conception des nouveaux projets ou dans la réhabilitation des bâtiments existants et notamment dans les domaines suivants :

- Choix des matériaux de construction (isolation thermique des façades, des dalles et des toitures).
- Choix de l'inertie et de la résistance thermique

- Orientation des bâtiments en fonction du soleil et du vent et utilisation de protections contre le rayonnement solaire pour les parois vitrées, opaques et les toitures.
- Réduction ou augmentation du taux moyen de ventilation
- Elaboration et adoption d'une réglementation thermique spécifique aux bâtiments tertiaires et aux caractéristiques du climat du pays.

Sur la base de ce qui précède, nous prenant un cas d'étude représentatif sur lequel nous baserons nos recherches.

IV.3. Caractéristiques du site d'implantation du projet

La ville de Tizi-Ouzou qui est située à 100 Km de la capitale abrite de par sa position géographique un grand nombre d'équipements publics qui sont construits en utilisant le même système constructif (structure poteaux, poutres), les mêmes matériaux de construction et enfin sans tenir aucunement compte du climat de la région, qui est un climat méditerranéen tempéré, ni de leur environnement immédiat. Grand nombre de ces équipements sont inconfortables et présentent un climat non favorable au travail.

IV.3.1. Le climat de la ville de Tizi-Ouzou

La ville de Tizi-Ouzou est située au Nord de L'Algérie à une latitude de 36°42 Nord et une longitude de 04°03 Est. Elle s'élève à une altitude de 188 m. Elle est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré (selon la classification du CSTB « chapitre II »), il est assez frais et pluvieux en hiver, chaud et sec en été. Toutefois la réalisation d'un barrage au niveau de cette ville a fait que l'humidité a augmenté considérablement ces dernières années.



Figure 77 : Situation de la ville de Tizi-Ouzou

Source : www.expeditmaps.com

IV.3.2. Données climatiques de Tizi-Ouzou

IV.3.2.1. Le rayonnement solaire.

Le rayonnement solaire est défini comme étant le déplacement de l'énergie sous forme de radiation solaire, cette radiation solaire transmet la chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques constituant ainsi le spectre solaire (voir chapitre II).

Année		Janv	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Octo	Nov	Dec	Tot	Moy
96	Durée D'insol	149	119	213	210	294	317	335	309	256	239	203	122	2766	231
97	Durée D'insol	119	225	307	243	278	331	315	322	253	204	135	151	2883	240
98	Durée D'insol	158	189	240	256	233	332	368	310	235	240	143	124	2828	235,7
99	Durée D'insol	123	154	209	308	271	264	341	194	251	230	167	134	2646	221
2000	Durée D'insol	139	227	249	250	269	332	319	317	255	212	179	153	2762	230
2001	Durée D'insol	146	191	254	282	268	325	323	300	249	209	122	111	2780	232
2002	Durée D'insol	141	158	220	243	254	315	300	290	245	180	141	155	2642	1321,0
2003	Durée D'insol	135	123	74	209	248	305	268	272	243	182	151	117	2327	194
2004	Durée D'insol	169	184	189	225	179	294	327	307	204	259	178	121	2636	220
2005	Durée D'insol	160	122	160	189	204	274	301	279	247	232	161	160	2489	207

Tableau 19 : Durée d'insolation sur la ville de Tizi-Ouzou pour la période de 1996 à 2005

Source : ONM

Selon le tableau précédent, la durée d'insolation de la ville de Tizi-Ouzou varie entre une valeur de 2489 heures à 2883 heures ce qui est très intéressant si on veut profiter de cette énergie solaire pour une bonne intégration du concept bioclimatique en Architecture.

IV.3.2.2. Les Températures.

Les données recueillies et représentées par des graphes de températures moyennes mensuelles, pour la période de 1996 à 2005, font ressortir les caractéristiques suivantes :

- Une décroissance rapide d'Août (27,9°) à décembre (11,11°),
- Une croissance modérée et régulière de janvier (10,22°) à Août (27,9°)
- Les mois les plus froids sont : Janvier, Février, mars, Avril, novembre et décembre avec des températures moyennes mensuelles minimales de 6,5°C en janvier et 7,6°C en décembre
- Les mois les plus chauds : Juin, Juillet, Août, Septembre et octobre avec une température moyenne maximale de 35,27°C en Juillet et de 35,67°C en Août.
-

	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVEM	DECEM	Tot	Moy
T°Moy/mensu en°C	10,22	10,56	13,75	15,66	19,48	25,01	27,58	27,9	24,56	20,46	14,28	11,11	220,57	18,4
T°Moy/mensu mini	6,5	6,72	8,68	10,52	14,23	18,77	21,35	22,18	18,76	15,56	10,62	7,6	161,49	13,5
T°Moy/mensu MAX	15,08	16,22	19,97	21,79	26,13	32,43	35,27	35,67	31,08	27,13	19,57	15,81	296,15	24,7

Tableau 20: Valeur des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales de Tizi-Ouzou pour la période de 1996 à 2005

Source : ONM

La région est donc caractérisée par deux saisons :

- Une saison chaude allant du mois de mai au mois d'octobre
- Une saison froide allant du mois de novembre au mois d'avril

IV.3.2.3. Les précipitations

La période pluvieuse s'étend du mois de Novembre au mois de Janvier. Les mois de décembre et janvier étant les mois les plus pluvieux avec des valeurs moyennes de 141,12 mm et de 128,75 mm respectivement. Le mois de juillet est le plus sec avec une valeur moyenne de 1,57 mm

	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVEM	DECEM	Tot	Moy
RR en mm&1/10	128,75	79,84	47,93	77,13	68,5	4,25	1,57	6,76	29,7	55,5	116,18	141,12	757,3	63,1

Tableau 21: Valeur des précipitations moyennes mensuelles de Tizi-Ouzou pour la période de 1996 à 2005
Source : ONM

Le climagramme d'EMBERGER, nous permet de situer la ville de Tizi-Ouzou dans l'étage bioclimatique sub-humide à variante tempérée (le climagramme et le calcul du quotient pluviométrique d'EMBERGER sont joints en annexe 2)

- Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN¹

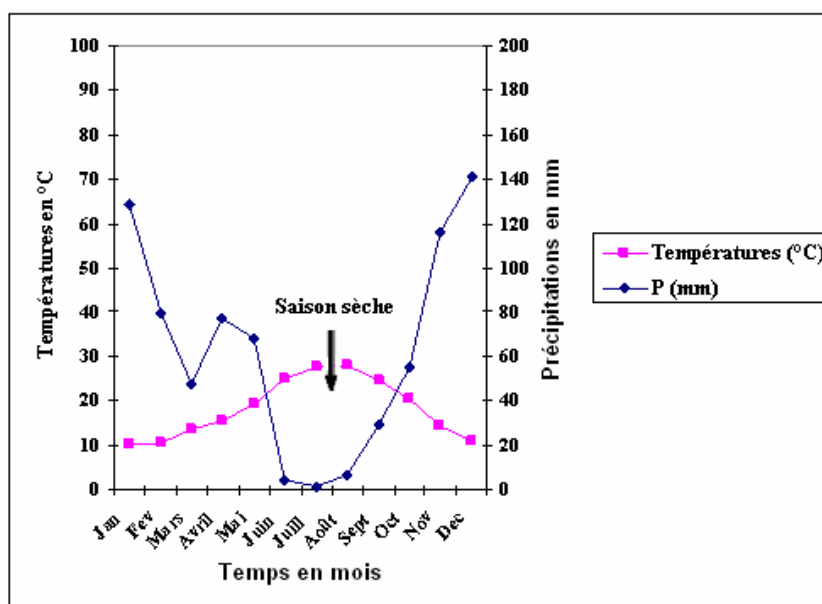


Figure 78 : Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GOUSSEN pour la ville de Tizi-Ouzou

¹ **Henri Gaussen** et **F. Bagnouls**, botanistes célèbres, ont développés des diagrammes pour mettre en évidence les périodes de sécheresses. Ces diagrammes permettent de comparer facilement les climats de différents endroits d'un coup d'œil du point de vue pluviosité.

Selon Bagnouls et Gaussen (1953), un mois est sec lorsque le total des précipitations est inférieur ou égal au double de la température mensuelle. Cette Relation permet d'établir un diagramme ombrothermique qui consiste à comparer mois par mois la pluviométrie et la température sur un même graphique. La norme de deux pour un utilisée dans ce diagramme tient au fait qu'il a été développé en milieu méditerranéen. (Bagnouls F, Gaussen H., 1953). D'après la figure 77, la période sèche s'étale de la mi-juin à la fin du mois de septembre

IV.3.2.4. L'humidité

- La valeur moyenne de l'humidité dépasse les 50% pour tous les mois de l'année à l'exception du mois d'Août et varie entre un maximum de 79,3 % au mois de janvier et un minimum de 52,7 % au mois de juillet.
- La valeur moyenne de l'humidité est inférieure à 50% au mois d'Août seulement avec une valeur de 49% .

La valeur moyenne maximale de l'humidité pendant ces dix dernières années est atteinte au mois de Février avec une valeur 93,4%.

La valeur moyenne minimale de l'humidité pendant la période de 1996 à 2005 est atteinte au mois de Février avec une valeur 26,8 %.

		JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVEM	DECEM	Tot	Moy
HUM/moy mini	en%	57,5	53,0	45,8	45,2	45,1	33,5	29,3	26,8	37,7	42,4	51,8	59,4	527,5	44,0
Hum/moy Max	en%	93,3	93,4	91,1	91,0	90,5	80,9	75,5	69,1	82,7	88,2	92,7	93,1	1041,5	86,8
Humidité moy	en%	79,3	76,4	72,3	70,6	70,3	57,5	52,7	49,0	60,5	68,1	76,3	78,9	811,9	67,7

Tableau 22 : Valeur de l'humidité moyenne mensuelle, minimale et maximale de Tizi-Ouzou pour la période de 1996 à 2005

Source : ONM

IV.3.2.5. Le Vent

Période de 1996 à 2005	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
Vent moyen (m/s)	1,30	1,26	1,44	1,88	1,87	2,27	2,15	1,96	1,48	1,32	1,41	1,50	20,04	1,67

Tableau 23: Vitesse moyenne mensuelle du vent en m/s de Tizi-Ouzou pour la période de 1996 à 2005

Source : ONM

Le vent à Tizi-Ouzou pendant la période de 1996 à 2005 a une vitesse moyenne comprise entre 1,26 m/s et 2,15 m/s atteintes respectivement aux mois de Février et Juillet.

Les vitesses moyennes maximales sont enregistrées du mois d'Avril au mois d'Août, alors que les valeurs minimales sont enregistrées du mois de Septembre au mois de Mars.

Les vitesses du vent sont plus élevées durant les mois chauds que durant les mois froids.

Le vent est défini par deux paramètres : Sa vitesse moyenne et sa direction.

L'échelle de beaufort de 1806, basée essentiellement sur l'observation, est utilisée jusqu'à ce jour. Elle explique les caractéristiques du vent suivant sa vitesse, voir tableau ci-dessous.

Les vents à Tizi-Ouzou varient entre 1,26 et 2,27 m/s, avec une moyenne annuelle de 1,67 m/s. C'est un vent considéré comme faible, de force 2 d'après l'échelle de beaufort (Le visage ressent le froid, les feuilles bruissent)

On peut utiliser le vent comme moyen de rafraîchissement passif des espaces intérieurs durant la nuit. Pendant le jour, il servira à la ventilation naturelle.

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

Tableau 24 : Echelle de Beaufort.

Source : Lavigne P., 1994

IV.3.3. Conclusion de l'analyse climatique

D'après l'étude effectuée, il s'avère essentiel de prendre le climat en considération lors du processus de conception. Cela veut dire que la variété des climats sur le globe terrestre implique sûrement une diversité architecturale, cette dernière doit répondre en premier lieu à des besoins thermiques spécifiques à chaque zone climatique, elle peut aussi servir de jalon à déterminer des caractéristiques spécifiques architecturales.

Le climat de la ville de Tizi-Ouzou peut être identifié selon des aspects qualitatifs mais peut être apprécié grâce à des données quantitatives à l'orientation de la construction.

La région de Tizi-Ouzou est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré avec une saison hivernale relativement humide à une saison estivale beaucoup plus sèche .

D'après cette analyse du climat de Tizi-Ouzou, nous pouvons constater que la période la plus favorable pour la prise de températures dans le cas d'étude correspond aux mois de juillet et Août en été et les mois de Janvier, Février ou Décembre pour l'hiver.

IV.4. Analyse bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou

Pour l'analyse bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou la méthode utilisant le diagramme psychométrique a été choisi, elle repose essentiellement sur l'analyse des données climatiques de la ville de Tizi-Ouzou. L'exploitation du diagramme psychométrique de Givoni pour ressortir fait ressortir des recommandations conformes au climat de la région.

IV.4.1. Application de la méthode de Givoni

Se basant sur les études antérieures d'Olgay concernant les indices de confort, Givoni a élaboré une méthode expérimentale où il représente les limites des ambiances confortables sur un diagramme psychométrique courant. La zone de confort est positionnée au centre, l'air extérieur à cette zone est subdivisé en zones secondaires, où l'auteur propose différentes procédures permettant de réintégrer les conditions de confort. (Givoni B., 1978).

Le diagramme psychométrique de Givoni consiste à évaluer les exigences physiologiques du confort, à partir desquelles les grandes lignes de la conception du bâtiment sont déterminées et permettent de garantir ce confort. Givoni a établi des zones d'intervention obtenues en fonction des données climatiques de chaque mois.

En positionnant les douze (12) mois de l'année sur le diagramme, on arrive à définir quel type de précaution on devra prendre pour l'optimisation du confort à chaque mois. Chaque mois est représenté par un segment qui représente un jour type du mois. Le point de gauche du segment (T_{min} , HR_{max}) représente la nuit et le point de droite (T_{max} , HR_{min}) représente le jour.

	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVEM	DECEM	Tot	Moy
T°Moy/mensu MAX	15,08	16,22	19,97	21,79	26,13	32,43	35,27	35,67	31,08	27,13	19,57	15,81	296,15	24,7
HUM/moy mini en%	57,5	53,0	45,8	45,2	45,1	33,5	29,3	26,8	37,7	42,4	51,8	59,4	527,5	44,0
Hum/moy Max en%	93,3	93,4	91,1	91,0	90,5	80,9	75,5	69,1	82,7	88,2	92,7	93,1	1041,5	86,8
T°Moy/mensu mini	6,5	6,72	8,68	10,52	14,23	18,77	21,35	22,18	18,76	15,56	10,62	7,6	161,49	13,5

Tableau 25: Températures maximales et minimales et humidités maximales et minimales de Tizi-Ouzou pour la période de 1996 à 2005

Source : ONM

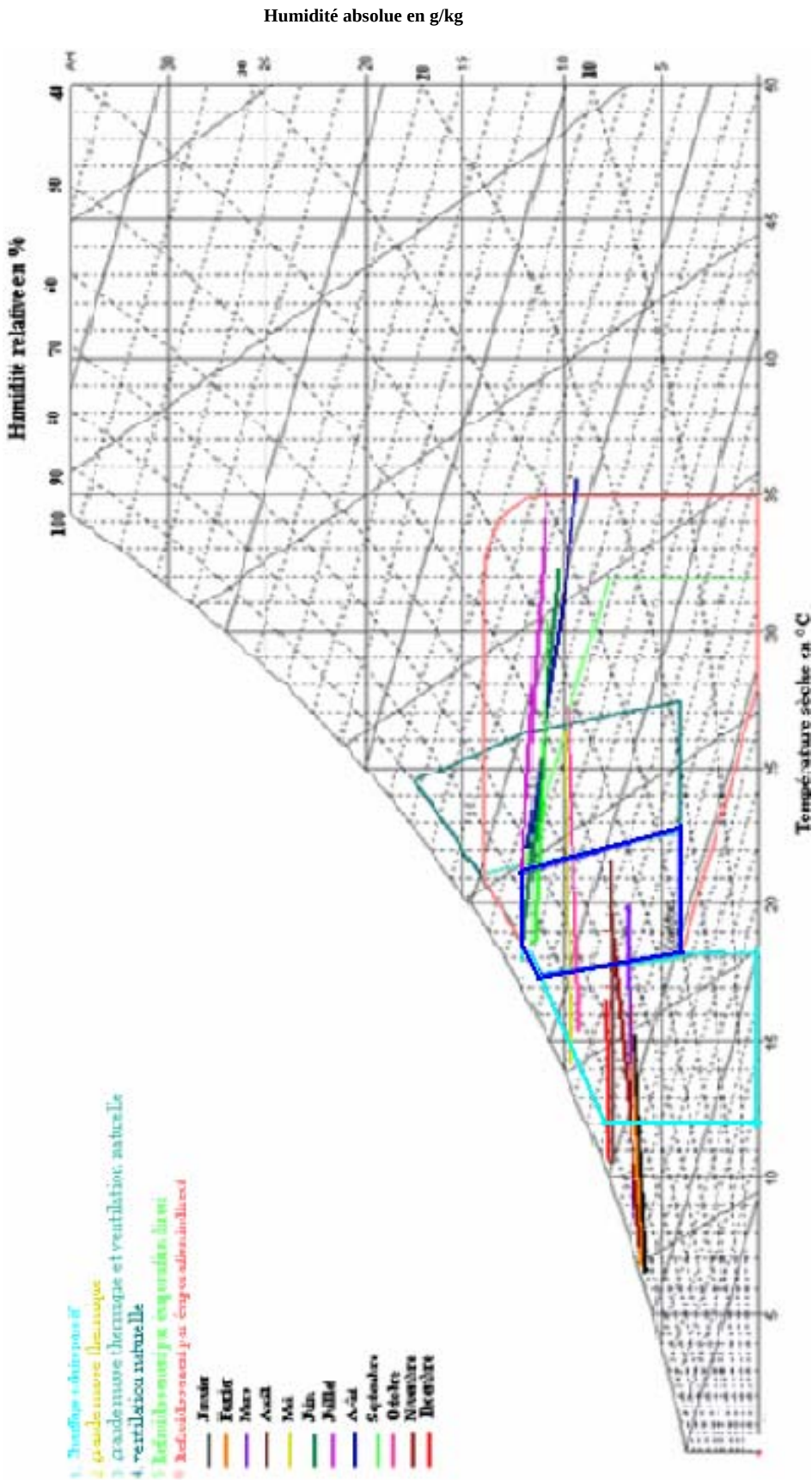


Figure 79 : Diagramme psychrométrique de Givoni sur dix ans (1996 à 2005) à Tizi-Ouzou

D'après le diagramme de Givoni on remarque que :

- Une partie des mois de juin et septembre (nuit), une partie des mois de novembre et Mars (jour) ainsi que $\frac{1}{2}$ du mois d'avril (jour) et $\frac{1}{3}$ des mois de mai et octobre (jour) sont situés dans la zone de confort.
- Une partie des mois de décembre, janvier et février (nuit) sont situés dans la zone de chauffage actif
- La majeure partie des mois de janvier, février et décembre (jour), ainsi qu'une grande partie des mois de mars, avril, mai et novembre (nuit) sont situés dans la zone de systèmes passifs.
- Les gains internes sont conseillés pour une partie du mois d'octobre (nuit) ainsi que pour les mois de mars, avril, mai et novembre (jour).
- Les mois les plus chauds et secs s'étalent sur une partie des mois de mai, juin, septembre et octobre (jour) ainsi que la totalité des mois de juillet et Août, les $\frac{2}{3}$ du mois de Mai ainsi que les mois de juin à Septembre, pour cela, le contrôle solaire, l'effet de masse thermique (inertie thermique), et surtout un rafraîchissement évaporatif et une ventilation nocturne sont les stratégies recommandées pour cette période afin de réintégrer le confort d'été.

IV.4.2. Application de la méthode de Mahoney

Carl Mahoney a développé une méthode de traitement des données climatiques très simple, constituée d'une suite de tableaux. (UNCHS, 1973). Cette méthode permet au concepteur d'arriver à partir de données climatiques (Températures, Humidités relatives, Précipitations, Vents) à des recommandations de confort spécifiques au site d'intervention sans recours au chauffage et à la climatisation.

D'après l'application de la méthode de Mahoney sur la ville de Tizi-Ouzou sous la latitude $36^{\circ} 42$ Nord, on aboutit à un certain nombre de recommandations variant du général (implantation, orientation...) jusqu'au détail (dimension des ouvertures).

Tableau de Mahoney

<u>Location</u>	<u>Tizi-Ouzou</u>
<u>Latitude</u>	36°42 N
<u>Longitude</u>	04°03 E
<u>Altitude</u>	188 m

Température de l'air °C :

Période de 1996 à 2005	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVEM	DECEM	V max	AMT
T°Moy/mensu MAX	15,08	16,22	19,97	21,79	26,13	32,43	35,27	35,67	31,08	27,13	19,57	15,81	35,67	21,10
T°Moy/mensu mini	6,50	6,72	8,68	10,52	14,23	18,77	21,35	22,18	18,76	15,56	10,62	7,60	6,50	14,60
L'écart mensuel	8,58	9,50	11,29	11,27	11,90	13,66	13,92	13,49	12,32	11,57	8,95	8,21	V min	AMR

Humidité relative :

Période de 1996 à 2005	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVEM	DECEM
HUM/moy mini	57,5	53,0	45,8	45,2	45,1	33,5	29,3	26,8	37,7	42,4	51,8	59,4
Hum/moy Max	93,3	93,4	91,1	91,0	90,5	80,9	75,5	69,1	82,7	88,2	92,7	93,1
Humidité moy	79,3	76,4	72,3	70,6	70,3	57,5	52,7	49,0	60,5	68,1	76,3	78,9
Groupe d'humidité	4	4	4	4	4	3	3	2	3	3	4	4

1 < 30%
 2 : 30N50%
 3 : 50N70%
 4 > 70%

Précipitation et vents :

Période de 1996 à 2005	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVEM	DECEM
Précipitation (mm)	128,75	79,84	47,93	77,13	68,5	4,25	1,57	6,76	29,7	55,5	116,18	141,12
Intensité des vents m/s	1,30	1,26	1,44	1,88	1,87	2,27	2,15	1,96	1,48	1,32	1,41	1,50
Intensité des vents m/s	O	O	O	O	O	ONO	ONO	ONO	O	O	ONO	O

Période de 1996 à 2005	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVEM	DECEM	AMT
Moy men max	15,08	16,22	19,97	21,79	26,13	32,43	35,27	35,67	31,08	27,13	19,57	15,81	21,50
Confort du jour le plus élevé	27	27	27	27	27	29	29	31	29	29	27	27	
Confort du jour le plus bas	22	22	22	22	22	23	23	25	23	23	22	22	
Stress du jour	C	C	C	C	O	H	H	H	H	O	C	C	
moy men min	6,5	6,72	8,68	10,52	14,23	18,77	21,35	22,18	18,76	15,56	10,62	7,6	
Confort de nuit le plus élevée	21	21	21	21	21	23	23	24	23	23	21	21	
Confort de nuit le plus bas	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Stress de nuit	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	

H = Chaud
 O = confort
 C = froid

Diagnostic °C

Limite de confort Groupe	AMT > 20°C				AMT 15N20°C				AMT < 15 °C			
	Jour		Nuit		Jour		Nuit		Jour		Nuit	
	Basse	Elevée	Basse	Elevée	Basse	Elevée	Basse	Elevée	Bass	Elevée	Basse	Elevé
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

Signification :

	Indicateur	Stress thermique		Précipitation	Groupe d'humidité	Ecart mensuel
		Jour	Nuit			
Mouvement d'air essentiel	H1	H			4	
		H			2N3	<10 °C
Mouvement d'air désirable	H2				4	
Protection contre les pluies	H3			>200mm		
Capacité thermique	A1				1N3	>10 °C
Dormir à l'extérieur	A2		H		1N2	
		H	O		1N2	>10 °C
Protection contre le froid	A3	C				

Indicateurs :

	Jan.	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Humide													
H1													04
H2	+	+	+	+	+						+	+	11
H3													00
Aride													
A1						+	+	+	+	+			00
A2								+					00
A3	+	+	+	+							+	+	06

Les recommandations spécifiques:**Recommandations conceptuelles**

Indicateurs						Recommandations	
Humide			Aride				
H1	H2	H3	A1	A2	A3		
0	7	0	5	1	6		
						Plan	
			0-10			+	1. Bâtiments Orientés nord-sud (long de l'axe est-ouest)
			11 ou 12		5-12		
					0-4		2. Organisation d'une cour intérieure compacte
						Espacement	
11 ou 12							3. Espacement pour une ventilation naturelle (Brise)
2-10							4. Même chose que 3, plus assurer la protection : vent C/F
0 ou 1						+	5. Conception compacte
						Mouvement de l'air	
3 - 12							6. Pièces alignées du même côté. Mouvement de l'air permanent
1 ou 2			0 - 5				
			6 - 12			+	7. Pièces alignées de part et d'autre. Mouvement de l'air temporaire
0	2-12						8. Pas de mouvement d'air
	0 ou 1						
						Ouvertures	
			0 ou 1		0		9. Grandes ouvertures, 40-80% des façades N et S
			11 ou 12		0 ou 1		10. Ouvertures très petites, 10-20%
N'importe qu'elle autre condition						+	11. Ouvertures moyennes, 20-40%
						Murs	
			0 - 2				12. Murs légers, Déphasage court
			3 - 12			+	13. Murs extérieurs et intérieurs lourds
						Toiture	
			0 - 5			+	14. Toits moyennement isolés
			6 - 12				15. Toits lourds 8 heures de déphasage
						Dormir à l'extérieur	
				2 - 12			16. Espaces extérieurs nécessaires pour dormir
						Protection contre la pluie	
		3 - 12					17. Nécessité de protection des grosses pluies

Recommandations d'éléments de conception

Indicateurs						Recommandations	
Humide			Aride				
H1	H2	H3	A1	A2	A3		
0	7	0	5	1	6		
						Dimension des ouvertures	
			0 ou 1		0		1. Grandes ouvertures 40-80% des façades N et S
					1 - 12	+	2. Ouvertures moyennes 20-40% de la surface totale de la façade
			2 - 5				
11 ou 12			6 - 10				3. Composite 20 – 35% de la surface totale de la façade
			11 ou 12		0 - 3		4. Petites ouvertures 15 – 25% de la surface totale de la
					4 - 12		5. Ouvertures moyennes 25 – 40% de la surface totale
						Position des ouvertures	
3 - 12							6. Ouvertures au N et au S à hauteur d'homme, du côté du vent
1 - 2			0 - 5				
			6 - 12			+	7. De même que 6, mais en ajoutant des ouvertures au niveau des murs intérieurs
0	2 - 12						
						Protection des ouvertures	
					0 - 2		8. Exclure le rayonnement solaire
		2 - 12					9. Créer des protections contre la pluie
						Murs et planchers	
			0 - 2				10. Légers : faible capacité thermique
			3 - 12			+	11. Lourd : Déphasage au-delà de 8 heures
						Toitures	
10 - 12			0 - 2				12. Légers : cavité et surface réfléchissante
			3 - 12			+	13. Léger et bien isolé
0 - 9			0 - 5				
			6 - 12				14. Lourd : déphasage au-delà de 8 heures
						Traitement des surfaces extérieures	
				1 - 12		+	15. Espaces extérieurs nécessaires pour dormir
			1 - 12			+	16. Drainage adéquat des eaux pluviales

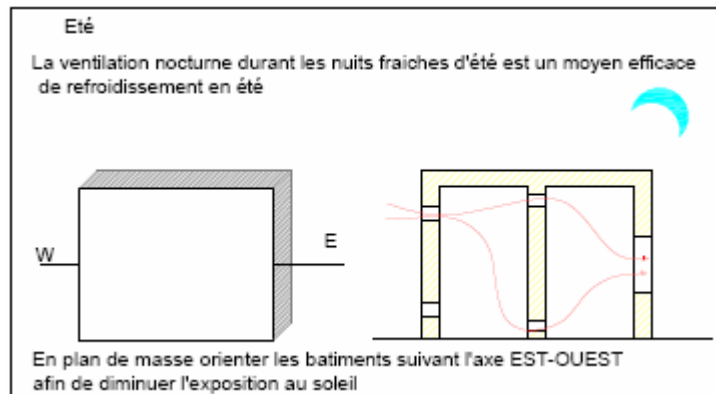
Tableaux 26 : Tables de Mahoney**Synthèse des recommandations spécifiques:**

- favoriser l'orientation nord-sud.
- Occupation compacte des constructions pour éviter les déperditions.
- Les mouvements d'air doit être temporaire, pour cela il est recommandé que les pièces soient alignées de part et d'autre.
- Prévoir des ouvertures moyennes soit d'une dimension de 20% à 40% de la surface de la façade.
- Prévoir des murs extérieurs et intérieurs massiques.
- Opter pour des toitures moyennement isolées.

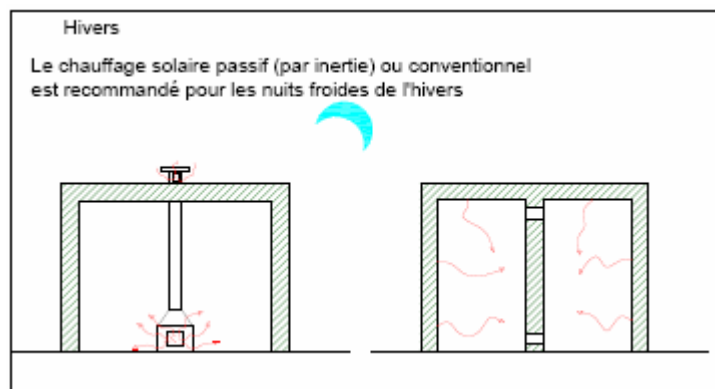
Synthèse des recommandations de détail :

- Ouvertures moyennes de 20 à 40% de la surface de la façade
- Les ouvertures doivent être positionnées au Nord et au Sud à hauteur de l'homme, du côté du vent, en ajoutant des ouvertures au niveau des murs intérieurs.

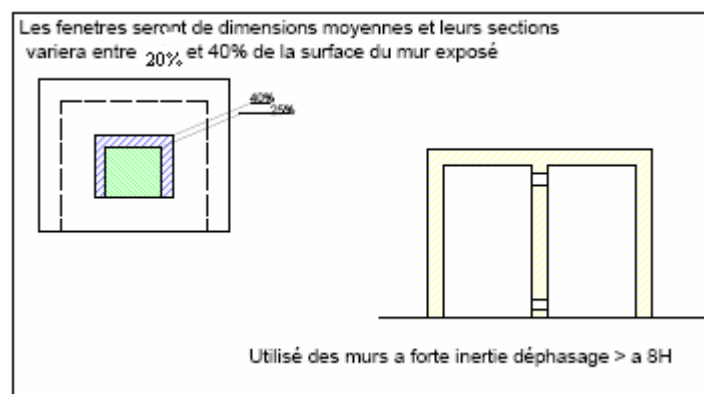
- Murs et planchers lourds avec un déphasage de 8h.
- Toitures légères et bien isolées.
- Prévoir un drainage adéquat des eaux pluviales.



Recommandation Mahoney orientation et ventilation



Recommandation Mahoney chauffage



Recommandations Mahoney sections des ouvertures et inertie des parois

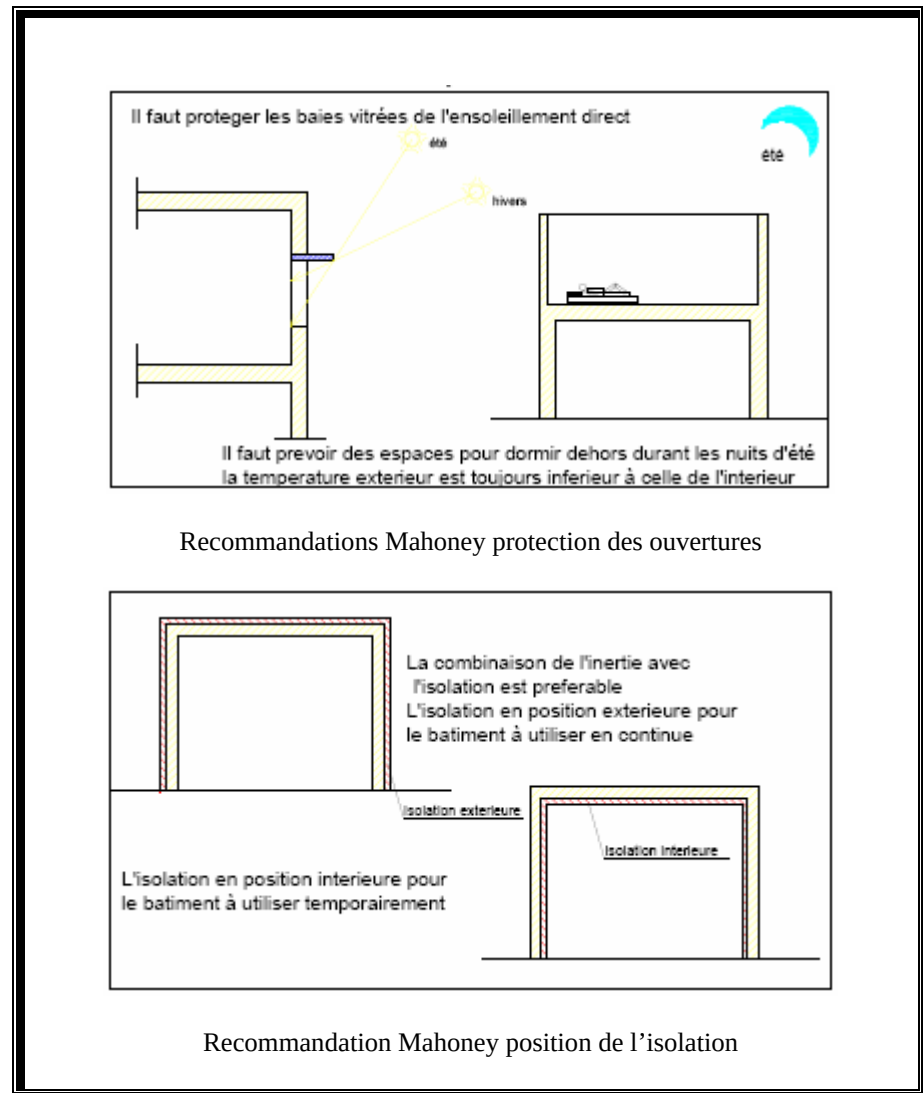


Figure 80 : Recommandations de Mahoney
Source : (Djouimaa A., 2008)

IV.4. 3. Conclusion de l'analyse bioclimatique

La connaissance des systèmes de chauffage et de refroidissement possibles pour chaque mois afin d'avoir un confort intérieur acceptable, permet un bon déroulement des activités professionnelles sans gaspillage d'énergie et sans que la facture énergétique ne soit trop élevée. En effet la bonne connaissance des caractéristiques du climat de Tizi-Ouzou nous permet une bonne intégration du concept bioclimatique et par conséquent une utilisation rationnelle des énergies fossiles.

Pour Tizi-Ouzou le chauffage passif est recommandé, ceci sera atteint par une bonne pénétration du rayonnement solaire, le choix rigoureux des matériaux, la compacité du tissu urbain pour limiter les déperditions. Pendant la saison chaude, les besoins en refroidissement sont aussi importants que les besoins de chauffage en hiver. Un rafraîchissement passif est

nécessaire : plan compact, effet de masse et inertie thermique, ventilation naturelle, dimension et position des ouvertures.

IV.5. Présentation du bâtiment cas d'étude

Nous avons choisi pour cette étude, l'édifice de bureaux qui abrite le siège de la wilaya, situé au Nord-est de la ville de Tizi-Ouzou. Cet édifice qui date de la période coloniale est caractérisé par une forme rectangulaire et par une structure en poteaux, poutres qui est une caractéristique générale des bâtiments administratifs à Tizi-Ouzou en particulier et en Algérie en général jusqu'à ces dernières années ou un autre type de bâtiment à usage de bureau à fait son apparition, ceux sont les bâtiments en mur rideau.

Le choix d'un bâtiment de bureaux tient à plusieurs raisons. D'abord ce sont des bâtiments essentiellement occupés le jour pendant les heures de travail, ce qui facilite l'accès pendant l'enquête. De plus, le confort thermique constitue un enjeu important dans ces bâtiments vu son impact sur la productivité. Enfin les bâtiments de bureaux présentent une grande diversité en terme d'équipements, et nous offre la possibilité d'étudier la relation entre la structure du bâtiment, le confort et la consommation énergétique.



Figure 81: Situation du bâtiment cas d'étude dans la ville de Tizi-Ouzou
Source : Carte touristique de la ville de Tizi-Ouzou

IV.5.1. Configuration spatiale de l'immeuble

Le bâtiment objet de l'étude est l'un des premiers bâtiments administratifs à l'échelle de la wilaya, édifiés à Tizi-Ouzou. L'édifice est composé de trois grands blocs de forme rectangulaire accolés et d'un bloc séparé des autres. L'un des blocs a été réalisé en 1982 en

suivant le même système constructif. L'un des bâtiments est en R+5 et les trois autres en R+4. L'entrée principale est située sur la façade Ouest pour les trois blocs accolés et sur la façade Sud pour le bloc séparé. L'édifice se trouve à l'intérieur du périmètre urbain, sur un terrain bien aéré, ne comportant aucun obstacle physique. Tous les bâtiments sont orientés Nord – Sud avec des murs pignons pour les façades Est et Ouest, sauf le bâtiment 3 qui est orienté Est – Ouest.

Le bâtiment choisi pour notre analyse est l'immeuble réalisé en 1982.



Figure 82: Situation du bâtiment cas d'étude dans son contexte immédiat

Source : Google earth et personnelle

IV.5.2. Espaces intérieurs

Les bâtiments sont de type barre, ce qui fait que les bureaux sont agencés de façon linéaire de part et d'autre d'un couloir sombre, éclairé artificiellement le long de la journée. Les cloisons intérieures sont réalisées en brique avec une épaisseur de 7 cm. Construits avec le système poteaux, poutres en utilisant des trames régulières. Les bureaux sont tous à peu près de même dimensions qui sont approximativement de 3 x 4 m², sauf les bureaux d'angle qui font deux à trois fois 3 x 4 m². Ils comportent 02 (deux) fenêtres de 1,40 x 1,00 m² et une ouverture verticale de 0,30 x 3,00 m².

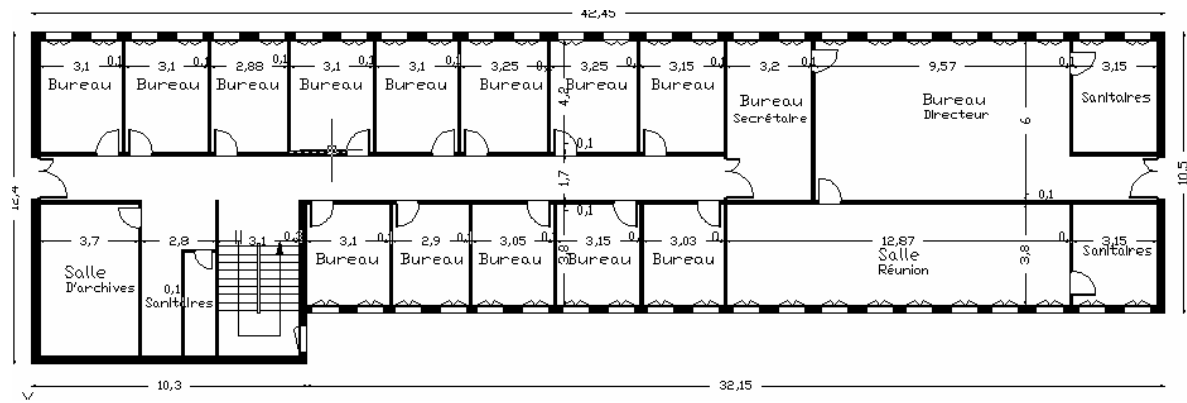
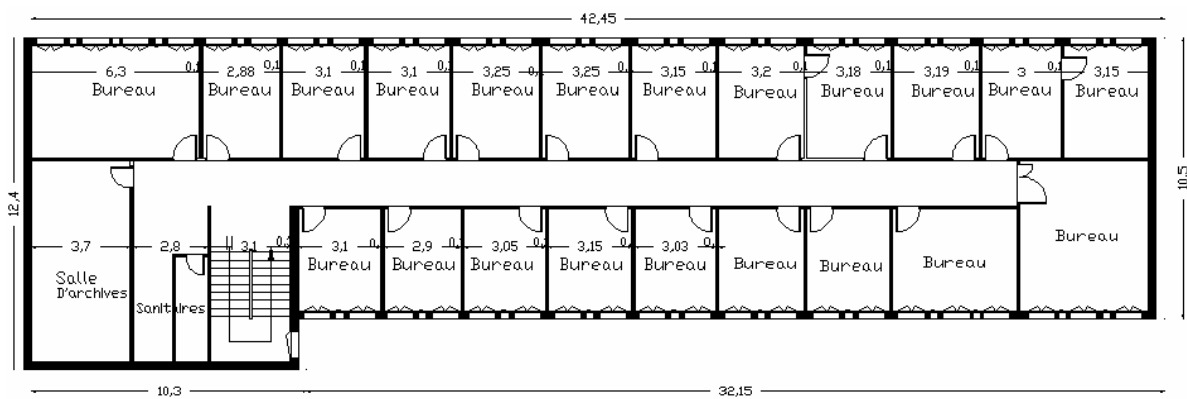
**Plan du Rez de chaussée****Plan de : 1^{er} Etage, 2^{ème} étage et 3^{ème} étage**

Figure 83 : Plans des étages d'un bloc de la wilaya montrant la répartition des espaces intérieurs (échelle 1/275)
Source : (Direction de l'urbanisme et de la construction de Tizi-Ouzou , 1982)

IV.5.3. Caractéristiques constructives du projet

La structure du bâtiment est réalisée en poteaux/poutres coulées sur place.

Les murs extérieurs : L'enveloppe est en double cloison de briques de 10 cm séparées par une lame d'air dans le but d'isoler thermiquement le bâtiment. Le revêtement extérieur et intérieur est en enduit de ciment.

Les murs intérieurs : en simple mur de briques de 7 cm d'épaisseur et un enduit en ciment.

Planchers : sont réalisés en poutrelles et hourdis avec dalles de répartition coulées sur place, le revêtement des sols est en carrelage sur sable.

Toiture : c'est une toiture terrasse en poutrelles et hourdis, elles ne sont pas isolées et provoquent des problèmes que ce soit au niveau de l'humidité ou au niveau des ambiances : très chaud en été et froid en hiver.

Le vitrage : le vitrage utilisé est un vitrage simple et clair de 4 mm d'épaisseur.

Ventilation : La ventilation est de type naturelle.

IV.5.4. Dispositifs de contrôle et équipements de confort

IV.5.4.1. Dispositifs pour le confort d'été

Toutes les fenêtres du bâtiment sont dotées de stores plissés dont la fermeture sert à réguler la température et à contrôler l'éblouissement. Toutefois les bureaux étant utilisés pendant la journée, la fermeture de ces stores poussent les occupants à allumer leurs lampes qui sont en fait une source de chaleur.



Figure 84 : Dispositif de contrôle du reflet (éblouissement et chaleur)

Source : personnelle

Ce dispositif n'étant pas suffisant en période estivale pour la régulation des températures dans les espaces intérieurs, on a eu recours à un autre équipement de confort qui est le climatiseur pour deux bureaux au moins et ce faute de moyens.



Figure 85 : Equipements de confort d'été

Source : personnelle

Afin d'améliorer le confort intérieur de ces lieux de travail, les occupants n'ont qu'une seule solution, l'installation de climatiseurs individuels dans chaque bureau en été et l'utilisation de chauffage pendant toute la période de froid.

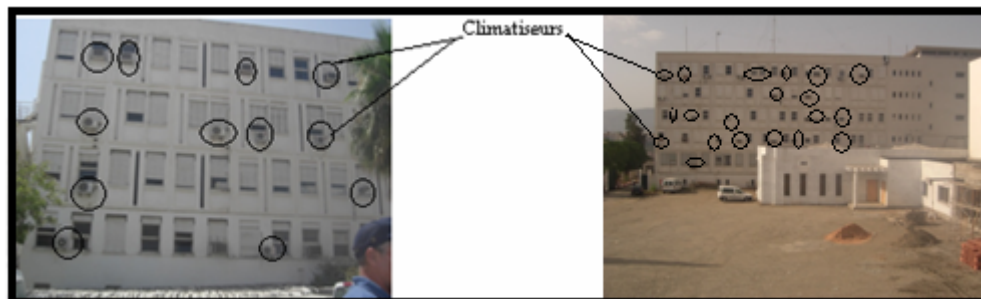


Figure 86: Façade Nord comportant un nombre important de climatiseurs

Source : personnelle

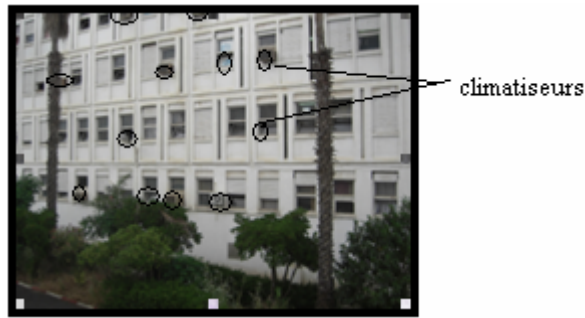


Figure 87: Façade Sud comportant un nombre important de climatiseurs
Source : personnelle

L'utilisation continuelle de ces climatiseurs engendre une hausse de la note d'électricité et donc une consommation d'énergie considérable.

IV.5.4.2. Dispositifs pour le confort d'hiver



Figure 88: Equipements de confort d'hiver
Source : personnelle

Chaque bureau comporte un radiateur qui permet de relever la température pendant la saison froide qui s'étend du mois de Novembre au mois d'Avril.

IV.5.4.3. Sources d'apports internes

La spécificité des immeubles de bureaux est surtout les charges internes élevées provenant : (Gratia, E., De Herde, A., 2006)

- Des nombreux équipements
- De l'éclairage artificiel important
- De la densité d'occupation

Ce qui nécessite :

- La recherche de moyens pour se protéger des apports solaires
- L'installation de systèmes de refroidissement



Figure 89: Equipements de bureautique (source d'apports internes)
Source : personnelle

Le matériel de bureautique tel que les ordinateurs, les imprimantes, les photocopieurs etc...sont des sources d'apports internes qui sont généralement à l'origine des surchauffes en été comme en hiver.



Figure 90: Couloirs sombres, besoin d'éclairage artificiel toute la journée (source d'apports internes)
Source : personnelle

La multiplication des équipements, ajoutés à un éclairage artificiel important nécessaire pour garantir le niveau d'éclairement qu'exige le travail de bureau, ainsi qu'une densité élevée d'occupation (3 à 4 personnes par bureau et parfois plus) entraînant d'importantes charges internes dont il faut tenir compte dans les risques de surchauffes des bureaux . La densité d'occupation nécessite un taux de ventilation important. Même en climat tempéré, tous ces apports internes, souvent augmentés par des gains solaires dus aux larges baies vitrées, sont généralement suffisamment importants pour que le refroidissement et les protections contre la surchauffe soient largement prédominants sur l'ensemble de l'année. C'est pourquoi l'utilisation d'appareils économes en énergie et l'étude de l'éclairage naturel sont importantes.

IV.6. Méthode d'évaluation

Afin de permettre aux architectes et urbanistes chargés de la reconstruction des villes après la deuxième guerre mondiale de développer des constructions plus adaptés aux besoins des usagers, les premières évaluations ont été effectuées dans le secteur de l'habitat à la fin des années 50 en Europe et Amérique du Nord. Puis l'évaluation a intégré le secteur des

bâtiments tertiaires (écoles, bibliothèques, universités, hôpitaux, etc...) particulièrement aux USA. (Fischer, G. N. Vischer J.1997).

Ce n'est que dans les années 70 que les premières évaluations des environnements de travail sont apparues, elles consistent essentiellement en des études de terrain, centrées sur les environnements de bureaux, qui consistent à recueillir le jugement des utilisateurs sur leurs espaces de travail afin de dégager les « qualités perçues » de l'environnement étudié (Fischer, G. N. 1997)

IV.6.1. Evaluation des environnements de travail

Pendant les années 80, une série d'essais ont été réalisés dans plusieurs immeubles de bureaux du gouvernement canadien. Ces essais comprenaient des tests d'efficacité énergétique des systèmes mécaniques et électriques ainsi que des tests concernant l'efficacité de la structure et de la forme architecturale. En plus de ces tests, des mesures de l'environnement intérieur (acoustique, confort thermique, qualité de l'air et éclairage ont été prises (Travaux publics du Canada, 1989); et afin de rapporter les expériences des occupants aux résultats de ces tests, des sondages détaillés par questionnaire furent effectués dans chacun des immeubles. C'est donc aux années 80, qu'on a commencé à développer les méthodes d'approche des environnements de travail en évaluant les réactions des occupants de bureaux.

De nos jours, l'objectif de l'évaluation des environnements de travail est de dégager des indices de la qualité des lieux, avec des approches parfois centrées sur l'individu et ses jugements et parfois centrées sur l'effet des propriétés environnementales mesurables et parfois sur les deux à la fois. (Fischer, G. N. 1997).

Les principales méthodes utilisées sont :

- L'évaluation post installation (Post Occupancy évaluation) qui consiste à évaluer la qualité vécue des divers facteurs de l'espace à travers les réponses de jugement et d'évaluation des employés.
- L'évaluation technico-fonctionnelle qui consiste essentiellement à valider la qualité d'un environnement de travail par rapport aux normes d'hygiène et de confort à travers des mesures techniques.
- L'évaluation diagnostic qui synthétise les deux précédentes, elle ne porte pas « seulement sur le niveau de satisfaction personnelle ou sur la qualité fonctionnelle, mais plutôt sur les composants du confort fonctionnel d'un environnement ». (Fischer, G. N. 1997). Elle intègre

l'expérience des usagers (comme la POE) et la fonctionnalité de l'espace (comme l'évaluation technico-fonctionnelle). (Fischer, G. N. Vischer J.1997).

IV.6.2. Les indicateurs subjectifs de l'étude

IV.6.2.1. Enquêtes : les questionnaires

L'objectif principal est de connaître les habitudes liées à la consommation d'énergie dans les bâtiments de bureaux dans la ville de Tizi-Ouzou et d'obtenir des informations sur les systèmes énergétiques utilisés. Parallèlement, nous profitons de ces questionnaires pour tenter de collecter les éléments sur le confort thermique. Nous nous attendions donc à ce que les personnes interrogées effleurent les problèmes rencontrés dans leur lieu de travail ainsi que leurs attentes et leurs besoins.

Concrètement nous cherchons à répondre à travers un questionnaire aux questions suivantes :

- Quels sont les facteurs d'inconfort et quel est le comportement des occupants face à cet inconfort ?
- Quels sont les systèmes de chauffage et de climatisation utilisés et quels sont les modes d'utilisation ?
- Comment les occupants jugent ils la facture énergétique ?
- Est-ce que les occupants ont besoin de conseils en matière d'économie d'énergie ?

Les questionnaires constituent un élément important. Ils sont distribués aux occupants des bureaux au moment des mesures et nous permettent d'évaluer l'état thermique personnel ainsi que la qualité de l'environnement intérieur du bâtiment. Les réponses recueillies par les questionnaires servent à qualifier l'environnement intérieur du bâtiment du point de vu des occupants, ainsi que d'évaluer les indices théoriques du confort thermique et les solutions utilisées afin de pallier aux problèmes d'inconfort ressentis .

Afin de faciliter la conception d'un questionnaire il est suggéré d'effectuer les étapes suivantes : étudier les sources d'information existantes, écrire la liste des objectifs de l'enquête et enfin établir le plan d'analyse .

Une fois ces tâches accomplies on peut commencer à concevoir le questionnaire d'enquête en gardant en tête le principe suivant : si on ne peut pas relier une question à un objectif et un rôle dans le plan d'analyse alors cette question doit être reformulée ou enlevée du questionnaire d'enquête.

L'enquêté et l'enquêteur sont les principaux acteurs du scénario de collecte d'informations et lors de la réponse à une question l'enquêté effectue une série de tâches que l'on appelle processus cognitif.

- Interprétation : dans un premier temps l'enquêté décode la question et interprète le sens.
- Extraction, recherche de l'information : l'enquêté fait appel à sa mémoire pour extraire l'information nécessaire.
- Choix et format de la réponse : l'enquêté choisit parmi les réponses possibles celle qu'il considère adéquate.
- Modification : en présence d'une question qu'il juge « sensible ou délicate » l'enquêté peut parfois modifier sa réponse.
- Communication : à la dernière étape, l'enquêté communique par écrit ou oralement la réponse qu'il a choisie.

Il est essentiel lors de la conception d'un questionnaire, de tenir compte du processus cognitif de réponses des enquêtés. En facilitant leurs tâches cognitives, on maximise les chances d'obtenir des réponses adéquates aux questions posées. (Billocq,F., 1999)

Après avoir cerner les points importants pour l'enquête, nous avons mis au point un questionnaire de quatre pages. Ce questionnaire est rempli une seule fois par les participants indépendamment des mesures physiques. Il requiert entre quinze et vingt minutes pour le remplir, un exemplaire est présenté en annexe. Il comporte quatre parties.

- 1- Informations personnelles, cette partie vise à identifier le sexe, l'âge, et la fonction du sujet.
- 2- Qualité de l'ambiance climatique . Dans cette partie, le sujet doit évaluer globalement l'ambiance thermique, la qualité de l'air, l'environnement lumineux dans le local
- 3- Consommation énergétique. Cette partie vise à définir les différents moyens utilisés par l'occupant afin de remédier aux problèmes d'inconfort.
- 4- Prédications du sujet par rapport au confort et à la consommation d'énergie.

Vu le type de données et la qualité des informations que nous cherchons, nous avons décidé d'accompagner les participants lors du remplissage du questionnaire. Nous avons donc bâti un protocole déclinant les deux aspects (questionnaire + conversation). L'idée était d'établir un échange oral avec les personnes interrogées, ce qui nous a permis de garantir la compréhension des questions posées et d'avoir des renseignements supplémentaires sur des problèmes qui ne sont pas forcément évoqués dans le questionnaire.

Le questionnaire a été soumis à 70 personnes dont 20 hommes et 50 femmes.

IV.6.3. Indicateurs objectifs de l'étude : campagne de mesures

IV.6.3.1. Description des instruments de mesures

L'acquisition des données était faite à partir d'un certain nombre de matériel empreinté ou fabriqué.

- Pour mesurer la température humide et l'humidité relative de l'air

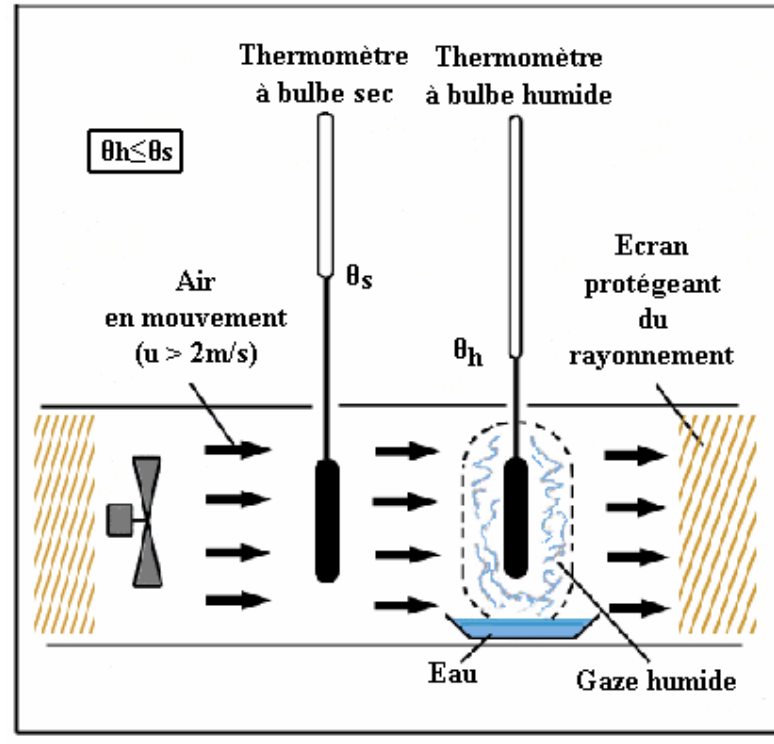


Figure 91: Thermomètre à bulbe humide et thermomètre à bulbe sec « Psychromètre »

On mesure l'humidité relative de l'air à l'aide de deux thermomètres, un thermomètre ordinaire (sec) et un thermomètre dont le bulbe est entouré d'un coton imbibé d'eau (mouillé). L'eau du réservoir dans laquelle trempe le coton est à la température de l'air ambiant. Ce système de 2 thermomètres se nomme « psychromètre ». Les deux thermomètres sont balayés par l'air en mouvement à au moins 2 m/s et protégés du rayonnement.

1. Un courant d'air passe autour des deux thermomètres.
2. Le thermomètre sec indique la température de l'air.

3. Le thermomètre mouillé indique normalement une température plus basse que celle du thermomètre sec. C'est que de l'eau s'évapore du coton imbibé et on sait que l'évaporation produit un refroidissement. À cause de l'évaporation, l'eau qui reste dans le coton se refroidit et le thermomètre indique une température plus basse que le thermomètre sec. Plus l'air est sec, plus il y a d'eau qui s'évapore du coton et plus la température du thermomètre mouillé est

basse. La différence de température entre les deux thermomètres est donc d'autant plus grande que l'air est sec.

Au contraire, si l'air est très humide, peu d'eau s'évaporera du coton et la température du thermomètre mouillé diminuera moins. Lorsque l'air est saturé (100 % d'humidité relative), il n'y a pas d'évaporation et le thermomètre mouillé indique la même température que le thermomètre sec.

Cette mesure permet d'obtenir l'humidité relative de l'air. En effet, connaissant la température sèche et la température humide, l'humidité relative de l'air se déduit à l'aide du diagramme psychométrique.

- **Pour mesurer la température de parois opposées et la température de l'air**

Les mesures sont prises pendant une journée complète

En ce qui concerne les températures de surfaces, elles sont prises pendant la journée du 18 Août en utilisant le Thermomètre infrarouge. Ces mesures nous permettront de voir si le bâtiment possède une forte ou une faible inertie thermique.

Quant aux températures de l'air, elles sont prises à l'aide d'un Testo toutes les heures pendant la journée du 21 Août pour la période chaude et la journée du 15 Décembre pour la période froide.

Type d'appareils	Types de mesures	Illustrations
Testo	Permet de mesurer la température de l'air	
Thermomètre infrarouge	permet de mesurer les températures de surface sans contact et permet de mesurer les températures entre les surfaces verticales opposées, afin de déterminer l'inertie du bâtiment	

Tableau 27: Matériel utilisé lors de la campagne de mesure

IV.7. Conclusion

La connaissance des facteurs climatiques et leurs différentes combinaisons permettent de comprendre leur impact sur le confort humain et sur le comportement des éléments du bâtiment soumis à ces contraintes. Le climat présente une vaste diversité à l'échelle mondiale. Ceci a engendré l'apparition de plusieurs méthodes de classification, répondant aux besoins des disciplines en relation avec le climat.

En architecture, l'influence du climat sur le confort dans le bâtiment nécessite l'identification des variables climatiques caractérisant la région étudiée. Avoir un confort à l'intérieur des bâtiments permet une grande économie d'énergie.

Dans les régions à climat tempéré tel que la ville de Tizi-Ouzou, il est très facile et conseillé de recourir aux systèmes passifs de rafraîchissement et de chauffage des locaux, tel que nous le montre l'analyse bioclimatique de cette ville. L'architecture traditionnelle est un exemple vivant d'adaptation aux conditions climatiques. La recherche de l'ombre et de l'air frais sont des objectifs principaux de ces formes.

L'architecte doit envisager aussi la qualité des ambiances intérieures, et doit s'intéresser à l'espace vécu par ses utilisateurs. L'ensemble des ambiances thermiques, lumineuses, etc. modulent la perception des lieux et influencent les activités qui s'y déroulent ainsi que le sentiment de confort des usagers. Il convient donc de mettre en place des méthodes d'évaluation des ambiances intérieures du bâtiment cas d'étude à travers un questionnaire (méthode subjective), ensuite pour étayer les résultats obtenus, on passe à l'évaluation par les mesures (méthode objective). Or, derrière la dichotomie «objectivisme/subjectivisme», se joue la relation Homme/environnement. Ainsi, l'environnement est un composé de traits matériels et symboliques dont l'étude réclame l'appréhension, dans une même analyse, des éléments dits subjectifs et objectifs.

V : Analyse et interprétation des données d'enquête et des résultats expérimentaux

V.1. Introduction

Ce chapitre est structuré en deux parties. La première partie concerne les résultats de l'enquête effectuée auprès des occupants afin de déterminer leurs degrés de satisfaction et de confort dans ces milieux dans lesquels ils passent la majeure partie de la journée à travailler, donc à produire. Nous aborderons ensuite la deuxième partie, qui est l'interprétation des mesures prises à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment, afin de préciser les anomalies de l'enveloppe du bâtiment, qui nous oblige à consommer beaucoup d'énergie dans la climatisation et le chauffage pour avoir un certain confort à l'intérieur des bureaux et arriver ainsi à proposer des recommandations afin d'avoir un milieu de travail plus confortable en gaspillant moins d'énergie et en polluant moins l'atmosphère.

V.2. Analyse et interprétation des données d'enquête

V.2.1. Niveau de satisfaction

V.2.1.1. Satisfaction générale

Le questionnaire a été soumis à 70 personnes dont 20 hommes et 50 femmes.

Dans cette section la réponse à deux questions principales sont analysées : la première concerne l'état des occupants dans cet environnement (comment vous sentez-vous dans cet environnement ?), la seconde concerne la consommation énergétique et la facture énergétique de ce bâtiment afin de répondre aux demandes des occupants et l'appréciation de ce type de bâtiment par les occupants (les constructions de ce type, qui se sont d'ailleurs généralisées en Algérie, répondent-elles aux exigences de confort demandés par les occupants ?

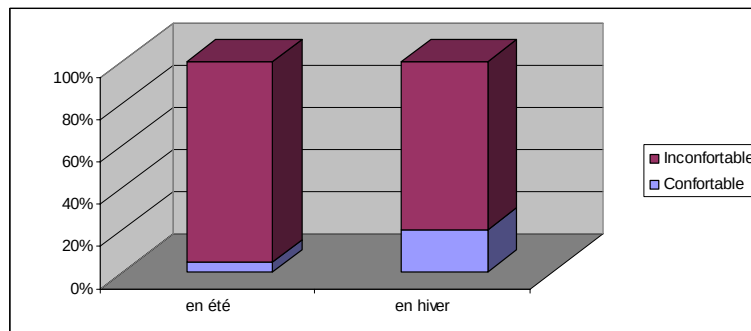
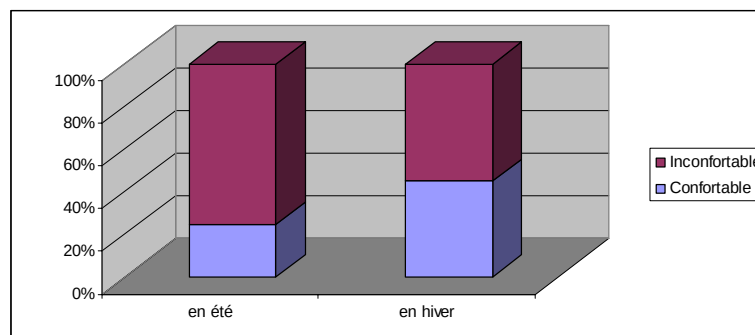
V.2.1.2. Etat des occupants dans cet environnement

En général, on peut avancer que seul le 1/5 des occupants se sent bien dans cet environnement (ce sont les personnes qui sortent sur le terrain et qui ne restent donc pas toute la journée dans le bureau), le reste trouve ce milieu légèrement inconfortable, inconfortable ou très inconfortable (pour le personnel administratif qui reste 8h par jour ou plus à l'intérieur des bureaux).

L'état des occupants dans cet environnement semble être influencé par quatre variables qui sont : l'âge, le genre (homme ou femme), l'activité (personnel administratif ou technique) et la position du bureau (les occupants des bureaux orientés plein Sud se plaignent beaucoup plus en été qu'en hiver, et l'inverse pour les occupants des bureaux orientés plein Nord).

V.2.2. Le confort

Le genre (homme ou femme) semble influencer l'appréciation de confort dans les bureaux. La tendance à l'insatisfaction est plus accentuée chez les femmes que chez les hommes, ceci s'expliquerait probablement par le fait que ces dernières passent plus de temps dans les bureaux pendant la journée à subir la chaleur et l'humidité.

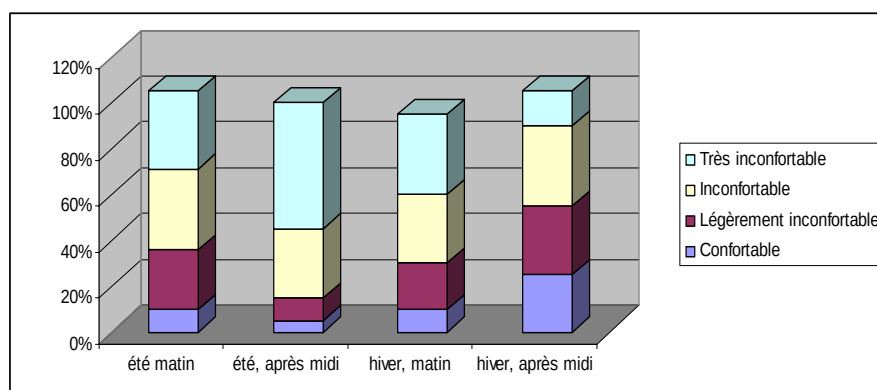
**Figure 92:** Appréciation du confort par les femmes**Figure 93:** Appréciation du confort par les hommes

89% des personnes interrogées trouvent leurs bureaux inconfortables avec une moyenne de :

21% Légèrement inconfortables

33% Inconfortables

35% Très inconfortables

**Figure 94:** Appréciation du confort

L'inconfort est plus ressenti pendant la saison d'été, car en hiver les occupants trouvent des solutions, tel qu'une bonne vêture ou l'augmentation des apports internes tel que le regroupement dans les bureaux, allumage des lampes et des équipements de bureautique, tandis qu'en été, il est plus difficile d'avoir un moyen de rafraîchissement.

Le matin en hiver est aussi inconfortable, vu que le chauffage reste allumé toute la semaine de nuit comme de jour, et comme les bureaux ne sont pas utilisés la nuit, la chaleur est emmagasinée dans les bureaux fermés, ce qui implique que les employés les trouvent le matin très chauds et étouffants, avec en plus une odeur de renfermé.

V.2.3. Facteurs d'inconfort

Pour cette question plusieurs réponses étaient possibles.

En été, les facteurs d'inconfort les plus importants sont respectivement la chaleur, l'humidité, le bruit et la poussière (Figure 95). Le bruit et la poussière sont liés au fait qu'en été les occupants des bureaux non climatisés cherchent les courants d'air et ont tendance à ouvrir les fenêtres.

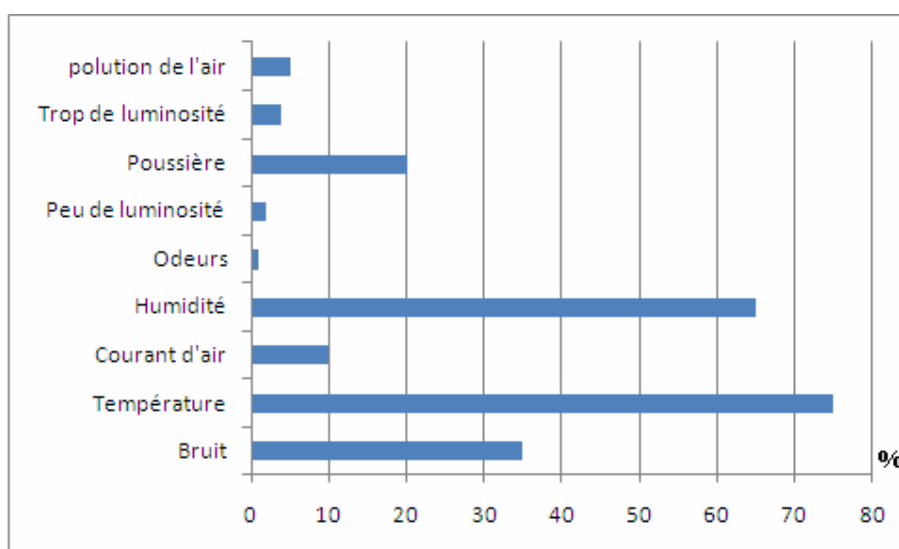
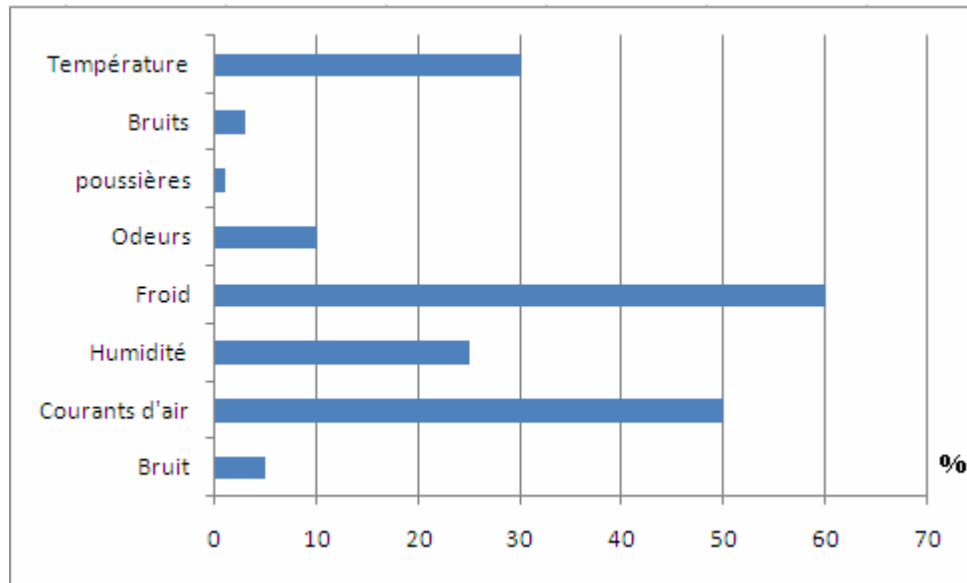


Figure 95: Facteurs d'inconfort en été

En hiver, les gens ressentent moins les problèmes provenant de l'extérieur (odeurs, poussières, bruits, etc.) et sont plus sensibles au froid et aux courants d'air (Figure 96). De plus les bureaux sont souvent très chauds le matin du fait que les chauffages restent allumés toute la nuit alors que les portes et les fenêtres des bureaux sont fermées. Cet état de fait oblige les occupants à ouvrir les fenêtres, ce qui provoque des courants d'air. Par conséquent on peut dire que le confort n'est jamais vraiment atteint en hiver, alors que la consommation énergétique est très élevée (chauffage allumé nuit et jour).

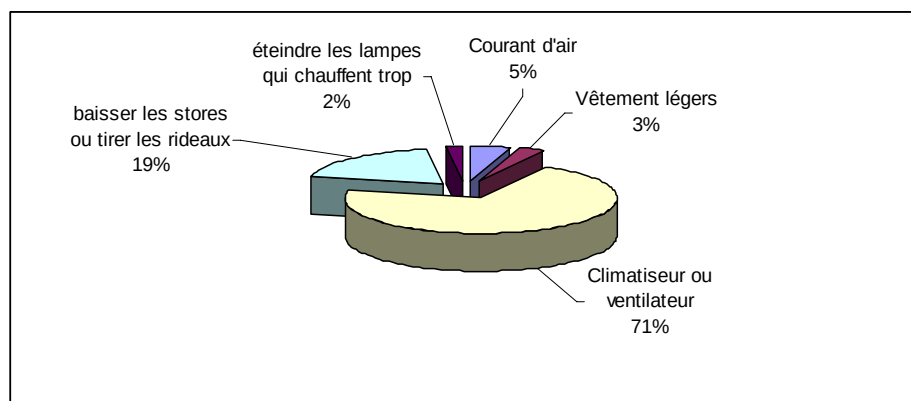
**Figure 96:** Facteurs d'inconfort en Hiver

V.2.4. Amélioration du confort

Pour cette question également plusieurs réponses étaient possibles.

V.2.4.1. Amélioration du confort d'été

Pour améliorer leur confort thermique en été, les occupants ont tendance soit à chercher les courants d'air ou à mettre des vêtements légers, certains baissent leurs stores ou tirent leurs rideaux, ce qui les obligent à allumer les lampes qui sont aussi source de chaleur afin de pouvoir travailler, ce qui fait que la tendance est surtout à allumer le climatiseur s'il existe dans leurs bureaux ou à se déplacer vers des bureaux climatisés ou encore à utiliser de petits ventilateurs en gardant les stores baissés et les lampes allumées.

**Figure 97:** Les différentes tendances pour améliorer le confort d'été

V.2.4.2. Amélioration du confort d'hiver

Le problème du confort dans les bureaux en hiver, est plus complexe que celui de l'été, vu que les chauffages sont gérés de façon globale, c'est-à-dire que depuis le mois d'octobre jusqu'à la fin du mois de Mai. Les chauffages restent allumés nuit et jour, ce qui provoque plus d'inconfort que de confort en plus de la facture énergétique très élevée. Les occupants ont tendance à ouvrir les portes ou les fenêtres en rentrant au bureau provoquant ainsi des courants d'air.

V.2.5. Les systèmes

V.2.5.1. La climatisation

Le système de climatisation est présent dans 70% des bureaux quelque soit leur orientation, c'est une façon généralisée de régler le problème d'inconfort d'été. Les climatiseurs sont individuels, ils restent allumés du début de la journée de travail (8H), jusqu'en fin de journée (16H30) et parfois plus (heures supplémentaires, permanences etc....). La climatisation est surtout utilisée au mois de Juin, Juillet, Août et Septembre, mais surtout les mois de Juillet et Août (presque toute la journée) et à des moments de la journée en Mai et Octobre. Les occupants ont tendance à recourir au système de climatisation à tout moment de la journée, lorsqu'ils ressentent la moindre sensation de chaleur.

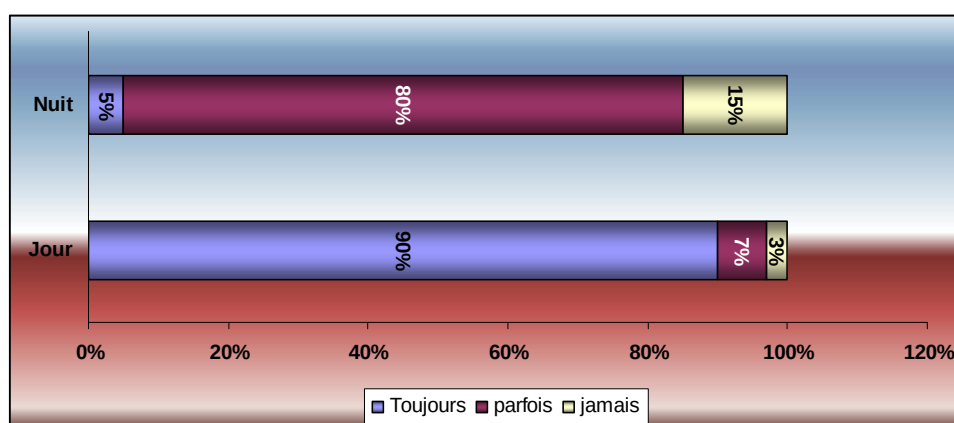


Figure 98: Répartition de l'utilisation des climatiseurs le jour et la nuit

Du fait de l'occupation des bureaux la journée, le système de climatisation est utilisé continuellement la journée et parfois la nuit, lors des heures supplémentaires et des permanences.

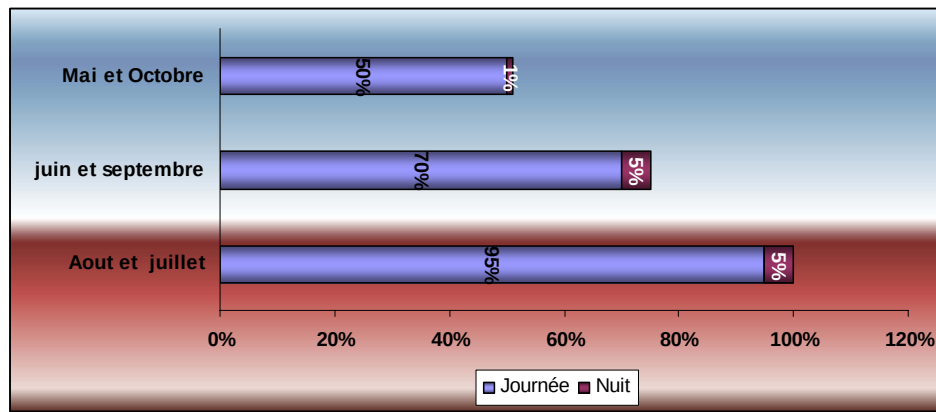


Figure 99: Répartition de l'utilisation des climatiseurs par mois

Il faut noter que l'utilisation du système de climatisation diminue les problèmes de confort provenant de l'extérieur (chaleur, bruit, poussière etc...).

V.2.5.2. Le chauffage

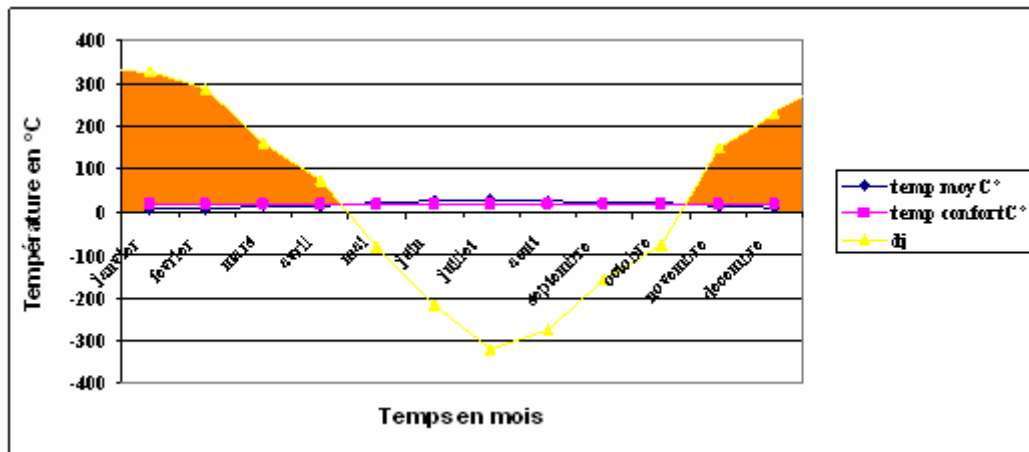
Le chauffage utilisé est de type radiateur, avec neuf (09) éléments. Contrairement au système de climatisation qu'on ne trouve pas systématiquement dans tous les locaux, on trouve le système de chauffage dans chaque bureau.



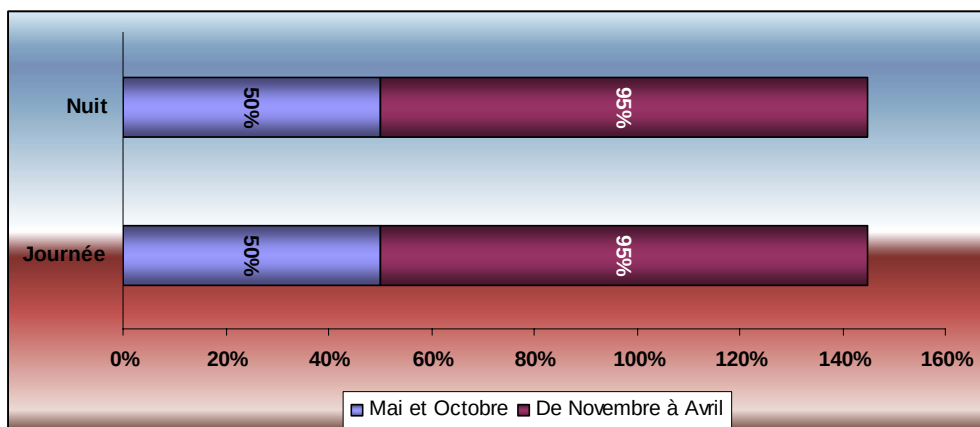
Figure 100: Type de chauffage utilisé dans les bureaux

mois	temp moyC°	temp confortC°	dj
janvier	7,4	18	318,6
fevrier	7,7	18	288,4
mars	12,8	18	161,2
avril	13,3	18	75
mai	20,6	18	
juin	25,2	18	
juillet	28,3	18	
aout	26,9	18	
septembre	23,2	18	
octobre	20,5	18	
novembre	13,0	18	150
decembre	10,6	18	229,4

Tableau 28 : Température moyenne, Température de confort et degrés jours pour la ville de Tizi-Ouzou pendant la période de 1996 à 2005

**Figure 101:** Variation des degrés jours pendant l'année 2005

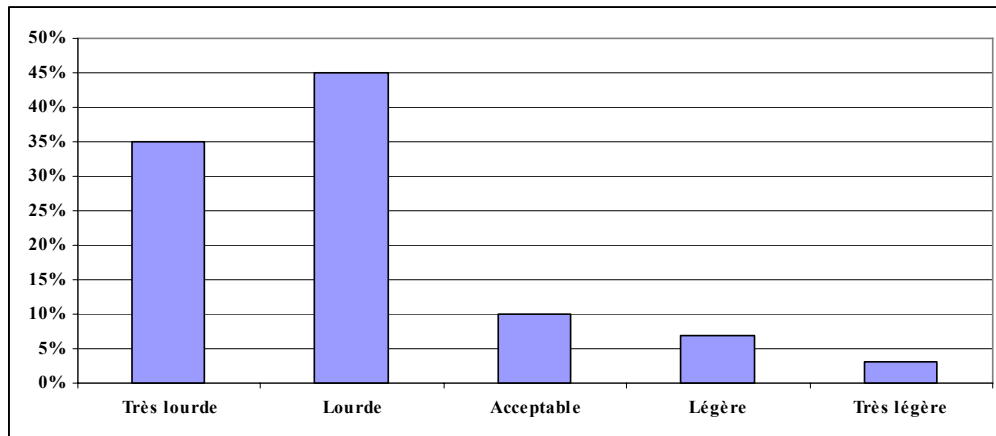
Selon le graphe précédent la période de chauffe s'étale de la mi-octobre à la fin du mois de Mai. En effet les radiateurs sont allumés dans tous les bureaux, nuit et jour, pendant toute cette période.

**Figure 102:** Répartition de l'utilisation du chauffage par mois

Selon les réponses aux questions posées aux occupants, les chauffages restent allumés de la mi-Octobre à la fin du mois de mai, d'où une consommation très importante d'énergie.

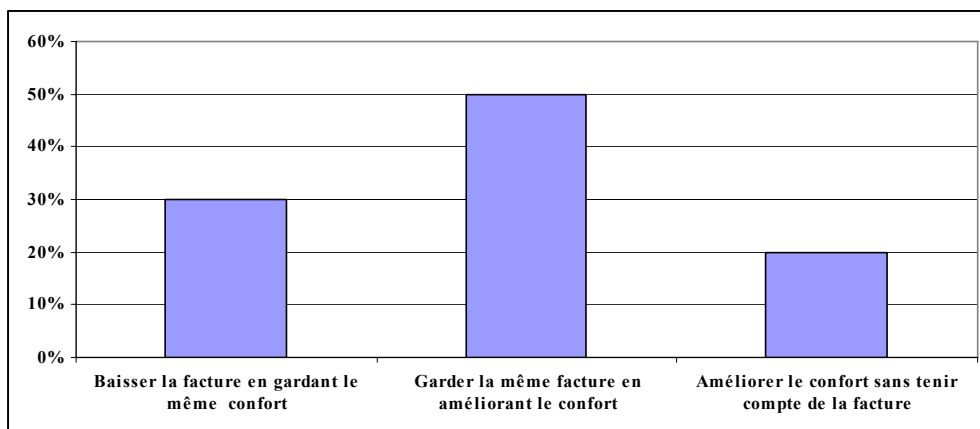
V.2.6.Facture énergétique

Aucune des Personnes interrogées n'est vraiment au courant de la facture énergétique, mais elles sont toutes unanimes à dire qu'elle doit être élevée et lourde (Figure 103), vu que le chauffage est continuellement allumé en période froide et la même chose pour la climatisation pendant la saison chaude, ajouté à la consommation d'électricité pour l'éclairage qui reste allumé toute la journée, surtout dans les couloirs qui ne sont pas éclairés naturellement et l'électricité utilisée pour le matériel de bureautique.

**Figure 103:** Appréciation de la facture énergétique

V.2.6.1. Facture ou confort

Les occupants disent qu'ils ne se soucient pas de la facture énergétique, mais plutôt de leur confort, car ce ne sont pas eux qui payent. Toutefois, ils préfèrent avoir leur confort sans coûter très cher à leur employeur. Ce qui fait que 30% préfèrent baisser la facture en gardant le même confort, 50% préfèrent améliorer le confort en gardant la même facture et 20% préfèrent améliorer le confort sans tenir compte de la facture énergétique.

**Figure 104:** Appréciation du confort par rapport à la facture énergétique

V.2.7. L'environnement

La dernière question concernait les problèmes de l'environnement; d'après les réponses recueillies, la majorité des personnes questionnées sont sensibles aux problèmes de l'environnement, en particulier la pollution sous toutes ses formes (pollution de l'air, de l'eau de mer, de l'eau potable etc...) et l'effet de serre.

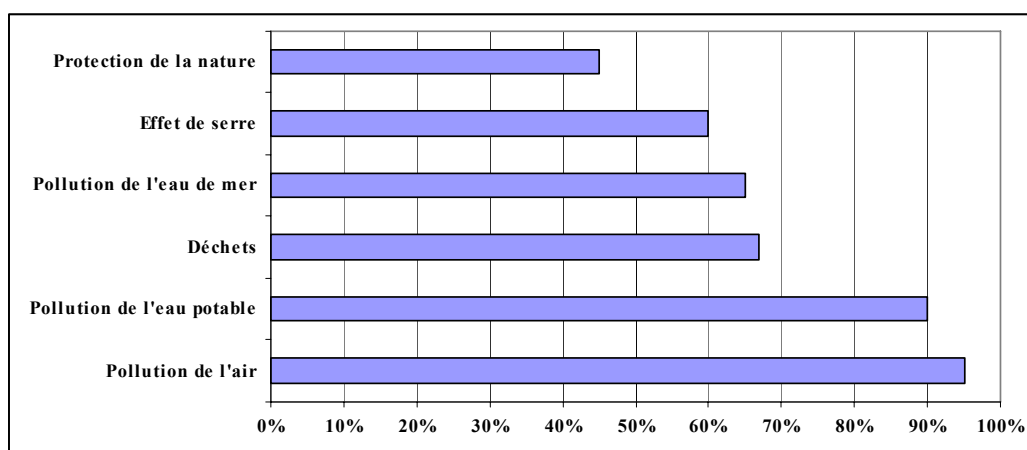


Figure 105: Sensibilité des personnes interrogées aux problèmes de l'environnement

V.2.8. Synthèse

Cette enquête nous a permis de mettre en évidence les points suivants :

- La construction se caractérise par un inconfort en hiver et en été (dû à des températures et des taux d'humidité élevés).
- La facture énergétique est très élevée sans pour autant atteindre le confort souhaité par les usagers.
- Du fait que ce soit un bâtiment public (factures sont payés par l'état), l'occupant fait très peu ou pas du tout attention à la consommation, l'essentiel pour lui étant d'atteindre son confort à n'importe quel prix.
- Le chauffage et la climatisation sont utilisés sans restriction aucune pendant les heures de travail et même pendant la nuit pour le chauffage.
- Les systèmes de chauffage et de climatisation sont souvent mal dimensionnés et consomment beaucoup d'énergie.
- L'électricité utilisée pour l'éclairage et le fonctionnement du matériel de bureautique est très importante.
- Les occupants ont manifesté le besoin d'une assistance technique afin d'améliorer le confort et de réduire la facture énergétique.

V.3. Résultats expérimentaux: Présentation et commentaires

Les résultats présentés dans ce qui suit concernent les mesures prises pour évaluer l'évolution des températures sèches et humides à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment, afin de déterminer le rôle que joue l'enveloppe du bâtiment dans la modération du climat extérieur. Ces températures sont prises à l'aide des instruments cités dans le chapitre IV.

V.3.1. Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe du bâtiment sur le confort thermique et la consommation énergétique

V.3.1.1. Compositions des parois

L'enveloppe du bâtiment joue un rôle de séparation thermique entre l'ambiance intérieure et extérieure, elle intervient comme stockage de la chaleur dans le bâtiment et comme distributeur de cette dernière à l'air intérieur et extérieur. L'inertie thermique des bâtiments est derrière l'intelligente relation qui repose sur la bonne compréhension des échanges thermiques entre le dedans et le dehors. (Cheung, C.K., Fuller, R.J., and Luther, M.B., 2005) (Safer, N., 2006). Elle participe au bon rendement, à la bonne utilisation et au confort de la machine thermique (bâtiment).

Nous proposons d'étudier en détails le comportement thermique des parois extérieures du bâtiment cas d'étude. En effet, la notion d'inertie thermique englobe l'accumulation de la chaleur et sa restitution, avec un temps de déphasage donné. Ce dernier dépend en fait des caractéristiques physiques et dimensionnelles de la paroi, l'épaisseur de la paroi étant un facteur très important dans la qualité de l'inertie thermique. Plus l'épaisseur du mur est importante plus l'inertie du bâtiment est forte.

Dans le bâtiment cas d'étude, les murs extérieurs sont maçonnés en briques creuses double cloison avec lame d'air. Elle se présente comme suit : Enduit plâtre (2cm), brique creuse (10cm), lame d'air (10cm), brique creuse (10cm) et enfin un enduit de mortier.

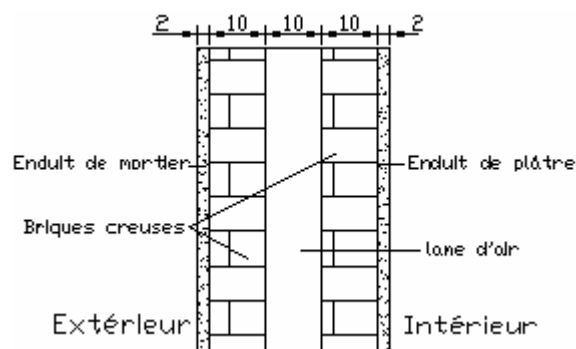


Figure 106 : Composition du mur extérieur

Les murs intérieurs séparant les bureaux entre eux ainsi que les bureaux avec la cage d'escalier sont maçonnés en briques creuses simple cloison avec enduit de plâtre sur les deux faces du mur.

Des mesures ont été prises au niveau des parois du bâtiment afin d'estimer le rôle de l'inertie sur le confort hygrothermique et évaluer l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique.

V.3.1.2. Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment

V.3.1.2.1. Inertie thermique et stockage d'énergie

Si le niveau d'inertie a très peu d'importance sur la consommation de chauffage, il joue un rôle important dans le besoin de refroidissement et lors de l'application des stratégies de froid. En effet, la présence d'inertie thermique est importante tant durant le jour que durant la nuit.

Durant la journée, elle permet de réduire les fluctuations importantes de température en absorbant les gains solaires qui sont parfois élevés, dus principalement aux larges surfaces vitrées et aux apports internes de plus en plus importants dans les bureaux.

Durant la nuit, lorsque les températures extérieures sont plus basses que les températures intérieures, il est possible de refroidir la masse structurelle du bâtiment par ventilation naturelle : l'inertie joue donc un rôle déterminant lorsqu'on pratique la ventilation nocturne.

Des mesures ont été prises à l'aide du thermomètre à infrarouge de chaque côté de la paroi Sud du bâtiment. A noter que l'endroit où les mesures ont été prises a été marqué d'un feutre rouge afin d'avoir des résultats plus exacts. Les mesures sont prises toutes les heures pendant toute la journée du 18 août à partir de 00:00 h jusqu'à 24 :00h.

Temps en Heures	Temp de la face int du mur en °C	Temp de la face ext du mur en °C
00:00	31,2	30,2
01:00	31,4	30,4
02:00	32,2	31,2
03:00	32,3	31,6
04:00	32,6	34,2
05:00	32,8	34,8
06:00	33,4	36
07:00	33,9	37
08:00	34,5	39
09:00	35,2	41,4
10:00	36,2	42,2
11:00	37,4	49,4
12:00	40,6	52,2
13:00	42,2	53
14:00	45	50,8
15:00	45,8	44,2
16:00	44,4	39,8
17:00	41,2	37,2
18:00	39,6	31,6
19:00	36,2	31
20:00	35,4	30,4
21:00	35,1	30,2
22:00	35	30,2
23:00	34,2	31,2
24:00:00	31,6	30,2

Tableau 29: Températures des deux faces verticales opposées Prises le 18 août 2009

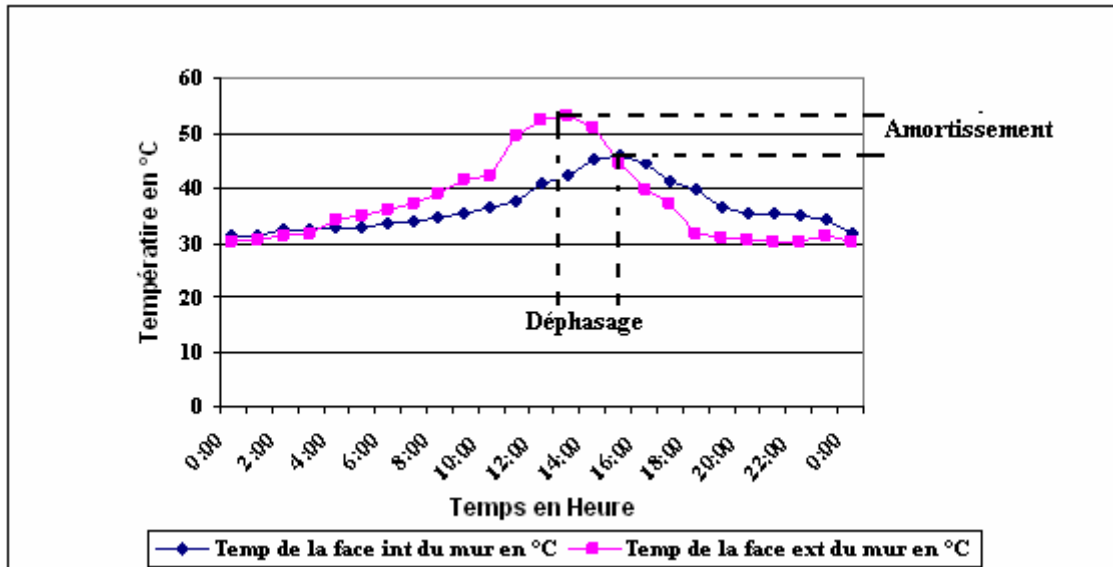


Figure 107: Variation de température de deux faces verticales opposées
Température prises le 18 août 2009

On remarque, d'après cette courbe que la température maximale intérieure qui est de 45,8°C est atteinte une heure après que le mur extérieur ait atteint la valeur maximale qui est de 53°C, et du fait que l'inertie peut être caractérisée par le déphasage qui est le décalage entre le moment où le matériau est soumis à une source de chaleur et le moment où il la restitue de l'autre côté et qui est dans notre cas de deux heures et l'amortissement qui est de 7,2 °C, on peut déduire que ce bâtiment ne dispose pas d'une forte inertie.

On remarque aussi que les températures internes suivent les fluctuations des températures externes avec une différence maximale de 7,2°C et une différence minimale de 1°C.

- **Prise de températures sèches internes et externes**

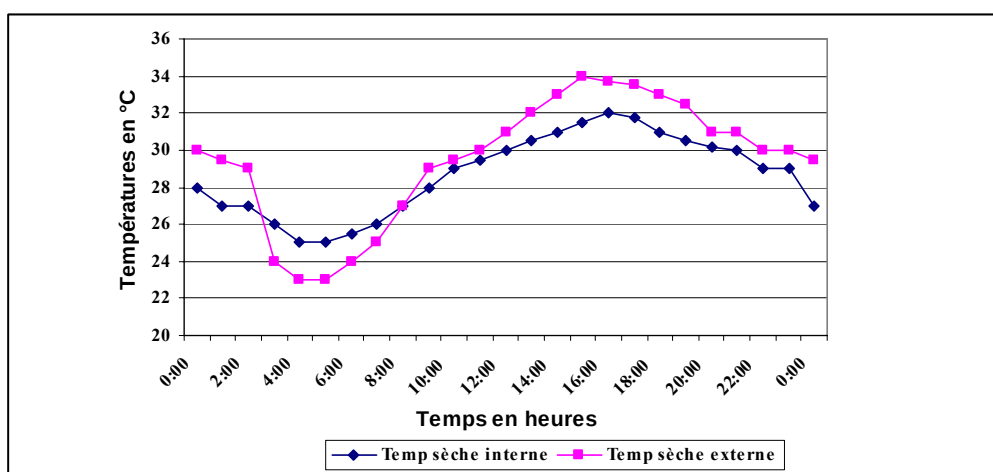
Dans le même objectif qui est celui de voir si le mur extérieur du bâtiment possède une forte ou une faible inertie, nous avons pris les températures sèches à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment (à l'aide du testo), ainsi que les températures humides toujours à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment et ce à l'aide des thermomètres à bulbe sec pour les températures sèches et les thermomètres à bulbe humide pour les températures humides (Voir description du matériel utilisé au chapitre IV).

Températures sèches extérieures et intérieures prises le 21 Août 2009, journée relativement chaude selon les prévisions météorologiques de la veille.

Heures	Température sèche	Température sèche
0:00	28	30
1:00	27	29,5
2:00	27	29
3:00	26	24
4:00	25	23
5:00	25	23
6:00	25,5	24
7:00	26	25
8:00	27	27
9:00	28	29
10:00	29	29,5
11:00	29,5	30
12:00	30	31
13:00	30,5	32
14:00	31	33
15:00	31,5	34
16:00	32	33,7
17:00	31,8	33,5
18:00	31	33
19:00	30,5	32,5
20:00	30,2	31
21:00	30	31
22:00	29	30
23:00	29	30
0:00	27	29,5

Tableau 30: Températures sèches internes (bureau Sud non climatisé) et externes Prises le 21 août 2009

Si on prend comme référence le tableau 17 du RGPT (voir chapitre II) qui nous donne la température de l'air de 21°C à l'intérieur d'un bureau pour que celui-ci soit confortable, on remarque que les bureaux cas d'étude ont besoin de climatisation pendant toute la journée de travail.

**Figure 108:** Relevé de températures sèches internes (bureau Sud non climatisé) et externes durant la journée du 21 Août 2009

On remarque d'après la figure 108 que la courbe des températures internes suit le mouvement de la courbe des températures externes, ce qui veut dire que le mur ne joue pas vraiment son rôle protecteur. La température maximale interne est atteinte une heure après

que la température maximale externe soit atteinte, ce qui veut dire que le déphasage est de 1 heure et l'amortissement de 2°C, ce qui est vraiment faible. Le mur extérieur possède donc une faible inertie thermique.

- **Prise de température humide interne et externe**

La température humide est prise à l'aide d'un thermomètre à bulbe humide tel que décrit dans le chapitre IV.

Heures	Température Sèche	Température Humide interne
00:00	28	25,6
01:00	27	25
02:00	27	25
03:00	26	24,3
04:00	25	23,2
05:00	25	23
06:00	25,5	23,3
07:00	26	24
08:00	27	24,5
09:00	28	25,5
10:00	29	26,3
11:00	29,5	26,6
12:00	30	27
13:00	30,5	27,4
14:00	31	27,7
15:00	31,5	28,2
16:00	32	28,5
17:00	31,8	28,3
18:00	31	27,7
19:00	30,5	27,2
20:00	30,2	27,2
21:00	30	27,2
22:00	29	26,5
23:00	29	26,6
00:00	27	26,6

Tableau 31: Température sèches et humides internes (bureau Sud non climatisé) pour la journée du 21 Août 2009

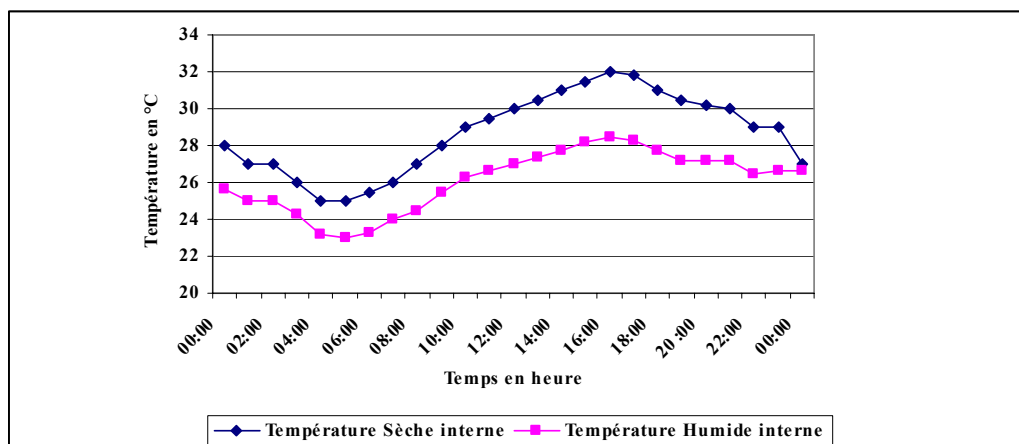


Figure 109: Variation des températures sèches internes et des températures humides internes pendant la journée du 21Août 2009

Le graphe nous montre que les températures humides suivent l'évolution de la température sèche tout en restant inférieure à celle-ci.

Heures	Température Sèche interne	Température Humide interne	Température sèche externe	Température humide externe
00:00	28	25,6	30	27,1
01:00	27	25	29,5	27
02:00	27	25	29	26,7
03:00	26	24,3	24	22,5
04:00	25	23,2	23	21,8
05:00	25	23	23	21,4
06:00	25,5	23,3	24	22,1
07:00	26	24	25	23,1
08:00	27	24,5	27	24,8
09:00	28	25,5	29	26,7
10:00	29	26,3	29,5	27,1
11:00	29,5	26,6	30	27,5
12:00	30	27	31	28,3
13:00	30,5	27,4	32	28,8
14:00	31	27,7	33	29,8
15:00	31,5	28,2	34	30,7
16:00	32	28,5	33,7	30,2
17:00	31,8	28,3	33,5	29,7
18:00	31	27,7	33	28,8
19:00	30,5	27,2	32,5	29
20 :00	30,2	27,2	31	28,2
21:00	30	27,2	31	28,3
22:00	29	26,5	30	27
23:00	29	26,6	30	27,1
00:00	27	26,6	29,5	26,5

Tableau 32: Température sèches internes et externes ainsi que les températures humides internes (bureau Sud non climatisé) et externes Pour la journée du 21 Août 2009

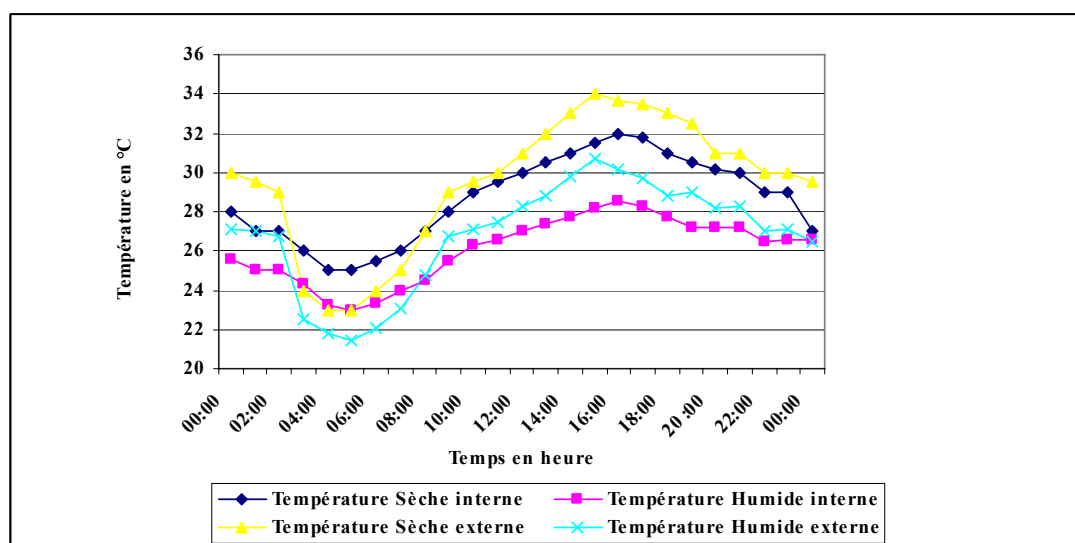


Figure 110: Variation des températures sèches internes et externes et des températures humides internes (Bureau Sud non climatisé) et externes pendant la journée du 21Août 2009

En analysant le graphe sis dessus nous constatons que les températures humides internes suivent l'évolution des températures sèches internes, les courbes sont presque parallèles en plus du fait que les températures humides internes ne sont pas très loin des températures humides externes, ce qui veut dire que l'enveloppe ne joue pas son rôle protecteur.

- **Humidité relative ou degré hygrométrique et Humidité absolue ou teneur en eau (ou en humidité)**

L'hygrométrie ou l'humidité de l'air est un facteur très important du confort à l'intérieur d'un bâtiment. C'est pour cette raison que la connaissance des caractéristiques de l'air et plus particulièrement le degré d'humidité dans les bureaux est très importante.

Humidité relative :

C'est la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans une particule d'air. L'humidité est présente en permanence dans l'atmosphère et même au niveau du Sahara ! La raison est la suivante : les rayons du Soleil réchauffent la surface de la Terre et provoquent l'évaporation de l'eau des Océans ou de certaines réserves d'eau dans le Sahara. Il arrive à un moment donné qu'une particule d'air soit saturée en vapeur d'eau mais pas tout le temps ; l'humidité relative est donc la quantité d'eau présente dans une particule d'air sur la quantité d'eau que peut contenir la particule d'air. Un kilogramme d'air chaud peut contenir plus d'eau qu'un kilogramme d'air froid. Ceci explique pourquoi lorsque la température de l'air augmente son humidité relative baisse même si sa teneur en humidité reste constante.

Humidité absolue :

C'est la quantité d'eau contenue dans l'air sous forme de vapeur ou éventuellement d'eau et de glace par rapport à la masse totale d'air sec. C'est donc le nombre de grammes d'eau présents dans un kilogramme d'air sec.

Afin d'obtenir l'état de l'air étudié nous devons nous référer au diagramme psychométrique de l'air.

Caractéristiques de l'air humide sur le diagramme

- **Température sèche notée θ_s ou simplement θ en $^{\circ}\text{C}$**

Cette caractéristique peut être mesurée à l'aide d'un simple thermomètre dit "à bulbe sec". C'est l'axe des coordonnées horizontales.

- **Humidité absolue notée r en $[\text{kg}_{\text{eau}} / \text{kg}_{\text{as}}]$**

La notation x ou w est aussi utilisée . L'humidité absolue est aussi appelée teneur en eau de l'air. C'est l'axe des coordonnées verticales.

- **Enthalpie spécifique notée h en [kJ / kg_{as}]**

Certains diagrammes proposent en plus une échelle en [kcal / kg_{as}]

- **Humidité relative ou degré hygrométrique noté ϕ ou Hr en [%]**

Cette caractéristique peut être mesurée à l'aide d'un hygromètre à cheveux (classique) ou à sonde capacitive (électronique) .

La courbe extrême est la courbe de saturation où Hr = 100 %.

- **Volume spécifique noté v ou v'' en [m³ / kg_{as}]**

- **Température de rosée notée θ_r en [°C]**

C'est la température à laquelle il faudrait refroidir un air humide pour que la vapeur d'eau commence à se condenser.

- **Température humide notée θ_h en [°C]**

C'est la température indiquée par un thermomètre dont le bulbe est recouvert d'un coton mouillé et placé dans un flux d'air (2 m/s) à l'abri de tout rayonnement. Autrement dit c'est la température à laquelle l'eau s'évapore dans l'air renouvelé.

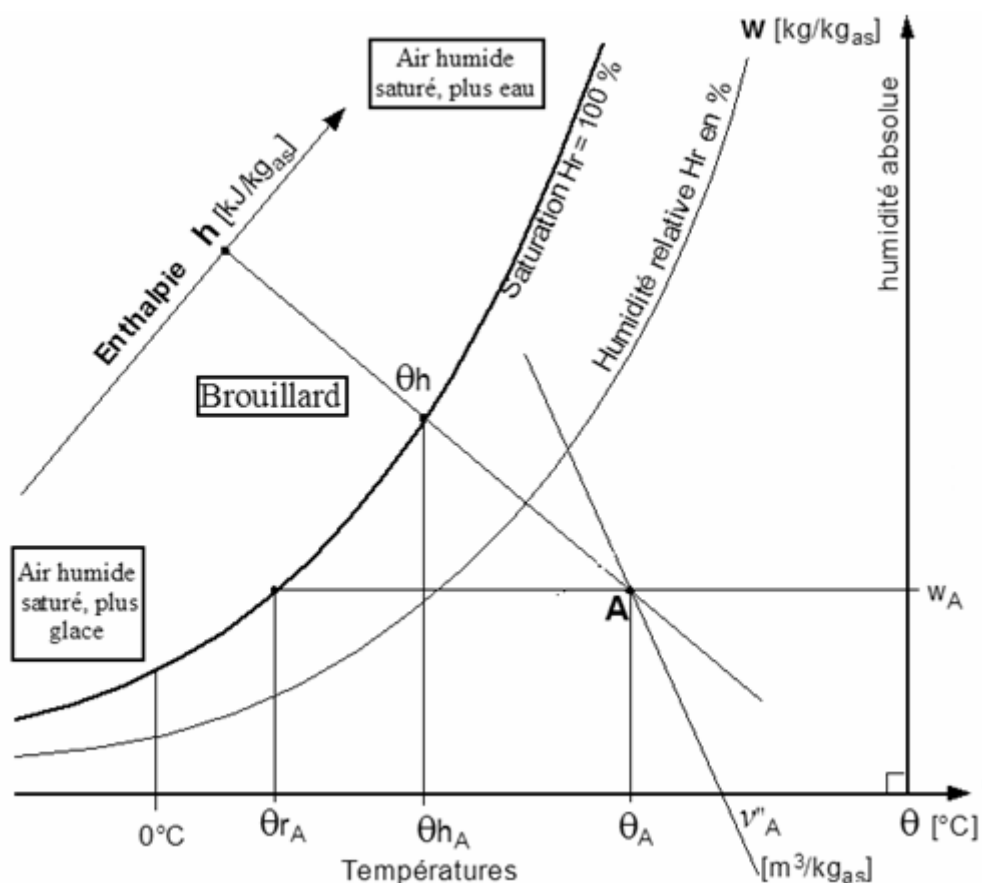


Figure 111: caractéristiques de l'air humide sur le Diagramme

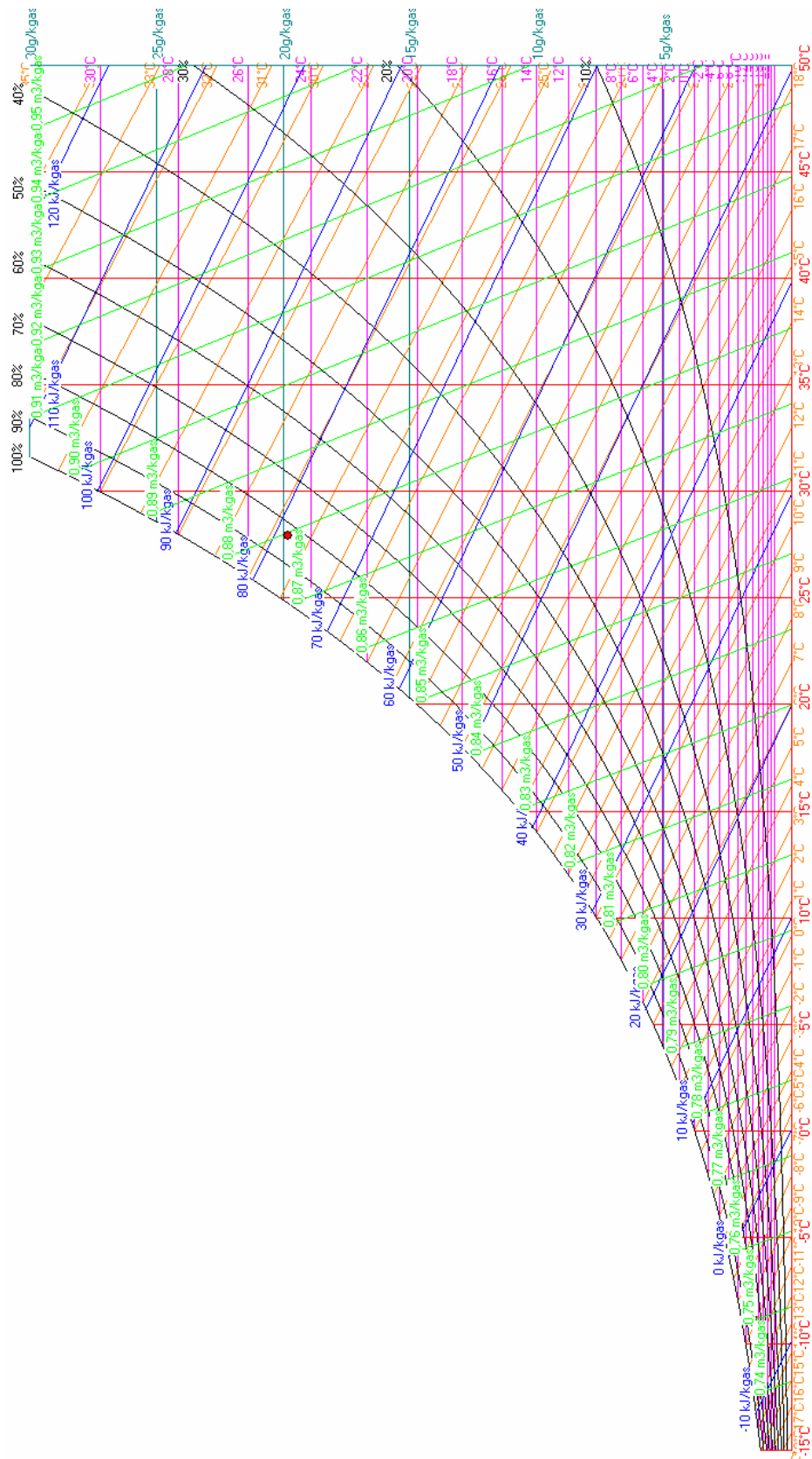


Figure 112 : Mesure de l'humidité relative à partir du diagramme psychrométrique en connaissant la température sèche et la température humide

Le point rouge représente l'intersection de la température sèche et de la température humide donnant ainsi les autres caractéristiques de l'air. Le point à une température sèche de 28°C, une température humide de 25,6°C, le diagramme nous donne une humidité relative de 79 % et une humidité absolue de 19,80 g (eau) / kg (as)

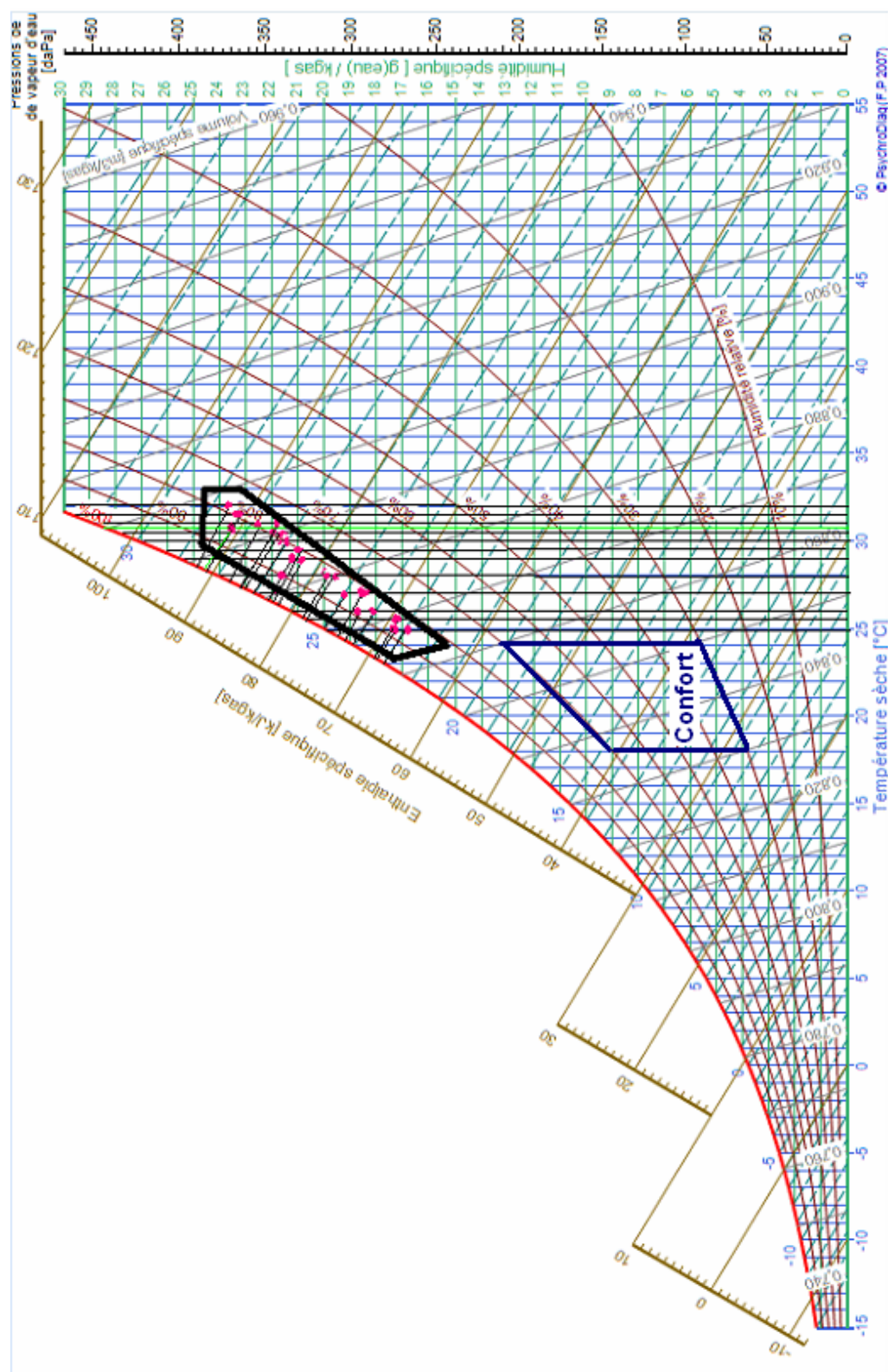


Figure 113 : Représentation des caractéristiques de l'air à l'intérieur des bureaux du bâtiment cas d'étude sur le diagramme psychrométrique, qui nous informe d'ailleurs que l'ambiance interne en été est inconfortable pendant toute la journée, ce qui nécessite pour améliorer le confort, l'installation d'équipements de rafraîchissement.

En utilisant donc le diagramme psychométrique on obtient l'humidité relative interne et l'humidité relative externe de l'air à chaque heure de la journée. On obtient le tableau suivant :

Heures	Humidité relative interne	Humidité relative externe
00:00	83%	80%
01:00	84%	82%
02:00	85%	84%
03:00	87%	88%
04:00	86%	90%
05:00	84%	87%
06:00	83%	85%
07:00	83%	85%
08:00	82%	84%
09:00	81%	84%
10:00	81,50%	83%
11:00	80%	83%
12:00	79%	82%
13:00	79,50%	79%
14:00	78%	79%
15:00	78,50%	79%
16:00	77%	78%
17:00	77%	76%
18:00	78%	73,50%
19:00	78,50%	77%
20 :00	79%	81%
21:00	81%	82%
22:00	82%	79%
23:00	83%	80%
00:00	83%	79%

Tableau 33: Valeur de l'humidité relative interne (bureau Sud non climatisé) et externe Pour la journée du 21 Août 2009

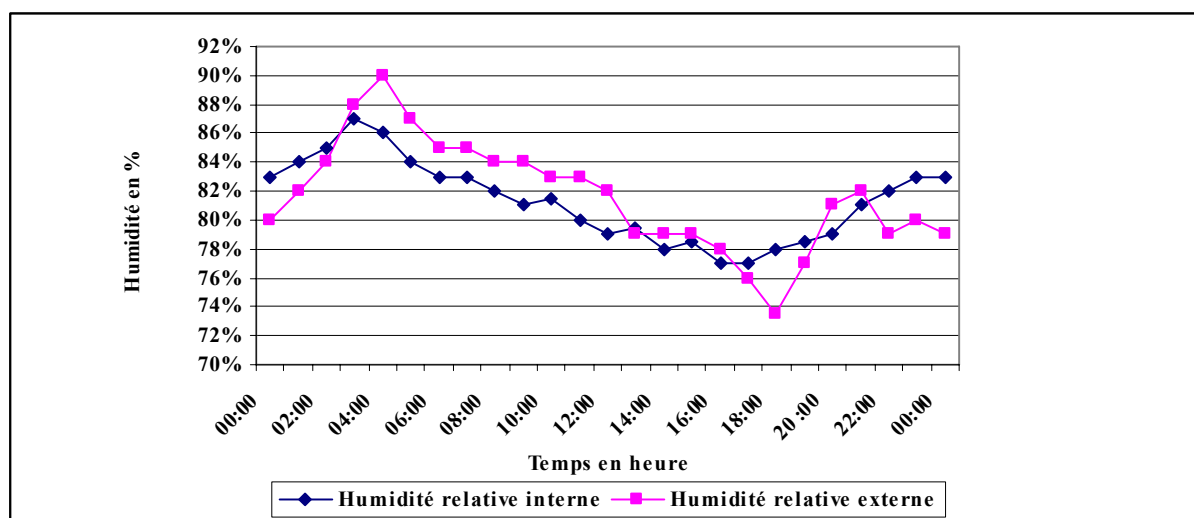


Figure 114: Variation de l'humidité relative interne (bureau Sud non climatisé) et externe pendant la journée du 21 Août 2009

L'humidité est presque la même à l'intérieur et à l'extérieur pour tout les bureaux . Ceci montre que l'enveloppe ne joue pas suffisamment un rôle modérateur et explique pourquoi les occupants jugent leur ambiance thermique inconfortable. De plus l'humidité relative à l'intérieur du bâtiment varie entre 77 % et 87 % , ce qui fait que l'ambiance thermique interne est très inconfortable. En effet, l'être humain contrôle la température de son corps au voisinage immédiat de la peau par la transpiration. L'humidité relative de l'air ambiant va influencer sur l'évaporation de la sueur, et donc sur le refroidissement du corps. Un taux d'humidité trop faible va accroître l'évaporation et le refroidissement, ce qui amplifie la sensation de froid, tandis qu'un taux d'humidité trop élevé va limiter le refroidissement et donc amplifier la sensation de chaleur. Pour que les bureaux soient confortables, il faut que l'humidité relative ait une valeur entre 35 % et 70 %.

Heures	Humidité absolue interne en g/kg as	Humidité absolue externe en g/kg as
00:00	19,8	21,6
01:00	19,2	21,6
02:00	19,2	21,3
03:00	18,5	16,6
04:00	17,2	16,0
05:00	16,9	15,4
06:00	17,1	16,0
07:00	18,0	17,1
08:00	18,4	18,9
09:00	19,6	21,3
10:00	20,6	21,8
11:00	20,9	22,3
12:00	21,4	23,4
13:00	21,9	23,9
14:00	22,4	25,5
15:00	23,0	26,9
16:00	23,3	26,0
17:00	23,0	25,0
18:00	22,2	23,5
19:00	21,5	24,1
20 :00	21,7	23,2
21:00	21,8	23,4
22:00	20,9	21,4
23:00	21,1	21,6
00:00	21,1	20,7

Tableau 34: Valeur de l'humidité absolue interne (bureau Sud non climatisé) et externe
Pour la journée du 21 Août 2009

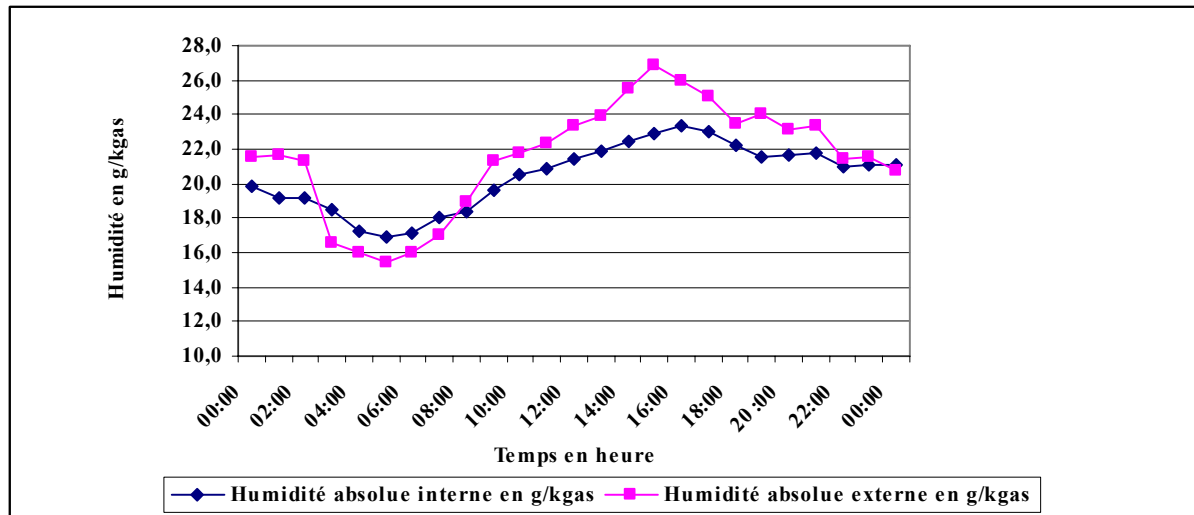


Figure 115: Variation de l'humidité absolue interne (bureau Sud non climatisé) et externe pendant la journée du 21 Août 2009

L'humidité absolue interne varie entre une valeur minimale de 16,89 g/kgas et une valeur maximale de 23,3g/kgas alors que l'humidité absolue externe varie entre un minimum de 15,4 g/kgas et un maximum de 26,9 g/kgas.

V.3.1.2.2.Synthèse

Nous pouvons déduire à partir de cette analyse que l'enveloppe du bâtiment, sujet de l'étude, ne possède pas une bonne inertie thermique, vu que les températures intérieures même si elles sont plus basses que les températures extérieures restent comme même assez élevées et évoluent pendant la journée de la même manière que les températures externes. Cette hypothèse est soutenue aussi par le fait que la courbe de l'humidité relative interne et celle de l'humidité relative externe sont proches l'une de l'autre, ce qui est valable aussi pour l'humidité absolue. De plus, les valeurs de l'humidité relative interne varient entre un minimum de 77 % et un maximum de 87 %, valeur suffisamment élevée pour créer une ambiance thermique inconfortable. Le matériau utilisé pour la construction de ce bâtiment ne possède pas une bonne inertie thermique et l'épaisseur des murs extérieurs qui est de 30 cm est insuffisante pour protéger le bâtiment des agents climatiques externes. Ce qui fait que nous sommes obligés d'utiliser les systèmes de climatisation pendant la période chaude afin de limiter l'inconfort et l'humidité interne, chose qui fait augmenter considérablement la consommation énergétique et la facture énergétique.

V.3.1.3. Les apports énergétiques solaires

V.3.1.3.1. Inertie thermique, isolation et apports énergétiques

En hiver, il est essentiel de profiter des apports solaires qui sont intéressants dans la ville de Tizi-Ouzou, avec une durée d'insolation annuelle moyenne égale à 2675,9 heures (voir chapitre IV). En effet, le soleil peut contribuer au chauffage des bâtiments à usage de bureaux, soit par effet de serre à l'endroit des parois vitrées, soit par réchauffement pour les parois opaques.

Pour vérifier si les parois du bâtiment de bureau cas d'étude présentent un bon apport énergétique solaire, nous avons effectué un relevé de températures internes et externes pendant la saison froide en choisissant la journée du 15 décembre 2009, vu qu'une panne des équipements de chauffage a été signalée et qu'il est bien sûr plus intéressant de prendre ces mesures sans utilisation d'équipements de chauffage.

Si on prend comme référence le tableau 17 du RGPT (voir chapitre II) qui nous donne la température de l'air de 21°C à l'intérieur d'un bureau pour que celui-ci soit confortable, on remarque que les bureaux cas d'étude ont besoin d'être chauffés presque toute la journée.

Heures	Température sèche interne	Température sèche externe
0:00	15	12
1:00	14	11
2:00	12	11
3:00	11	10
4:00	11	9,5
5:00	10	9
6:00	11	10
7:00	12	11
8:00	14	12
9:00	16	12
10:00	17	15
11:00	17,5	16,5
12:00	19	19
13:00	21	22
14:00	21	22
15:00	22	23
16:00	23	23
17:00	20	19
18:00	20	17,5
19:00	19	16
20:00	18	16
21:00	18	15
22:00	18	13
23:00	17	12
0:00	15	12

Tableau 35: Valeur de la température sèche interne (bureau Sud non chauffé) et externe
Pour la journée du 15 Décembre 2009

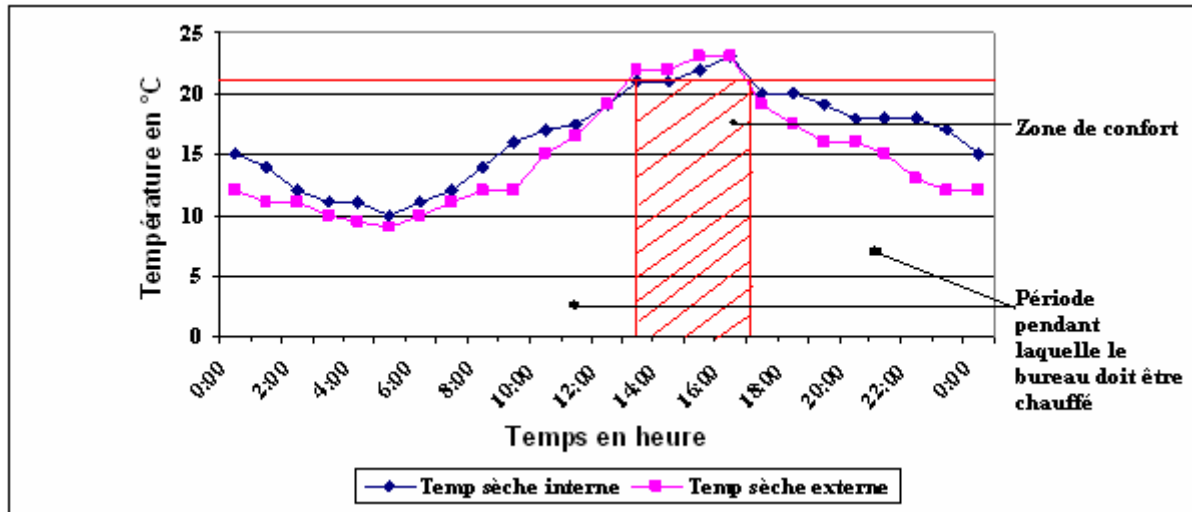


Figure 116: Variation de la température sèche interne (bureau non chauffé) et externe pendant la journée du 15 Décembre 2009, et détermination de la période d'utilisation du chauffage

Heures	Humidité relative externe	Humidité relative interne
00:00	85%	82%
01:00	84%	84%
02:00	85%	84%
03:00	89%	83%
04:00	89%	84%
05:00	89%	87%
06:00	90%	87%
07:00	89%	84%
08:00	89%	83%
09:00	79%	70%
10:00	70%	67%
11:00	65%	62%
12:00	60%	62%
13:00	60%	63%
14:00	58%	63%
15:00	57%	65%
16:00	69%	65%
17:00	74%	70%
18:00	75%	70%
19:00	79%	72%
20:00	82%	76%
21:00	84%	77%
22:00	88%	79%
23:00	88%	84%
00:00	89%	85%

Tableau 36: Valeur de l'humidité relative interne (bureau Sud non chauffé) et externe Pour la journée du 15 Décembre 2009

Le graphe précédent, nous informe que la période de chauffe est importante. En effet c'est seulement entre 15 H et 17 H que la température de confort est atteinte, pratiquement l'heure de la sortie des bureaux. De plus, la variation des températures intérieures suit les variations des températures externes, ce qui s'explique par une faible inertie des murs extérieurs ainsi qu'un manque d'isolation de ces murs.

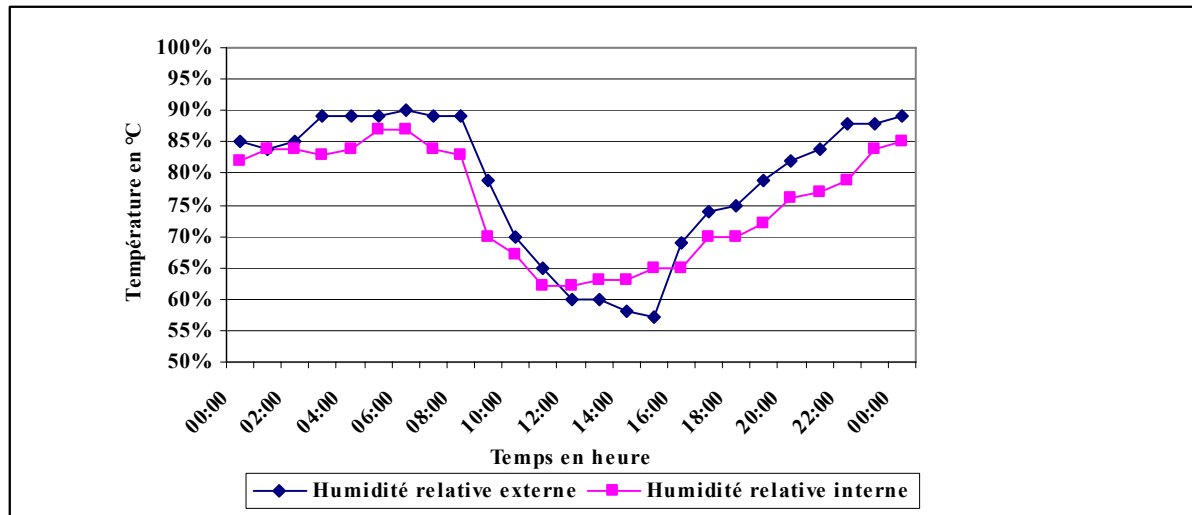


Figure 117: Variation de l'humidité relative interne (bureau Sud non chauffé) et externe pendant la journée du 15 Décembre 2009

Heures	Température sèche	Température humide	Température sèche	Température humide
00:00	15	13,2	12	10,6
01:00	14	12,5	11	9,6
02:00	12	10,6	11	9,7
03:00	11	9,5	10	9,1
04:00	11	9,6	9,5	8,6
05:00	10	8,9	9	8,1
06:00	11	9,9	10	9,2
07:00	12	10,6	11	10,1
08:00	14	12,4	12	11
09:00	16	12,8	12	10,1
10:00	17	13,4	15	12
11:00	17,5	13,3	16,5	12,7
12:00	19	14,6	19	14,3
13:00	21	16,4	22	16,9
14:00	21	16,4	22	16,6
15:00	22	17,6	23	17,3
16:00	23	18,5	23	19
17:00	20	16,5	19	16
18:00	20	16,5	17,5	14,8
19:00	19	15,8	16	13,8
20:00	18	15,4	16	14,1
21:00	18	15,5	15	13,4
22:00	18	15,7	13	11,9
23:00	17	15,3	12	10,9
00:00	15	13,5	12	11

Tableau 37: Température sèches internes (bureau Sud non chauffé) et externes ainsi que les températures humides internes et externes Pour la journée du 15 Décembre 2009

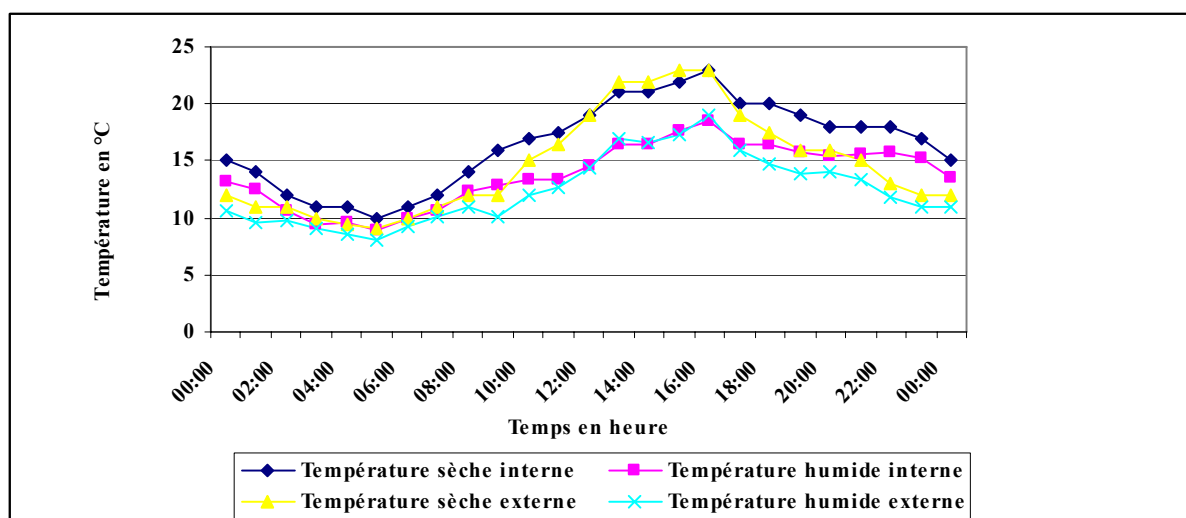


Figure 118 : Variation des températures sèches internes (bureau Sud non chauffé) et externes et des températures humides internes et externes pendant la journée du 15 Décembre 2009

Heures	Humidité absolue externe en g/kgas	Humidité absolue interne en g/kgas
00:00	7,4	8,7
01:00	6,9	8,4
02:00	6,9	7,4
03:00	6,8	6,8
04:00	6,6	6,9
05:00	6,3	6,6
06:00	6,9	7,1
07:00	7,3	7,4
08:00	7,8	8,3
09:00	6,9	7,9
10:00	7,5	8,1
11:00	7,6	7,8
12:00	8,2	8,5
13:00	10,3	9,7
14:00	10,8	9,7
15:00	11,6	10,8
16:00	12,1	11,5
17:00	10,1	10,3
18:00	9,4	10,3
19:00	8,9	9,9
20:00	9,2	9,8
21:00	8,9	9,9
22:00	8,2	10,2
23:00	7,7	10,2
00:00	8%	9%

Tableau 38: Valeur de l'humidité absolue interne (bureau Sud non chauffé) et externe Pour la journée du 15 Décembre 2009

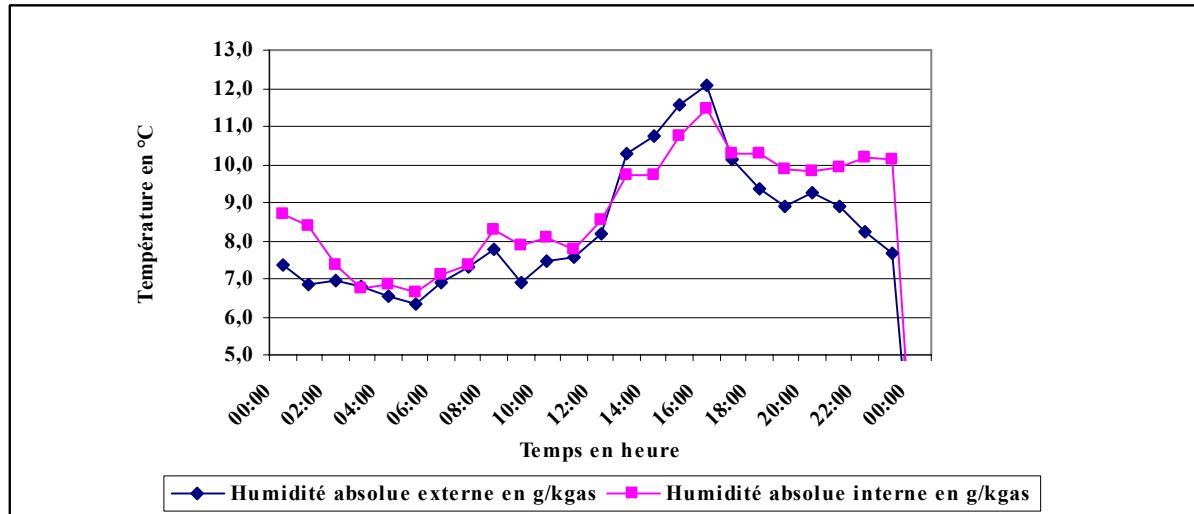


Figure 119: Variation de l'humidité absolue interne (bureau non chauffé) et externe pendant la journée du 15 Décembre 2009

L'humidité absolue interne varie entre une valeur minimale de 6,6 g/kgas et une valeur maximale de 11,5 g/kgas alors que l'humidité absolue externe varie entre 6,3 g/kgas et 12,1 g/kgas. La différence entre la valeur minimale et la valeur maximale est très petite pour les deux cas (interne et externe).

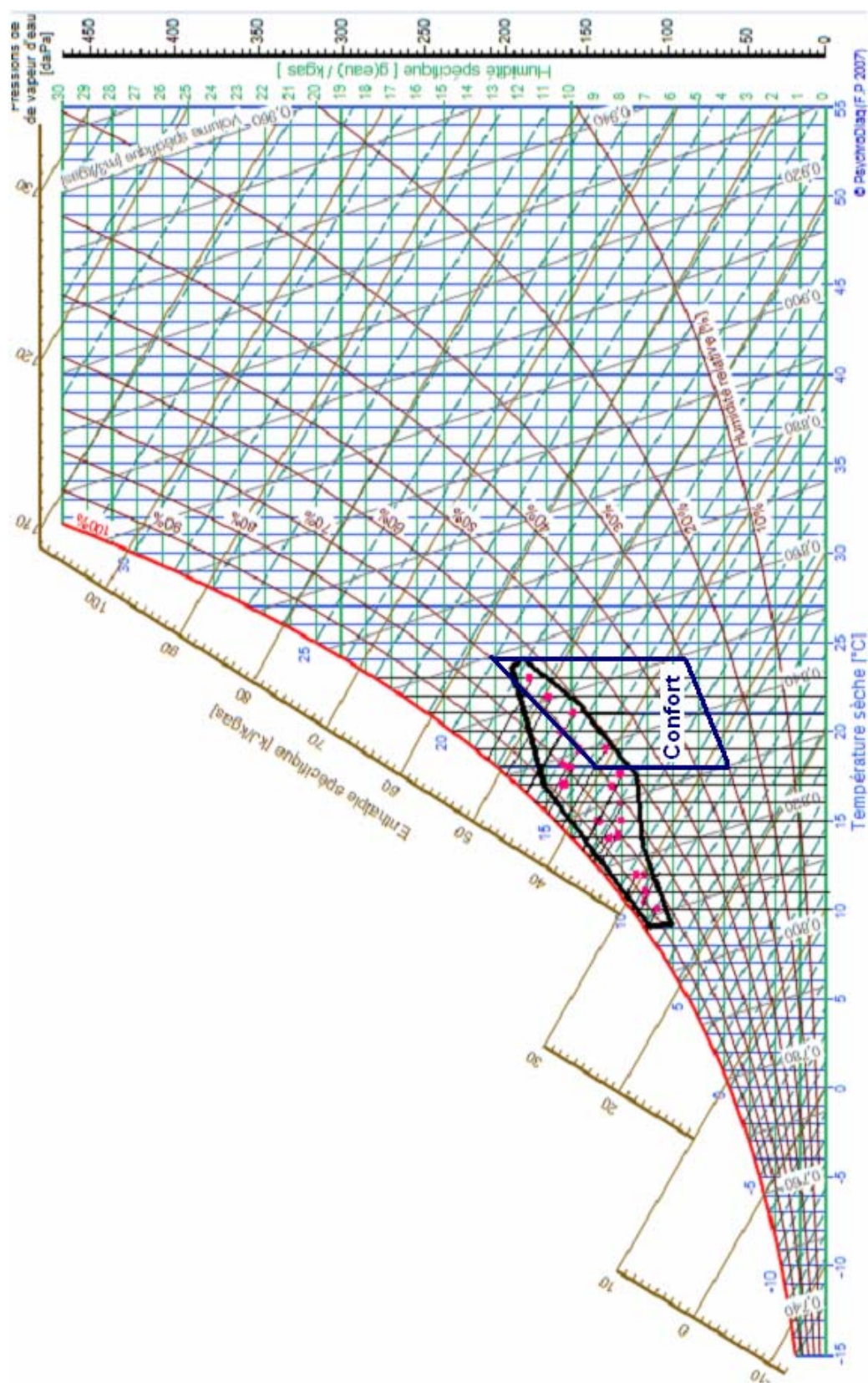


Figure 120 : Représentation des caractéristiques de l'air à l'intérieur des bureaux du bâtiment cas d'étude sur le diagramme psychrométrique, qui nous informe d'ailleurs que L'ambiance interne en hiver est inconfortable pendant toute la journée, ce qui nécessite pour améliorer le confort, l'installation d'équipements de chauffage

V.3.1.3.2. Synthèse

L'analyse des résultats des mesures prises en période de froid nous montre que le bâtiment de bureaux étudié ne présente ni une bonne inertie thermique, ni une bonne isolation du fait que les températures internes suivent les variations des températures externes et que les bureaux restent froids pratiquement toute la journée, malgré les apports intérieurs importants et l'occupation massive des bureaux. Quel que soit le niveau d'apport interne, l'isolation diminue la demande de chauffage en hiver. (Gratia, E., De Herde, A., 2006).

V.3.1.4. Analyse de la morphologie du bâtiment**V.3.1.4.1. Coefficient de forme**

La morphologie du bâtiment est un facteur important qui influence la demande en énergie pour chauffer ou refroidir l'espace occupé. Depecker et al ont étudié la relation entre la forme du bâtiment et la consommation d'énergie (Depecker et al., 2001) et Ourghi et al ont mis au point une méthode d'analyse simplifiée pour prédire l'impact de la morphologie d'un immeuble de bureaux sur l'énergie nécessaire pour le refroidissement (Ourghi et al., 2007). Ils ont conclu que l'optimisation de la forme d'un bâtiment est un élément essentiel si on veut réduire la consommation d'énergie.

L'optimisation de la forme et la structure fonctionnelle en vue de faire des économies d'énergie a constitué le travail de Jedrzejuk (Jedrzejuk & Marques, 2007). Une bonne solution pour analyser l'effet de la géométrie de la construction sur la consommation d'énergie est d'utiliser un indicateur, appelé coefficient de forme (C_f) qui est défini comme le rapport entre le volume chauffé du bâtiment et la somme de toutes les surfaces en contact avec l'extérieur, le sol ou avec les espaces non chauffés.

Plus la surface de déperdition est grande, plus les pertes de chaleur augmentent et donc le coefficient de forme prend des ratios plus petits qui impliquent des consommations d'énergie plus élevées (chauffer le même volume mais avec moins de surfaces déperditives). Une forme compacte est souhaitable pour réduire la consommation d'énergie.

Dans notre cas d'étude les bâtiments sont de forme rectangulaire avec les dimensions données sur les plans (voir Chapitre IV) et dont l'élévation est de 12,24 m².

Pour calculer le coefficient de forme, il faut d'abord calculer la surface ainsi que le volume du bâtiment.

$$\text{Surface} = (42,45 + 10,90 + 32,05 + 1,50 + 10,40 + 12,40) \times 12,24 + 478,305 \times 2 = \mathbf{2299,338 \text{ m}^2}$$

$$\text{Volume} = (42,45 \times 10,90 \times 12,24) + (1,50 \times 10,40 \times 12,24) = \mathbf{5854,4532 \text{ m}^3}$$

$$C_f = 2299,338 / 5854,4532 = \mathbf{0,39}$$

V.3.1.4.2. Synthèse

Le coefficient de forme nous indique que les surfaces déperditives sont relativement importantes, ce qui fait que les déperditions sont grandes et la consommation énergétique importante. Mais bien sûr aucune intervention ne peut être faite sur la forme du bâtiment, vu que celui-ci a déjà été réalisé.

V.3.1.5. Les ouvertures

Le bureau étudié possède une façade donnant sur l'extérieur et comporte deux fenêtres de 1,40 x 1,00, une ouverture verticale de 0,3x3 ainsi que deux impostes de 0,4 x 1,00.

La surface des ouvertures est de :

$$(1,40 \times 1,00) \times 2 + (0,3 \times 3) + (0,40 \times 1,00) \times 2 = 4,50 \text{ m}^2$$

La surface du mur extérieur est de :

$$3,25 \times 2,85 = 9,26 \text{ m}^2$$

Le rapport entre la surface des ouvertures et la surface du mur extérieur du bureau est de :

$$4,50 \text{ m}^2 / 9,26 \text{ m}^2 = 0,485 \text{ soit } 49\%$$

A noter que l'une des recommandations de l'étude bioclimatique faite pour la ville de Tizi-Ouzou, est de prévoir des ouvertures qui occuperont 25 à 40 % de la surface du mur donnant vers l'extérieur.

V.3.1.5.1. Synthèse

Le rapport entre la surface des ouvertures et la surface de la façade donnant vers l'extérieur est supérieur à 40%, qui sont le maximum défini par l'étude bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou. Ce qui fait que les déperditions sont plus importantes, donc le besoin en chauffage l'est aussi.

V.3.1.6. Surfaces vitrées

Le vitrage est un élément important pour les ingénieurs et les architectes, compte tenu de ses effets sur l'éclairage naturel et son potentiel sur la réduction de la demande d'énergie pour le chauffage en hiver. Person et al. ont montré que l'utilisation de fenêtre performantes du point de vue thermique serait meilleur que d'avoir des murs isolés mais sans fenêtres. (Person et al. 2006)

L'explication se retrouve par le fait que la fenêtre peut capter et utiliser l'énergie solaire pour chauffer les locaux pendant les périodes où le soleil brille et la température extérieure est inférieure à la température intérieure. Les dimensions des fenêtres les plus

appropriées dépendent de l'orientation du bâtiment et de sa masse thermique. La réglementation thermique 2005 propose une valeur de référence de 16,5 % (pourcentage de la surface vitrée par rapport à la surface occupée), mais cette valeur peut aller jusqu'à 22 %. Les valeurs plus élevées augmenteraient les risques de surchauffe pendant la période estivale.

$$\text{Calcul de la surface vitrée : } (1,40 \times 1,00) \times 2 = 2,40 \text{ m}^2$$

$$\text{La surface du bureau est de } 3,25 \times 4,20 = 13,65 \text{ m}^2$$

$$\text{Le rapport est de : } 2,40 \text{ m}^2 / 13,65 \text{ m}^2 = 0,175 \text{ soit } 18 \%$$

Ce qui est relativement correct, si on se réfère à la RT 2005.

V.3.1.6.1. Synthèse

La surface vitrée des bureaux est relativement correcte, ce qui ne l'est pas, c'est surtout le fait que la proportion de la surface vitrée par rapport à la surface de la façade est la même pour l'orientation Nord et l'orientation Sud, ce qui provoque des surchauffes en été pour le côté Sud et donc un besoin plus important de rafraîchissement, donc une consommation d'énergie plus importante pour la climatisation.

V.3.1.7. La transmission lumineuse

La transmission lumineuse correspond au pourcentage de lumière transmis à travers une paroi vitrée à l'intérieur d'un espace. Par conséquent, plus la transmission lumineuse est élevée, plus grande est la quantité de lumière qui pénètre dans le bâtiment et moins l'éclairage électrique sera nécessaire durant la journée. (Lièbard, A., de Herde, A., 2005)

Un éclairage naturel efficace dans tout les locaux où les occupants séjournent plusieurs heures par jour permet :

- D'améliorer le confort des employés, ce qui a une influence bénéfique sur leur efficacité.
- De diminuer la consommation d'éclairage artificiel et, dans les bâtiments climatisés, la consommation de refroidissement nécessaire pour éliminer l'apport de chaleur des luminaires.

Eclairage moyen recommandé sur le plan de travail (en lux) suivant NBN L13-006			
Type de local	Si la tâche est occasionnelle ou peu précise	Eclairage moyen recommandé	Si la tâche s'exécute avec des contrastes ou pour des personnes âgées
Bureaux-travaux généraux	300	500	750
Bureaux-lecture et écriture continues	500	750	1000

Tableau 39: Niveau d'éclairage recommandé
Source : (Gratia, E., De Herde, A., 2006)

V.3.1.7.1.Type de vitrage

Le type de vitrage (simple, double, absorbant, réfléchissant, teinté...) affecte directement la transmission lumineuse au travers de la fenêtre. Un compromis doit être recherché par rapport aux nécessités d'isolation ou de protection contre les surchauffes impliquées par éléments vitrés.

Le choix d'une protection solaire, qu'elle soit fixe ou mobile, peut influencer l'éclairage naturel, il est en effet dommage qu'une protection efficace contre l'éblouissement ou contre les surchauffes, conduise à allumer l'éclairage artificiel en pleine journée.

V.3.1.7.2.Taille, forme et position des fenêtres

La taille, la forme et la position des surfaces vitrées influencent la répartition de la lumière naturelle dans le local. Plus la fenêtre est grande et plus elle est proche du plafond, mieux le local sera éclairé. Toutefois, il ne faut pas vitrer complètement la façade. Au contraire le fait de vitrer l'allège, n'apporte que peu de lumière supplémentaire mais beaucoup de chaleur ou de froid. (Gratia, E., De Herde, A., 2006)

V.3.1.7.3.Synthèse

En effet, dans notre cas d'étude, le vitrage utilisé est un vitrage simple clair qui permet une grande transmission lumineuse et un éblouissement qui nécessite justement pendant les journées ensoleillées de baisser les stores, ce qui oblige les employés à utiliser l'éclairage artificiel grand consommateur d'énergie et provocateur de surchauffe à l'intérieur des locaux, nécessitant ainsi l'utilisation de moyens de rafraichissement.

Pour économiser de l'énergie dans un immeuble de bureaux, il ne suffit pas que l'éclairage naturel soit intensif, mais que l'éclairage artificiel puisse être adapté à l'offre momentanée de lumière naturelle.

Le problème du réglage automatique de l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairage naturel doit être étudié. La possibilité d'enclencher les luminaires selon l'intensité de l'éclairage naturel est une solution possible pour réduire la consommation d'énergie pour l'éclairage artificiel.

Après avoir optimisé l'éclairage naturel nécessaire pour un bon déroulement des activités de bureau, l'éclairage artificiel devra être conçu en complément, et non comme palliatif à un projet mal conçu.

V.3.1.8. Les apports internes

Les apports de chaleur d'un local peuvent être externes (apports solaires) ou internes (sources de chaleur liées à l'environnement intérieur provenant des occupants, de l'éclairage, des appareils électriques).

Les apports internes représentent une source de chaleur diffuse dans le bâtiment. Leur superposition à d'autres sources de chaleur (chauffage en service, rayonnement solaire direct) peut conduire à une élévation excessive de la température et à une situation d'inconfort. Par exemple, dans un bâtiment Nord-Sud, il sera préférable de positionner les locaux à forts apports internes en façade Nord alors que la façade Sud, soumise au rayonnement solaire, sera plutôt réservée aux bureaux générant moins d'apports internes. La minimisation et l'implantation rationnelle de ses sources de chaleur internes seront donc de première importance d'autant que l'impact de ces apports est accru du fait qu'ils sont à peu près constants et répartis de manière homogène.

Les apports de chaleur interne peuvent atteindre des valeurs élevées. Dans certains cas, ils peuvent suffire à répondre à eux seuls aux besoins de chaleur, voire exiger un refroidissement même en hiver. Il est donc toujours intéressant de diminuer la puissance des équipements électriques d'un bâtiment. Celle-ci est totalement transformée en chaleur dans les locaux.

En hiver, cet apport de chaleur n'a pas de conséquence sur le confort. Le système de chauffage est simplement un peu moins sollicité. Mais il est plus coûteux d'apporter la chaleur nécessaire au bâtiment par les ordinateurs personnels que par le système de chauffage.

En été, l'apport de chaleur dû aux équipements électriques entraîne soit un risque d'inconfort dans les locaux non climatisés, soit une consommation pour le refroidissement.

Le graphe suivant nous montre que quel que soit le niveau d'isolation ou le degré d'inertie du bâtiment, le niveau d'apports internes peut faire passer le besoin de refroidissement du simple au double. Cependant, plus le bâtiment est isolé, plus l'impact des apports internes sur le besoin de refroidissement est important.

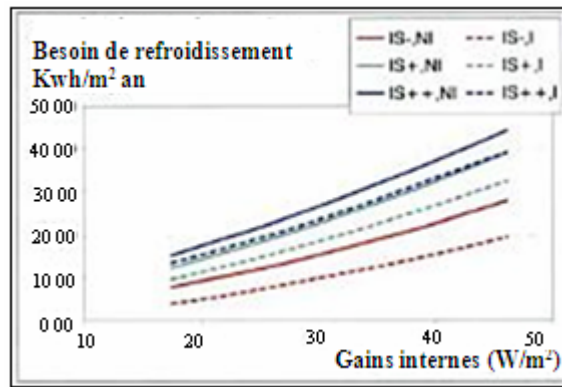


Figure 121 : Evolution du besoin en refroidissement par rapport gains internes selon l'inertie et l'isolation d'un bâtiment de bureaux

Source : (Gratia, E., De Herde, A., 2006)

Gains internes (W/m^2)

Aussi, la limitation des apports internes électriques peut permettre, avec d'autres mesures, d'éviter l'installation d'un système de refroidissement actif.

Dans le bâtiment cas d'étude, nous pouvons évaluer les apports internes dans un bureau orienté Sud. Sans compter le fait que ces bureaux reçoivent du public relativement chaque jour, ce qui élève le taux d'occupation des bureaux parfois à 7 ou 8 personnes

Le bureau comporte :

- 03 micro ordinateurs individuels
- 03 imprimantes laser
- 04 employés
- 04 lampes fluorscentes

La figure nous donne des informations relatives à la production de chaleur et d'humidité des occupants et des équipements.

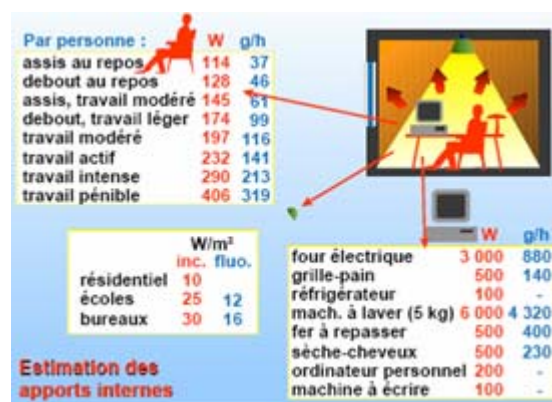


Figure 122 : Estimation des apports internes : chaleur métabolique et équipement

Source : (Lièbard, A., de Herde, A., 2005)

V.3.1.8.1. Gains provenant des appareils électriques

Wilkins et al. (1991) ont mesuré la chaleur générée par les équipements de bureaux et ont comparé ces valeurs aux puissances données par le fabricant. Mc Graffin (1994) a présenté des données supplémentaires concernant les ordinateurs, les moniteurs et les imprimantes.

ASHRAE 1993 Handbook-Fundamentals donne des recommandations pour le calcul des gains de chaleur provenant des équipements de bureaux et qui sont différents de la puissance nominale électrique de ces appareils.

Toutes ces études ont montré qu'il faut appliquer un facteur d'usage à la puissance donnée par le fabricant pour tenir compte des discontinuités de fonctionnement des composants électriques. Une étude réalisée par Alereza et al en 1979 permet de donner un facteur d'usage de 0,4 pour les réfrigérateurs et les congélateurs. Pour tous les autres cas, une valeur de 1,0 est utilisée.

En se basant sur des études antérieures et sur ASHRAE, (Alereza et al., 1984) proposent que le calcul de ces apports soit fait à partir de la puissance nominale de l'appareil. Le gain de chaleur Q_i est calculé par la formule :

$$Q_i = q_r \times F_u$$

Q_r est la puissance nominale égale au maximum d'énergie utilisée par un appareil. Elle est donnée dans les spécifications de l'appareil.

F_u est un facteur d'usage défini comme le rapport entre la puissance d'opération et la puissance nominale fournie par le fabricant, qui est dans notre cas égal à 1.

Le calcul des gains internes dans un bureau dus aux équipements électriques se fait comme suit :

Pour les ordinateurs : $3 \times 200 \times 1 = 600 \text{ w}$

Pour les imprimantes : $3 \times 200 \times 1 = 600 \text{ w}$

Les gains internes dus aux équipements dans un des bureaux est de 1200 Watts

V.3.1.8.2. Gains dus aux occupants

Un ensemble de mécanismes complexes permettent à l'homme de maintenir sa température interne à une valeur voisine de 37° C , malgré les fluctuations des paramètres d'ambiance. Le corps humain est en échange permanent avec son ambiance. Ces échanges interviennent par quatre modes différents (convection, rayonnement, conduction et évaporation) (voir chapitre II) et sont compensés par une production de chaleur interne

appelée métabolisme. Une partie de la chaleur produite sous forme métabolique est toutefois directement consommée sous forme de travail externe. (Bruant, M., 1997).

Les gains provenant des occupants sont calculés comme suit (ASHRAE Fundamentals, 1997)

$Q_i \text{ occupants} = N \times \text{apport interne par personne}$

N étant le nombre d'occupants

Nous avons : $4 \times 145 = 580 \text{ w}$

Les gains internes dus aux occupants du bureaux est de 580 Watts

V.3.1.8.3. Les gains provenant de l'éclairage

L'électricité consommée par les lampes est convertie en chaleur sensible par convection et rayonnement. L'énergie radiante visible qui illumine les surfaces de la pièce est soit absorbée et convertie en chaleur sensible par toutes les surfaces illuminées par les lampes, ou transmise directement à l'extérieur par toutes les surfaces transparentes comme les fenêtres. L'énergie transmise est alors perdue par la pièce. Pour les lampes fluorescentes à 18% d'efficacité, la fraction perdue à l'extérieur est de 0,0072, et le gain de chaleur est de 99,28%. (Moreau, A. et al., 1994).

Pour l'éclairage intérieur, toutes les références considèrent un facteur de gain égal à 1, en dehors des luminaires refroidis par circulation d'air ou d'eau dans un faux plafond où ils sont encastrés.

Apport des installations électriques : $16 \text{ w/m}^2 \times 13,65 \text{ m}^2 = 218,4 \text{ w}$

Les gains internes dus aux occupants du bureaux est de 218,4 Watts

Les gains internes pour un bureau seront de : $600+600+580+218,4= 1998,4 \text{ w}$

Ce qui est un chiffre très important pour un seul bureau

V.3.1.8.4. Minimisation des apports internes dans les bureaux

- **Minimiser les apports internes dus aux personnes**

L'activité humaine influence les gains internes, mais ces types de gains sont difficiles à modifier autrement que par des zonages appropriés des espaces intérieurs du bâtiment.

Il faudra étudier attentivement les niveaux d'occupation de chaque espace pour minimiser les apports fournis par les personnes, comme il faut veiller à assurer une ventilation suffisante aux locaux densément occupés (grands bureaux, salles de réunion, de conférence,...)

- **Minimiser les apports internes dus à l'équipement**

On veillera à employer des appareils performants, à consommation et production de chaleur minimales (par exemple, opter pour des écrans plats pour tout les ordinateurs).

On s'attachera également à regrouper autant que possible équipements générateurs de chaleur à l'écart des personnes, sans nuire à leur emploi, dans une zone d'où ne proviennent pas de flux d'air qui risquerait de disséminer les calories dans tout le bâtiment.

- **Minimiser les apports internes dus à l'éclairage**

L'éclairage participe largement au bilan général. Ces apports peuvent être facilement minimisés en favorisant l'éclairage naturel, Réduire les apports internes dus à l'éclairage en utilisant la lumière naturelle au lieu de l'éclairage électrique permet également de réduire la consommation électrique.

V.3.1.8.5.Synthèse

En hiver

Les apports internes ajoutés aux apports solaires et à la chaleur produite par le chauffage font que les locaux sont surchauffés, ce qui provoque un inconfort qui est signalé par les occupants en plus du fait que la consommation énergétique reste très élevée.

Pour qu'il y ait récupération d'apport, il faut que les dispositifs de régulation de chauffage soient capables de s'adapter afin de réduire l'alimentation en énergie pour maintenir constante la température de consigne dans les locaux et faire en sorte que ce soient les apports qui assurent le complément. Si les caractéristiques de l'installation de chauffage ne sont pas suffisamment performantes pour assurer cette fonction. Il n'y a pas de récupération d'apport, mais seulement élévation hétérogène de la température dans la pièce sans réduction de chauffage.

En été

Les apports solaires doivent être limités en été du fait que les gains internes sont très importants, pour cela, il est recommandé de prévoir des stores extérieurs gérés automatiquement ou des protections solaires permanentes. (cahiers des charges energie+, 2004). Mais dans notre cas la protection solaire utilisée sont des stores extérieurs en bois gérés manuellement.

Les apports internes provoquent des surchauffes considérables, surtout qu'en été l'éblouissement par le vitrage est très important et oblige les employés à baisser les stores, donc à utiliser l'éclairage artificiel. Les systèmes de climatisations sont donc utilisés pour faire face à cette surchauffe, d'où une grande consommation d'énergie.

Par exemple, en diminuant de 1kw la puissance de l'éclairage, on économise, chaque heure, une consommation directe 1kwh. En période de refroidissement, on économise aussi 0,4 kwh de climatisation, consommation qui aurait été nécessaire pour évacuer la chaleur produite par les lampes. Cela représente une économie globale de 1,4 kwh. (cahiers des charges energie+, 2004).

V.3.1.9. Ventilation naturelle

La ventilation naturelle est plus efficace si l'inertie du bâtiment est plus élevée.

La ventilation diurne est plus efficace que la ventilation nocturne si le bâtiment a peu d'inertie.

Dans notre cas d'étude, l'inertie est presque nulle, ce qui fait qu'il est recommandé une ventilation diurne beaucoup plus que la ventilation nocturne, ce qui est difficile à avoir si des protections solaires fixes ne sont pas prévues.

	Réduction du besoin de refroidissement par rapport au cas de base pour un niveau d'apports internes de 30 w / m2			
	Vent. diurne	Vent. nocturne	Vent. di+vent.noct.	Vent. di+vent.noct.+écr.ext.
Bât.sans inertie	28,9 %	22,2 %	41,2 %	60,9 %
Bât.avec inertie	30,1 %	28,1 %	46,2 %	62,4 %

Tableau 40: Réduction des besoins de refroidissement selon le type de ventilation
Source : (Gratia, E., De Herde, A., 2006)

L'application de l'ensemble des stratégies réduit le besoin de refroidissement d'environ 60 %. (Gratia, E., De Herde, A., 2006)

Taux de ventilation hygiénique

L'objectif est de garantir une bonne qualité d'air tout en évitant de surventiler puisque c'est une cause de dépenses énergétique.

La norme NBN D 50-001 impose des débits de ventilation tels qu'indiqués dans le tableau suivant :

type de local	Débit nominal m3 /h m2 plancher
Bureau individuel	2,9
Bureau paysagé	2,5
Salle de réunion	8,6
Salle de conférence	23,0
Cafétéria	11,5

Tableau 41: débits de ventilation selon le type de local**Source :** (Gratia, E., De Herde, A., 2006)

Plus le taux d'occupation du bureau est important, plus la ventilation nécessaire peut devenir importante tel que dans les salles de réunion ou les salles de conférences.

V.3.1.9.1. Synthèse

La ventilation diurne est possible dans le bâtiment étudié à condition de prévoir des protections solaires qui limiteront les gains solaires et l'éblouissement lorsque les fenêtres sont ouvertes, toutefois la ventilation nocturne est difficile à avoir puisque les fenêtres restent fermées à partir de 16 h 30, heure de sortie des employés.

V.4.Conclusion

On retiendra de ce chapitre que le bâtiment étudié, présente des insuffisances en matière de prise en charge du confort intérieur. En effet, les conditions vécues dans cet environnement de travail déterminé par l'enquête sur terrain, met en évidence des carences en terme d'inconfort physique, il concerne essentiellement l'inconfort thermique confirmé par notre campagne de mesure sur site :

a) La température de l'air élevée est la première manifestation d'inconfort, notamment en été où les travailleurs souffrent de surchauffe et baissent les persiennes de leurs fenêtres. C'est ainsi que ces derniers sont contraints, la majeure partie du temps, de fermer les fenêtres qui s'avère insuffisante pour parer à cet inconfort et nécessitant donc d'autres moyens et dispositifs de contrôle.

b) Le taux d'humidité élevée est la deuxième manifestation d'inconfort en été comme en hiver.

Après examen des résultats de mesures, il s'avère que les principales raisons de cet inconfort sont :

- 1) la faible inertie thermique de l'enveloppe du bâtiment
- 2) Absence d'isolation thermique dans l'enveloppe du bâtiment (les parties opaques ou vitrées).

3) La forme rectangulaire du bâtiment qui engendre une surface déperditive importante

4) Absence d'écrans solaires

5) La dimension des fenêtres et leur disposition, ainsi que la nature du vitrage.

6) Du fait que l'occupation des locaux est intermittente, il est quasiment impossible de créer une ventilation nocturne qui est très importante pour éviter les surchauffes, d'autant plus que les chauffages restent allumés le jour comme la nuit.

Nous avons aussi présenté dans ce chapitre les données d'occupation nécessaires pour le calcul de la consommation réelle et nous avons souligné l'importance du rôle des gains internes dans le bilan énergétique du bâtiment qui influent considérablement sur le système de chauffage et le système de climatisation à utiliser

En d'autres termes, l'enveloppe du bâtiment ne joue pas son rôle protecteur, ce qui fait que pour atteindre les conditions de confort requises dans un lieu de travail, il faut recourir à des équipements de rafraîchissement ou de chauffage, ce qui fait que la consommation d'énergie s'accroît et la facture énergétique de plus en plus élevée.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Nos climats n'offrant pas des conditions climatiques suffisantes pour assurer le confort thermique toute l'année, il est nécessaire de corriger les effets du climat par le chauffage ou le refroidissement des bâtiments. Or, certains bâtiments sont naturellement confortables, alors que d'autres nécessitent d'importantes installations techniques pour garantir des conditions acceptables. En effet le développement des techniques modernes a impliqué le recul, voire la disparition d'autres savoirs.

Savoirs et usages constructifs, modes de vie adaptés, etc. laissent la place à des réponses d'ordre technologiques (climatisation, gestion technique centralisée, etc.). Les technologies de la climatisation ont-elles vocation à remplacer définitivement les savoirs plus anciens liés à la bonne orientation, au contrôle du rayonnement solaire par l'ombrage, aux accessoires tels que les volets, ou aux stratégies de ventilation, etc. ?

Depuis une bonne vingtaine d'années, les économies d'énergie sont, elles aussi, un facteur de renouvellement de l'approche de l'architecture de bureaux. L'aberration technique de systèmes trop chers et parfois peu efficaces, ajoutés à un ensemble de considérations écologiques ont conduit à rejeter l'immeuble hyper conditionné et son environnement artificiel. La conception des bâtiments prend sérieusement en compte la lumière et la ventilation naturelle, tant par souci de réduire les coûts de fonctionnement, la réduction de la consommation d'énergie ainsi que d'améliorer le bien être des employés et corrélativement de leur travail.

En climat méditerranéen tempéré, il devrait être parfaitement possible dans de nombreux cas d'assurer un climat intérieur confortable en été en limitant aux maximum les installations techniques. De plus une bonne conception devrait permettre de réduire fortement la durée et l'importance de la saison de chauffage.

L'enveloppe doit également se modifier, intégrant des protections solaires et différenciant ses façades selon leur orientation. La prise en compte de l'ouverture au climat et à l'environnement extérieur va conditionner jusqu'à la forme et la section des bâtiments et demander une réflexion d'ensemble sur toute la conception architecturale. La recherche d'une plus grande rationalité suscitera une approche plus sensible des technologies au profit de dispositifs naturels qui conduisent à des projets plus humains.

Le recours à l'utilisation de systèmes passifs contribuera forcément à la réduction de ce phénomène et préservera par conséquent cette énergie fossile pour les générations future. Dans

les régions chaudes et arides comme l'Iran, l'Iraq, l'Egypte et d'autre pays, grâce à certaines formes architecturales traditionnelles (capteur à vent / tour à vent) on n'obtient pas seulement une réduction des écarts de température mais aussi une grande réduction de l'énergie consommée. Ce résultat est atteint sans faire appel à d'autres sources d'énergie que celles qui existent dans l'environnement naturel «vent, soleil et eau». A une époque où le coût de l'énergie dépasse considérablement celui de la construction des bâtiments , de tels systèmes méritent une attention particulière. Comme note Bahadori, (Bahadori,N.,1985), même dans les pays où les systèmes de refroidissements passifs ne trouveraient pas les mêmes applications qu'en Iran, ils prouveraient qu'on peut se servir de l'environnement extérieur au lieu de le combattre. Il faudrait qu'à l'avenir, les architectes et les ingénieurs tiennent d'avantage compte du climat et prennent soin d'examiner les possibilités d'installation de systèmes passifs de chauffage, de refroidissement et de ventilation. Munis de ces informations, ils devraient être capable de concevoir des immeubles dotés du confort moderne et ne consommant qu'un minimum d'énergie.

Dans ce travail, nous avons tenté d'identifier les problèmes de la construction des bâtiments tertiaires en Algérie et plus particulièrement dans la ville de Tizi-Ouzou, moyennant des enquêtes et des études in situ.

Une analyse de sensibilité a montré l'importance de l'approche sur site surtout pour certains paramètres d'entrée tels que la température intérieure. Nous nous sommes ensuite intéressés à l'application sur un bâtiment réel, particulièrement à la définition des capacités thermiques de l'enveloppe du bâtiment et son incidence directe sur la consommation d'énergie. Une étude bioclimatique, nous a permis de définir les recommandations à suivre lors de la conception du bâtiment étudié en se basant sur les caractéristiques climatiques du site afin de voir si ces différents points ont été pris en considération lors de la réalisation de ce bâtiment.

Dans ce chapitre conclusif, la synthèse des principaux résultats est présentée en vue d'apporter quelques éléments de réponse aux causes d'insatisfaction des occupants des immeubles de bureaux en général et du bâtiment cas d'étude en particulier. Ces éléments de réponse pourraient servir de critères de qualité dans la conception de tels immeubles. On peut donc dire que le résultat de cette étude a mis en évidence les aspects qui ont un impact sur le besoin de refroidissement et de chauffage, donc sur la consommation énergétique dans le bâtiment tertiaire en climat méditerranéen.

Les principaux points faibles du bâtiment cas d'étude sont :

- 1) la faible inertie thermique de l'enveloppe
- 2) Absence d'isolation thermique dans l'enveloppe du bâtiment (les parties opaques ou vitrées).
- 3) La forme rectangulaire du bâtiment qui engendre une surface déperditive importante
- 4) Absence d'écrans solaires
- 5) La dimension des fenêtres et leur disposition, ainsi que la nature du vitrage (vitrage simple).
- 6) Du fait que l'occupation des locaux est intermittente, il est quasiment impossible de créer une ventilation nocturne qui est très importante pour éviter les surchauffes, d'autant plus que les chauffages restent allumés le jour comme la nuit.
- 7) Les apports internes très importants

D'un point de vue pratique, les résultats présentés dans cette étude montrent que le choix de l'enveloppe du bâtiment a une incidence notable sur la consommation d'énergie. Cependant, un mauvais choix peut coûter très cher au long terme vis-à-vis de la consommation et des dépenses énergétiques pour assurer le confort thermique à l'intérieur des locaux de travail.

Recommandations

En somme, il n'y a pas de réponse simple à appliquer sans discernement. Il faut tenir compte de la globalité du bâtiment. Le bâtiment est rectangulaire et possède une façade Sud et une façade Nord. Celle-ci ne bénéficie d'aucun apport solaire (ou presque). Le bilan thermique de ce bâtiment dépendra donc de :

- surfaces de vitrages choisies sur chacune des façades (pas automatiquement identique).
- l'usage des locaux : on peut disposer les locaux présentant de faibles apports internes en façade Sud et des locaux avec de forts apports internes (bureautique) en façade Nord.
- type de protection solaire choisie en fonction de l'aspect visuel, du coût, des contraintes d'entretien et des gestions éventuelles...
- l'ombrage naturel qu'offre l'environnement (autres bâtiments, végétation,...).

Pour limiter les consommations de chauffage, il est tout d'abord nécessaire de limiter les déperditions. Pour ce faire, il faut réaliser un bâtiment compact et l'orienter de manière à optimiser les gains solaires (orientation Nord / Sud). La conception des ouvertures du bâtiment

est fondamentale pour maximiser les gains solaires en hiver. L'objectif est d'obtenir un bilan thermique positif entre gains solaires et déperditions thermiques pour les surfaces vitrées.

Parallèlement, il faut réaliser une enveloppe thermique de qualité pour limiter les déperditions par les parois. Les épaisseurs d'isolations doivent être renforcées. De plus on doit veiller à limiter au maximum les ponts thermiques. L'isolation par l'extérieur est donc à privilégier. L'enveloppe du bâtiment doit être consciencieusement isolée et les infiltrations d'air seront sévèrement contrôlées pour réduire le besoin de chauffage.

L'apport d'air hygiénique doit être apporté par la ventilation et non pas par des imperfections dans l'enveloppe. Toutes les ouvertures dans les parois à travers lesquelles l'air va pénétrer dans le bâtiment vont engendrer une augmentation des besoins de chaleur. C'est pourquoi l'enveloppe extérieure doit être la plus imperméable possible au passage de l'air.

La conception bioclimatique nécessite également une réflexion sur l'agencement des locaux intérieurs.

En été, il est nécessaire de protéger les surfaces vitrées par des protections solaires fixes ou mobiles afin d'éviter que le rayonnement solaire ne pénètre dans les locaux et contribue à les réchauffer fortement.

Pour ralentir la surchauffe du bâtiment, il est important d'avoir suffisamment d'inertie pour stocker le surplus de chaleur en journée.

La nuit lorsque les températures extérieures sont plus faibles, il est très efficace de ventiler le bâtiment pour évacuer la chaleur accumulée tout au long de la journée.

L'enveloppe du bâtiment a donc un rôle déterminant sur sa future consommation. C'est en fonction de ses qualités que les demandes de chaleur et de refroidissement seront plus ou moins importantes. Des équipements de qualité, ayant un bon rendement, n'ont qu'une efficacité limitée si la demande n'est pas diminuée autant que possible lors de la conception.

Savoir concevoir et réussir l'application du concept bioclimatique dans les bâtiments tertiaires en climat méditerranéen afin d'arriver à une consommation rationnel des énergies en limitant au maximum l'utilisation des équipements techniques pour remédier au manque de confort, voilà une clef pour assurer la viabilité économique et environnementale des réformes du secteur énergétique

Grâce à un travail approprié sur les performances de l'enveloppe et sur les équipements techniques utilisés dans l'exploitation des bâtiments ainsi que le recours aux énergies

renouvelables (solaire, géothermie, éolienne, etc.), non seulement les bâtiments ne consommeront plus autant d'énergie dans un futur proche, mais qui plus est, certaines constructions seront en mesure d'en fournir au réseau.

La poursuite du développement de réglementations thermiques destinées à l'amélioration énergétique des bâtiments neufs et la promotion de guides techniques pour la gérance énergétique des bâtiments existants constituent donc des solutions viables dans le cadre des efforts entrepris pour la maîtrise de l'énergie.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ADEME, (1999)** « Gestion énergétique dans les bâtiments publics », Guide méthodologique.
- ADEME, (2003)**, « Outils de suivi du système de management d'opération », modernisation du livret de bord d'opération HQE.
- ADEME, (2005)**, « Strategie Utilisation Rationnelle De L'énergie », « Chapitre II : Les bâtiments », Version Juin 2005.
- ADEME, Solagro, (2004)**, « Climat et énergie », association Alisée, Espace Info énergie du Maine et Loir, INSEE Conseil Mondial de l'Energie. 29 pages
- AIE, (2000)**, « World energy outlook », Agence internationale de l'énergie, Head of communication and information office, Paris.
- AIE, (2008)**, « World energy outlook », Agence internationale de l'énergie, Head of communication and information office, Paris.
- Ait Ameer K., (2002)**, « Vers une méthode multicritère de caractérisation du microclimat dans les espaces publics urbains : validation d'un système d'indicateurs « Morpho-Climatiques » et d'un indicateur de confort », thèse de doctorat, Université de Nantes, France.
- ALE – INFOS, (2007)**, « Le confort d'été dans les bâtiments Comment rafraîchir sans consommer d'énergie ni polluer ? », le concentré d'énergies de l'agglomération lyonnaise, revue N° 19 des mois d'Avril, Mai et Juin 2007, Lyon.
- Alereza T., Breen J.P. (1984)**, « Estimates of recommended heat gains due to commercial appliances and equipment », ASHRAE Transactions, Vol.90
- Amouroux J.M.M.,(2005)**, « Perspectives énergétiques mondiales », Techniques de l'ingénieur, , Enerdata SA, Grenoble.
- Andre P., Deliste C.E., Reveret J.P, (2003)**, « Processus, acteurs et pratique pour un développement durable, L'évaluation des impacts sur l'environnement », 2e édition, Ecole Polytechnique de Montréal.
- APRUE, (2007)** « Consommation énergétique finale de l'Algérie, chiffres clés année 2005, données et indicateurs », Ministère des énergies et des mines, édition 2007.
- ARENE, (1998)**, « Confort d'été en Provence Alpes Côte d'Azur », Fiche 3 : « Protection Solaire/Isolation », Fiche 4 : « Inertie thermique »Provence-Alpes-Côte d'Azur (LA SEIGNEURIE), Marseille.
- ARENE, (1999)**, « L'énergie, Dans La Programmation Des Bâtiments En Région Méditerranéenne », Agence Régionale de l'Energie Provence-Alpes-Côte d'Azur, Commission Européenne, Marseille.
- ARENE, (2002)**, « Etude des paramètres influant sur les consommations de climatisation dans les immeubles de bureaux », Agence Régionale de l'Energie Provence Alpes Côte d'Azur, Marseille.

- Argiri M. (2006)**, « Défis stratégiques », AIE, World Energy Outlook.
- ARPE, (2001)**, « Guide pratique développement durable : le diagnostic des villes moyennes », 176 p.
- ASHRAE Fundamentals, (1993)**, ASHRAE Handbook, « HVAC Systems and Equipment», American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, SI Editions, Atlanta.
- ASHRAE Fundamentals, (1997)**, ASHRAE Handbook, «Non residential cooling and heating load calculations», American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, SI Editions, ISBN, Atlanta.
- Assimakopoulou M.N., (2004)**, « Développement et Evaluation des systèmes et stratégies de contrôle de régulation d'un vitrage électrothermique pour des applications de bâtiment », Thèse de doctorat en génie civile, Institut national des sciences appliquées de LYON
- Azami A., (2005)**, «Badgir in traditional Iranian architecture», International Conference “Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment”, May 2005, Santorini, Greece.
- Bagnouls F, Gaussen H., (1953)**, « Saison et indice xérothermique ». Doc. Cart. Prod. Vég. Serv. Gén. II, 1, art. VIII, Toulouse.
- Bahadori M.,(1988)**, « A passive cooling/heating system for hot arid regions”. In: proceedings of American Solar, Energy Society Conference, Cambridge. Massachusetts.
- Baker N., (1994)**, «Energy and Environment in Non-Domestic Buildings» A Technical Design Guide, Cambridge Technical Research.
- Benziada R., (2006)**, « Etude du Conditionnement Climatique des Locaux dans le Contexte Saharien », Mémoire de Magister, C.U. Béchar, 144 pages.
- Benyarou F., (2002)**, « Conversion des énergies », Document de cours (EN01), Université de Tlemcen.
- Bernard J., (2004)**, « énergie solaire calcul et optimisation », Collection :Technosup, Ellipse, 252 pages
- Bernard R., Menguy G., Schwartz M., (1980)**, « Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications », Techniques et documentations Lavoisier, Paris.
- Bessemoulin P., Oliviéri J., (2000)**, « Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette » Physique atmosphérique, La Météorologie 8e série - n° 31.
- Bilocq F., (1999)**, « Conception et évaluation de questionnaire », in « Enquêtes et sondages, modèles, applications, nouvelles approches », Brossier et Dussaix éditeurs scientifiques, Dunod, France.
- Bodart M., (2002)**, « Création d'un outil d'aide au choix optimisé du vitrage du bâtiment, selon des critères physiques, économiques et écologiques, pour un meilleur confort visuel et

thermique », Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, Faculté des sciences appliquées, Unité d'Architecture – Belgique.

Boissieu C., (2006) « Division par quatre des gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050 », Ministère de l'Economie, des Finances et de l'industrie.

Bouazza S., Bouchnafa H., (2000), « Estimation des énergies incidentes et fournies par module photovoltaïque », Mémoire de DES, Université de Tlemcen, juin 2001.

Bouchahm Y., (2003), « La performance thermique du capteur à vent pour un rafraîchissement passif dans les régions chaudes et arides cas de Ouargla ». Thèse de doctorat, Université de Constantine.

Boucherf D., (2006), « Variabilité et Changement climatique au Sahara », Office Nationale de la Météorologie Alger, Algérie.

Bouguerra E.H., Bouyousfi B. et Retiel N., (1997), « Etude et Optimisation d'un Mur Trombe », Congrès sur les Energies Renouvelables, La Maîtrise de l'Energie et l'Environnement, Biskra, Novembre 1997.

Bourg D., Rayssac G.L, (2006), « Le développement durable », Gallimard, France.

Bourges B., Bertolo L., (1991), « données climatiques utilisées dans le bâtiment », Techniques de l'ingénieur, Traité génie énergétique, B2-015.

Bourgeois D., Haghighat F., et Potvin A., (2004) « Making the case for hybrid ventilation and adaptive comfort theory in Canada: conclusions drawn from a literature review ». Actes de conférence IAQVEC 2004, the 5th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings, Toronto.

Brichambaut P., Vauge C., (1982) « Le gisement solaire, évaluation de la source énergétique », Tec et Doc, Lavoisier, Paris.

Brodhag C., (2004) « Du concept à la mise en œuvre du développement durable », Vertigo, volume 5, No 2.

Brodhag C., (2004), « Développement durable et énergie », journées X-ENS-UPS Physique, Ecole polytechnique, 14 mai 2004

Brown L.R, (1992), « Le défi planétaire . pour une économie mondiale, écologique et durable », Sang de la Terre, Paris.193 pages

Brown R. et Lester R., (2003), Eco-économie, « Une autre croissance est possible, écologique et durable », Traduction de l'Américain par **Trierweiler, D.,** seuil, Paris, p XIX.
Bruant M., (1997), « Développement et paramétrage de contrôleurs flous multicritères du confort d'ambiance », Thèse de doctorat, Institut National des sciences appliquées de Lyon, Lyon, France, 303 pages.

Brundtland G.H., (1987), « Notre avenir à tous », Rapport de la commission mondiale pour l'environnement et le développement, Edition du Fleuve, Montréal, 454 pages

Cahiers des charges energie+, (2004), « conception énergétique d'un bâtiment tertiaire », Concevoir et renover un bâtiment tertiaire, Réinventons l'énergie, Region Wallonne.

Candas V., (2000), « Confort thermique », Centre national de recherche scientifique de Strasbourg Technique de l'ingénieur- Traité Génie énergétique.

Carassus J., (2008), « Changement climatique, énergie et bâtiment », Directeur du département Economie et Sciences Humaines du CSTB, Professeur à l'Ecole des Ponts ParisTech Séminaire de synthèse IHEDATE (Institut des hautes études de développement et d'aménagement des territoires européens) du 4 décembre 2008.

Casanovas X., (2005), « Réhabiliter l'architecture traditionnelle méditerranéenne ». Symposium régional. Marseille, Collegi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Barcelone.

CDER, (2003), « Avant-projet de Loi relatif à la Promotion des Énergies Renouvelables dans le cadre du Développement Durable », Bulletin des Energies Renouvelables, Bouzareah, N°4 Decembre 2003.

Chatelet A., Fernandez P., Lavigne P., (1998), « Architecture climatique, une contribution au développement durable, tome 2 : concepts et dispositifs », Edisud, 159 pages.

Chauliagnet C., Baratçal P., Batelier JP., (1981), « l'énergie solaire dans le bâtiment », Edition Eyrolles, 202 pages.

Cherqui F., (2005), « Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier, Méthode ADEQUA » Université de La Rochelle, Pôle Sciences et Technologie, Thèse de Doctorat, Discipline : Génie Civil.

Cheung C.K., Fuller R.J., and Luther M.B., (2005), « Energy Efficient Envelope Design for High Rise Apartments », Energy and Building, Vol. 37, N°1, pp. 37 – 48.

CMED, (1988), « Notre avenir à tous », Rapport de la commission mondiale sur l'environnement et le développement, Québec, Editions du fleuve et les publications du Québec.

Comélieau L., et al. (2002), « Repères pour l'Agenda 21 local », Ouvrage réalisé avec le soutien de la caisse des dépôts et consignations, de la Datar et du ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, France, 132 pages

Commission Européenne, (1999), « Caractéristiques pour un bâtiment méditerranéen. Nouvelles solutions dans l'utilisation de l'énergie », Direction Générale pour l'énergie, 26 pages.

Cordier N., (2007), « Développement et évaluation de stratégie de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions », Thèse de doctorat, Ecole doctorale MEGA-Institut national des sciences appliquées de Lyon- Génie civile.

COSTIC centre de Digne, (2004), « Les techniques de chauffage et de rafraîchissement basse consommation », Synthèse d'un travail réalisé par le centre de Digne du COSTIC pour le compte de l'ADEME PACA.

Courgey S., Oliva J.P., (2006), « La conception bioclimatique: des Maisons Confortables et Economes », terre vivante, Mens.

CRD/SH Boumerdes, (2001) « Les perspectives énergétiques à l'horizon 2020 dans un contexte de globalisation planétaire », Ecole Nationale polytechnique, Laboratoire de valorisation des énergies fossiles, 5ième Journée de l'Energie, 172 pages.

CSTB, (1998) « Intégrer la qualité environnementale dans les constructions publiques », Mission Interministérielle pour la Qualité des Constructions Publiques, Plan Construction et Architecture – Paris.

Deneux M., (2002), Rapport sur « l'évaluation de l'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact prévisible sur la géographie de la France à l'horizon 2050 et 2100 », Paris, Senat, Rapport d'information N° 224, 625 pages.

Depecker P., Menezo C., Virgone J., Lepers S., (2001), « Design of building shape and energetic consumption », Building and Environnement, volume 36, pages 627-635.

Despretz,H., (2005), « Critères et démarches de choix énergétique dans le bâtiment » Technique de l'ingénieur, , Editions T.I.

Dessus B., pharabod F., (2002), « L'énergie Solaire », Edition que sais je ?, Collection Encyclopédique, 128 pages.

Djouimaa A., (2008), « Réalisation et vérification de la performance thermique d'une tour à vent pour un rafraichissement passif dans les régions chaudes et arides. Cas de Hassi Messaoud », memoire de Magister, Université Mentouri de Constantine.

DGEMP, (2002), « Chiffres clés ; L'énergie », Observatoire de l'Energie, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Edition 2002.

DGEMP, (2003), « L'Energie en France- Repères », Observatoire de l'Energie, Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie, Edition 2003.

DGTPE, (2006), « Le secteur de l'électricité en Algérie », Fiche de synthèse, missions économiques, ambassade d e France en Algérie - mission économique, [http://www.neal-dz.com]

Diemer A., (2009), « développement soutenable ou développement durable ? état des lieux », Formation continue, SES, 20 mai 2009, IUFM Auvergne, Clermont Ferrand

Direction de l'urbanisme et de la construction de Tizi-Ouzou, (1982), Plans des étages d'un bloc de la wilaya montrant la répartition des espaces intérieurs (echelle 1/275)

Djouimaa A., (2008), « réalisation et vérification de la performance thermique d'une tour à vent pour un rafraichissement passif dans les régions chaudes et arides. Cas de Hassi

Messaoud », Mémoire de magistère, Option Bioclimatique, Faculté des Sciences de la Terre de Géographie et de l'Aménagement de Territoire Département d'Architecture et d'Urbanisme, Université Mentouri de Constantine

Dourgnon J., Chauvel P., Kokka L. (1961), « Déterminations graphiques et mécaniques de l'ensoleillement », Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Vol. 407, n° 51, 33 pages.

Dubois A. et Dubois P., (2008), « Repère Pour une énergie durable », collection AREE , Imprimé à Wambrechies (Nord), 70 pages.

Emberger L., (1942), « Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique ». Bull Soc Hist Nat Toulouse.

Emberger L. (1955), « Une classification biogéographique des climats ». Trav Lab Bot Zool Fac Sci Serv Bot Montpellier.

Esquisses, (2003), le bulletin d'information de l'ordre des architectes du Québec, Volume 14, numéro 2.

Falgari J., Chabert F., (2004), « L'inertie thermique », Mémoire de fin de stage HQE, Lyon.

Fanger P.O., (1967), « Calculation of thermal comfort: Introduction of a basic comfort equation ». ASHRAE, Transactions, 73, II: III.4.1-III.4.20.

S.Olesen, J.J.Bassing, P.O.Fanger: Physiological comfort conditions at sixteen combinations of activity, clothing, air velocity and ambient temperature. ASHRAE Trans., 78, 2, 1972, pp.199-206.

Fanger P.O., (1973), « Thermal comfort», Mac Graw- Hill Book company, New York.

Fanger P.O, (1982), «Thermal comfort». Robert E. Kreiger publishing company. Malabar Florida.

Fischer G. N. (1997), «L'évaluation des environnements de travail : approche théorique et méthodes », in revue de « Psychologie Française », n° 42-2, France

Fischer G. N. Vischer J., (1997), «L'évaluation des environnements de travail : la méthode diagnostique »,collection Management, Ed de Boeck université, Montréal.

Folch R., (1999), « Mediterrània: territori i paisatge. Atles Ambiental de la Mediterrània. (Méditerranée : territoire et paysage. Atlas environnemental de la Méditerranée », Institut Català de la Mediterrània, Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelone.

Gallo C., Sala M., et al , (1998), « Architecture :comfort and energy », Elsevier, Amsterdam, 234 pages.

Garde F., (2001), « Validation de codes de simulation thermo-aéraulique du complexe bâtiment/systèmes de climatisation, Application à la conception thermique des bâtiments », Habilitation à diriger des recherches, Université de la réunion.

Germano M., (2006), « Qualitative Modelling Of The Natural Ventilation Potential In Urban Context », thèse de doctorat, Faculté Environnement Naturel, Architectural et Construit, Laboratoire d'énergie solaire et physique du bâtiment, Section D'architecture, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne .

Ghaemmaghami P., Mahmoudi M., (2005), « Wind tower a natural cooling system in Iranian traditional architecture. » International Conference « Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment », May 2005, Santorini, Greece.

GIEC, (2007), 4ème rapport du Groupe intergouvernementale d'expert sur « l'évolution du climat ».

Givoni B., (1972), « Effect of high rise buildings on air flow around them », Research report, Technion Research and Development Foundation, Technion, Israel Institute of Technology.

Givoni B., (1978), « L'homme, l'architecture et le climat », Ed. du Moniteur, Paris, 460 pages.

Gouv, (2005), « lutte contre le changement climatique », Séminaire gouvernemental sur le développement durable, Gouvernement Français.

Gratia E., De Herde A., (2006), « Thermique des immeubles de bureaux », UCL, Presses universitaires de Louvain, 319 pages.

Grundström K., Johansson E., Mraissi M., Ouahrani D., (2003), « Climat & Urbanisme, La relation entre le confort thermique et la forme du cadre bâti » , Lund University, Housing en Development & Management (HDM) et Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (LPEE)- Edité à HDM ,Suède- Imprimé à Combi-Grafik, Lund , Suède.

Guimont P., (2002), « Méthode d'évaluation de la climatisation passive par l'usage de la masse thermique et de la ventilation nocturne dans les immeubles administratifs au Québec ». Mémoire, Université Laval, Québec.

Hamouda R., (1999), « Les Energies Renouvelables en Algérie réalités & perspectives », Ministère De L'énergie Et Des Mines.

Havenith G, Coenen JML, Kistemaker L, Kenney WL (1998), « Relevance of individual characteristics for human heat stress response is dependent on exercise intensity and climate type ». European journal of applied physiology and occupational physiology, Vol.77, No.3

Hérant P., (2004), « Efficacité énergétique des bâtiments. Les nouveaux défis ». La lettre de l'Ademe n°97. Juin-juillet 2004.

Hollmuller P., Lachal B., Romério F., Weber W., (2003), « Habitat, Confort et Energie», Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003, Centre Universitaire d'Etude des problèmes de l'énergie, Université de Genève.

Hugel B., (2002), « Lutte contre les Changements Climatiques – Enjeux et initiatives d'acteurs Français » Guides pour un développement durable- ADEM et Gaz de France - édition du Comité français pour l'environnement et le développement durable, 161 pages.

Hyde R., (2008), « Bioclimatic Housing- Innovative Designs For Warm Climates», Earthscan in the UK and USA , 440 pages

IEPF, (2007), « Changement climatique : Vers l'après 2012 » institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie (IEPF) et Organisation internationale de la francophonie, Revue trimestrielle « Liaison liaison énergie-francophonie», Numéro 75, 2eme trimestre 2007, Édition : Communications Science-Impact.

IEPF, (1999), « La maitrise de l'énergie », Revue trimestrielle « Liaison énergie-francophonie», l'institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie (IEPF) et Organisation internationale de la francophonie, Numéro 42, Édition : Communications Science-Impact.

Internatinal Energy Agency, (2008), «Key World energy Statistics», OECD/IEA, STEDI MEDIA, France, 78 pages.

Izard J.L., (1993), « Architectures d'été; construire pour le confort d'été » ; EDISUD, Aix-en-Provence.

Izard J.L., Guyot A., (1979), «Archi bio» - «Building climatic performance in arid zones», Editions Parenthèses, Marseille.

Jannot Y., (2003), « Thermique solaire », Cours et Exercices, Octobre 2003. Chapitre: l'énergie solaire, Facteurs de forme géométrique de rayonnement.

Joint Research center commission of the European communities, (1994), « Passive solar architecture for mediterranean area», Cette brochure a été réalisée dans le cadre du contrat européen THERMIE « MEDBUILD» Integration of renewable energies in the Mediterranean building".

Jederzejuk H. & Marks W., (2002), «Optimization of shape and functional structure of buildings as well at heat source utilization. Basic theory », Building and Environment, volume 37, issue 12, pages 1379-1383.

Jollivet M., (2001) « Le développement durable, de l'utopie au concept », de nouveaux chantiers pour la recherche, Nature ,science, Sociétés, éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS, 288 page.

Jorck U., (2007) « La maison passive en climat méditerranéen », mémoire de fin de stage , école d'architecture de Lyon, formation HQE.

Khalfan M.M.A., (2002) «Sustainable Construction» ,A literature review for C-SanD., Loughborough University, 45 pages.

Khelifi L., (2006), « Contribution méthodologique à la conception bioclimatique en architecture, Développement de modèles génériques », Mémoire de magister, option : Architecture et environnement, EPAU.

Labeyrie J., (1985) « L'homme et le climat », Nouvelle édition Sciences, Denoël.

Laponche B. (2002), « Les mots pour le dire : de l'économie à l'intelligence », Les cahiers de Global Chance, n° 16, « maîtrise de l'énergie et développement durable », novembre

Laurent M.H. et Salaün G., (2004) « La demande mondiale d'énergie sur le long terme », Revue 3EI, n°36, mars 2004.

la référence LESO (2006), Renewable Energy Seminars, Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

Lavigne P., (1994) « architecture climatique-une contribution au développement durable », Tome 1 : Bases physiques, EDISUD, 191 pages.

Lavigne P., (1998) « La perméabilité au soleil des enveloppes d'édifices. Un concept pour juger de leur qualité de confort d'été » - conférence EPIC'98 - Lyon 19-21 novembre 1998.

Lièbard A., de Herde A., (2005) « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques - Edifier et aménager avec le développement durable », Edition le Moniteur, 778 pages.

Liétard A. et al, (1996) « Guide de l'architecture bioclimatique –Connaître les bases et Construire avec le climat », Programme ALTENER, Comité d'action pour le solaire, Presses des Imprimeries de Champagne, Chaumont.

Lloyd J. D., (1998) «Architecture and the Environment, Bioclimatic Building Design», The Overlook Press, new-York.

Maouedj R., (2006) « Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcenet de Bouzareah », Mémoire De Magister, Physique Energétique et Matériaux, Université Abou Bekr Belkaïd.

Filfli, S., (2006), « Optimisation Bâtiment/Système Pour Minimiser Les Consommations Dues A La Climatisation », Thèse de doctorat EMP. Décembre 2006.

Mazria E., Bazan P., (2005), « Le guide de la maison solaire », Parenthèses, 40 pages.

Mazria E., (1979), « Le guide de l'énergie solaire passive », collection habitat/ressources, Edition parenthèse, 339 pages.

Mejdoub S., (2001), « Simulation et optimisation des paramètres phot solaire », thèse de Magister, Université de Tlemcen.

Mémento technique du bâtiment, (2003), « Façades », Centre d'étude sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, ministère de l'équipement-des transports- du logement-du tourisme et de la mer, 35 pages.

Mendez C., (2005), « La ventilation naturelle – un élément de confort en région méridionale », Memoire de fin de stage HQE, Lyon.

Meuri L., (1998), « La consommation d'énergie dans le monde », Annales des mines, Faits et chiffres en France, observatoire de l'énergie, DGEMP, Secrétariat d'état à l'industrie.

Mezred M., (1997), « une approche du zonage climatique de l'Algérie pour l'étude du Comportement thermique des constructions », actes des journées nationales sur les applications des énergies solaires, Université de Batna, 10 et 11 mai 1997.

Microsoft –Encarta , (2007)Microsoft -Encarta - 2007. - 1993-2006 Microsoft Corporation.

Milan Z., (1993), « Recommandations architecturales », auteur du chapitre « Les risques naturels », ENAG Editions, Alger.

Millanvoye M., (2003), Cours d'Ergonomie, Cnam Paris, Cours B1

Ministère, (2001) « Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques », Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Direction générale de l'environnement, Projet national ALG/98/G31, communication nationale initiale.

Ministere, (2006) «Living in Deserts: Is a sustainable urban design still possible in arid and hot regions? »Ghardaïa, Algeria, 9-12 December 2006.

Ministère de l'Energie et des Mines, (2007), « Guide des Energies Renouvelables » Ministère de l'Energie et des Mines, Direction des Énergies Nouvelles et Renouvelables, Édition 2007.

Moreau,A. et al., (1994), Assessment of the impact of internal heat gains on the thermal loads in the résidential sector, Canadian Electrical association, 19 pages.

Moujalled B., (2007), « modélisation dynamique du confort thermique des bâtiments naturellement ventilés », thèse de doctorat, Institut des sciences appliquées de Lyon- Génie civile.

Mouloudj D., Samah S., Bagdadi F., (2002), « Etude de la climatisation du bâtiment administratif de la S.N.V.I (C.V.I) de Rouiba, Alger », Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie mécanique- option énergétique Université mouloud mammeri de Tizi-Ouzou.

Multon B., (1998) « L'énergie sur la terre : analyse des ressources et de la consommation. La place de l'énergie électrique. », Revue 3E.I n°13.

Nourissier G., Reguant,J., Casanovas,X., Grazc., (2002), « Architecture traditionnelle méditerranéenne », École d'Avignon, Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, École des arts et métiers traditionnels de Tétouan. Barcelone.

OCDE, (1999), «Énergie : Les cinquante prochaines années », Organisation de Coopération et de Développement Economiques, Les éditions de l'OCDE , Paris, France, 185 pages.

Oliva,J.P., (2001), « L'isolation écologique : conception, matériaux, mise en œuvre », Ed. terre vivante, Mens.

Olgyay V., (1952), «Bioclimatic Approach to Architecture Procceding of housing and building in Hot-Humid and Hot-Dry Climates», Building Research Advisory Board, NRC-NSFnBRAB Conference N°.5, Washington, November 1952.

Olgyay V., (1963), «Design with Climate. Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism», Princeton University Press, Princeton, N.J.

Orselli J., (2005), «Recherche et développement sur les économies d'énergie et les substitutions entre énergies dans les bâtiments », Conseil Général des Ponts et Chaussée.

Ourghi R, Al-Anzi, A, Krarti, M., (2007), «A simplified analysis method to predict the impact of shape on annual energy use for office buildings», Energy Conversion and Management, volume 48, pages 300-305.

Pacetta B., (2007), «Confort d'été», mémoire de fin de formation longue, HQE à l'ENSAL.

Persson M.L., Roosa, A., Wall,M., (2006), «Influence of window size on the energy balance of low energy houses», Energy and buildings, volume 38, issue 3, pages 181-188.

Plan Bleu, (2008) (1) «Changement climatique et énergie en Méditerranée », Centre d'Activités Régionales, Sophia Antipolis, Alpes Maritimes, France.

Plan Bleu, (2008) (2) «Les perspectives du Plan Bleu sur le développement durable en Méditerranée », Centre d'Activités Régionales, Sophia Antipolis, Alpes Maritimes, France.

Plan climat, (2004), Maine Climate Action Plan, «Actions climatiques afin d'économies potentiels de carbone », Maine Department of environmental protection (DEP), Maine.

Planton S., (1998), «Modélisation climatique et environnement », Conférence, Météo France, Centre National de Recherches Météorologiques de Toulouse-

Potvin A., Demers C. , (2003), Research, Practice and Teaching groupe de recherche en ambiances physiques- Ecole d'architecture, université Laval, Canada.

Rabourdin S., (2007) En écho au documentaire "Peuples indigènes, environnement et humanités durables".

Rosenlund H., (2000), «Climatic design of buildings using passive techniques» Volume 10, Number 1, Building Issues 2000.

Roulet C. A., (1987), «Energétique du bâtiment », Tome 1 : «Prestations du bâtiment, bilan énergétique global », Collection gérer l'environnement, Edition : Presses polytechniques Romandes, 126 pages.

Roulet C. A., (1987), «Energétique du bâtiment »Tome 2 : «Intéraction entre le climat et le bâtiment », Collection gérer l'environnement, Edition : Presses polytechniques Romandes, 126 pages.

Roulet C.A., (2004), «Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments », presses polytechniques, 358 pages.

Roux J.J., Noël,J., (2004), CoDyBa Manuel d'utilisateur, Rev.1.00/Nov. 2004.

Safer N., (2006), « Modélisation des Façades de Type Double-Peau Equipées de Protections Solaires : Approches Multi-Echelles », Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, Centre de Thermique de Lyon.

Salem T., (2007), « Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie », thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

Sidler O., (1996), « Architecture climatique et respect des équilibres financiers en logement social », Communication au séminaire « Architecture climatique », ADIL du Doubs - 23 et 24 mai 1996.

Sidler O., (1998), « Logements à faibles besoins en énergie. » Guide de recommandation et d'aide à la conception, ADEM, Conseil Général de Savoie, 124 pages.

Sidler O., (2003), « L'inertie thermique en climat méditerranéen. Confort et consommation d'énergie », « L'apport des campagnes de mesure », Colloque du 15 Mai 2003, Montpellier.

Shobhakar D., (2005), « Comment infléchir les émissions de CO2 dans quatre mégapoles d'Asie » in La Revue Durable, « Vivre ensemble en mégapole », n° 14.

Stambouli A.B., (2005), « Perspective of renewable energy in Algeria », Second International Conference: « complex solution of energy and ecology problems of enterprises and municipalities », Mai 2005. Big Yalta City, Ukraine.

TAREB, (2004), « énergie, confort et bâtiment » « Ventilation naturelle, Intégration Architecturale, Chauffage et Climatisation et Integration des Energies Renouvelables dans les Bâtiments. », modules spécialisés sélectionnés du Master européen, London Metropolitan University 2004

UNCHS, (1973), « Climate and house design-Design of low-cost housing », United Nation publication, New York.

Van Nostrand R., (1994), « Climate Considerations in Building and Urban Design ».

Vogt & Metz in Scherrer J., (1981) « Ambiances thermiques », Précis de Physiologie du Travail – Notions d'Ergonomie, ed Masson .

Wallis V., (2000), « Humanity and Nature from Marx to Shiva », Organisation & Environment, , Species Questions (Gattungsfragen):, Organization Environment, , Vol. 13, No. 4, 507 pages.

Weckstein, M., Salagnac, J.L., (2006) « Changement climatique : un double défi pour le bâtiment », Revue Géosciences, N° 3, mars 2006.

Working Group 1, (2007), « Climate change Impacts, Adaptation and Vulnerability », rapport

Working Group II, (2007) « Climate change Impacts, The physical Science Basis », rapport

Les sites WEB

<http://developpementdurable.revues.org> – Revue Développement Durable et Territoires

<http://www.agenda21france.org> – Site portail des démarches Agenda 21 en France

<http://www.association4d.org> – Association de dossiers et débats sur le développement durable (4D)

<http://www.comite21.org> – Comité français du développement durable

<http://www.dd-pratiques.org> – Observatoire national des Agendas 21 locaux et des pratiques territoriales de développement durable

<http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/agenda21/textes/aal-borg.htm> – Site du MEDAD

<http://www.rare.asso.fr> – Réseau des agences régionales de l'énergie et de l'environnement

<http://www.iisbe.org/iisbe/start/iisbe.htm>

<http://www.sbis.info/>

<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/methodE.htm>

<http://onerc.gouv.fr>

<http://www-climat.arch.ucl.ac.be/pleiade/conclusions-pleiade.pdf>

www.anah.fr

[http://www.medenec.com/fr/event_detail.aspx?eventid=85\]](http://www.medenec.com/fr/event_detail.aspx?eventid=85)

http://www.med-enec.com/en/pilot_preferred.aspx

<http://www.euromedinfo.eu/uploads/File/Success%>

<http://www.euromedinfo.eu>

www.climats.ch

http://www.helioclim.net/sun/AppletSolar_fr.html

<http://iamest.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Figure 1 :	Structure du mémoire	9
Figure 2 :	Le bilan radiatif et sa perturbation anthropique. Estimation de l'impact de l'effet de serre et l'effet parasol sur le bilan énergétique de la terre. Source : (CNES, 2006)	13
Figure 3 :	Les gaz à effet de serre naturels Source : (Agence internationale de l'énergie, 2000)	13
Figure 4 :	Emissions historiques de dioxyde de carbone (millions de T) liées à l'utilisation d'énergie de 1850 à 2005, Source : Calculs Plan Bleu d'après les données WRI CAIT et autres sources	14
Figure 5 :	Emission de dioxyde de carbone (CO ₂) imputable au secteur énergétique Source : (Argiri M. 2006)	18
Figure 6 :	Répartition des dépenses d'énergie primaire selon la source Source : (Agence internationale de l'énergie, 2000)	20
Figure 7 :	consommation d'énergie primaire en Afrique et en Algérie. Source : (Stambouli, A.B., 2006).....	21
Figure 8 :	Monde : Energie finale par secteur (2004). Source : (AIE, 2005)	21
Figure 9 :	Evolution de la population humaine sur la terre. Source : (Laurent,M.H. et Salaün, G,2004).....	23
Figure 10 :	Evolution de la puissance moyenne des activités énergétiques humaines. Source : (Laurent,M.H. et Salaün, G,2004)	23
Figure 11 :	Grandes dates du développement durable. Source : (Brodagh, C.,2004)	25
Figure 12 :	Modèle de Jacobs et Sadler datant de 1990. Source : (ARPE, 2001)	26
Figure 13 :	Schéma du développement durable. Source : (Bourg, D.Rayssac,G.L., 2006)	27
Figure 14 :	Schéma représentant les piliers du développement durable. Source : (Diemer, A., 2009)	29
Figure 15 :	Temps passé à l'intérieur d'un bâtiment. Source : Observatoire de la qualité de l'air intérieur CSTB	31
Figure 16 :	Présentation de la démarche HQE et des 14 (Association "H.Q.E") Source : (Cherqui,F., 2005)	34
Figure 17 :	Zones climatiques de l'Algérie. Source : (Mezred,M., 1997)	40
Figure 18 :	Ce que reçoit la terre du soleil. Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique	42
Figure 19 :	Spectre du rayonnement solaire. Source : (Bernard,R., Menguy, G., Schwartz, M., 1980).....	42
Figure 20 :	mouvement de la terre autour du soleil Source : (Dourgnon J., Chauvel P., Kokka L. 1961).....	44
Figure 21 :	Repérage d'un site sur la surface terrestre Source : (Benyarou,F., 2002).....	45
Figure 22 :	La direction du soleil (S) repéré en coordonnées équatoriales et en coordonnées horizontales en un lieu donné de latitude ϕ . Source : (Bouazza,S., Bouchnafa, H., 2000)	45
Figure 23 :	Azimut α et Hauteur h du soleil Source : (jannot,Y., 2003)	47
Figure 24 :	course du soleil pendant la journée du 1/1 /2008	48
Figure 25 :	course du soleil pendant la journée du 1/8 /2008	48
Figure 26 :	projection stéréographique des trajectoires solaires 36 42N (Tizi-ouzou) Position du soleil le 20 Décembre à 12 :00 h	49

Figure 27 :	projection stéréographique des trajectoires solaires 36 42N (Tizi-ouzou) Position du soleil le 20 Août à 12 :00 h	49
Figure 28 :	Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre Source : (jannot,Y., 2003).....	50
Figure 29:	spectre du rayonnement atmosphérique Source : (jannot,Y., 2003).....	51
Figure 30 :	Irradiation globale incidente pour Tizi-Ouzou, turbidité de linke Source: http://iamest.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php	52
Figure 31 :	Variation du rayonnement direct normal avec la hauteur du soleil Source: "Que sais-je?" <i>l'énergie solaire</i>	53
Figure 32:	Irradiation globale incidente pour Tizi-Ouzou à 0° Source: http://iamest.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php	55
Figure 33:	Variation d'éclairement journalière moyenne sur les faces d'un bâtiment àTizi-Ouzou Source: http://iamest.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php	56
Figure 34:	Définition de la période de chauffe pour la période de 1996 à 2005 à Tizi-Ouzou ..	58
Figure 35 :	Gradient de vitesse du vent pour diverses topographies Source : (Orselli,J., 2005)	60
Figure 36:	Exemple de distribution de Cp sur un bâtiment Source : (TAREB, 2004).....	63
Figure 37 :	Exemple d'évolution quotidienne de l'humidité relative en janvier et Juillet Source : (Labeyrie,J., 1985)	64
Figure 38 :	température et précipitations moyennes de Tizi-Ouzou Source : ONM	65
Figure 39:	Les pertes thermiques du corps humain dépendent de 6 facteurs physiques Source : (Lièbard A., de Herde A., 2005).....	69
Figure 40:	L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement Source : Moujalled B., (2007).....	71
Figure 41:	Température de confort pour différentes activités pour une tenue d'hivers (pantalon, chemise, pull à manches longues chaussettes épaisses, et chaussures), une vitesse de l'air de 0,4 m/s et une humidité relative de 50 % (d'après O.Fanger) Source : (Lièbard,A., Herde.A., 2005)	75
Figure 42:	La température de confort dépend de la température de l'air et de la température des parois	76
Figure 43 :	Plage de confort pour une activité de bureau Source : (Lièbard,A., Herde.A., 2005)	77
Figure 44 :	Variabilité de la vitesse de l'air à l'intérieur des bâtiments Source : Repris du polycopié d'Ergonomie. Cours B. 1973. Wisner.A.Cramed.	77
Figure 45:	Le diagramme psychométrique de la ville de Tunis Source : Traité de l'architecture et de l'urbanisme bioclimatique	79
Figure 46 :	Evolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, sans effet des installations techniques (chauffage ou climatisation). Source : Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments	84
Figure 47 :	Climatiseurs individuels de moins de 17.5 KW en France Source : (CENERG, 2006)	88
Figure 48:	Taux de croissance moyen annuel des parcs et consommations par branches du secteur tertiaire entre 1986 et 2001. Source : CEREN-Climat normal	88
Figure 49 :	Evolution des parcs et consommation du secteur tertiaire en France Source : CEREN-Climat normal	89
Figure 50 :	Répartition de la consommation du tertiaire par type d'énergie Source : (APRUE, 2007)	90
Figure 51:	La climatisation simple ou réversible Source : Schéma SANYO publié par HEYLEN V.S. sa	94
Figure 52 :	Représentation schématique des services liés à l'énergie Source : Energy efficiency programmes and services in the liberalised EU energy markets : good practice and supporting policy- Background document, Wuppertal Institute, 2003	100
Figure 53:	La plus ancienne casbah en terre battue de la vallée de Draa au Maroc (photo A .Sbai) Source : (Roulet, C.A., 2004)	109

Figure 54:	Mosquée souterraine au m'zab (à gauche) et Ancienne maison d'arrêt à Ait El Kaid en Kabylie (à droite) Source : personnelle.....	110
Figure 55 :	Interdisciplinarité de l'approche bioclimatique Source : (Olgyay,V., 1963)	112
Figure 56 :	Concepts de la stratégie du chaud Source : Architecture et climat	115
Figure 57 :	Concepts de la stratégie du froid Source : Architecture et climat	116
Figure 58:	Concepts de la stratégie de l'éclairage naturel Source : Architecture et climat	117
Figure 59:	Un exemple de relation entre l'inertie, la ventilation et la protection solaire Source : (Izard, J.L., 1993)	118
Figure 60:	Exposition de la façade sud Source : (CDER, 2003)	119
Figure 61:	Protection aux vents par des aménagements extérieurs Source: (Joint Research center commission of the European communities, 1994)	119
Figure 62 :	Bureaux à Avignon- Faible inertie- Température et insolation en Juin (En l'absence de climatisation) Source : (Sidler O., 2003).....	121
Figure 63 :	Coupes de principe montrant diverses possibilités d'implantation d'un bâtiment pour tirer partie de l'hyper-inertie du sol Source : (Courgey,S., Oliva,J.P., 2006)	123
Figure 64:	Comparaison de différents types de vitrage Source : (Courgey,S., Oliva,J.P., 2006)	124
Figure 65 :	Choix du type de protection en fonction de l'orientation Source : (Jorck,U., 2007)	126
Figure 66:	Différents dispositifs de protections extérieures mobiles TAREB, (2004).....	127
Figure 67 :	Quelques exemples de protection extérieurs fixes Source : (ARENE, 1998).....	127
Figure 68:	Utilisation des stores intérieurs	128
Figure 69:	Facteur solaire d'un simple vitrage Source : (ARENE, 1998).....	129
Figure 70:	Ventilation traversante (l'abaissement de la température est fort) Source : (ARENE, 1999)	133
Figure 71:	Aération par tirage thermique Source : (Commission Européenne, 1999)	134
Figure 72:	fonctionnement de la tour à vent le jour et la nuit Source : Ghaemmaghami,P., Mahmoudi,M., (2005)	134
Figure 73:	le système de cheminée solaire Source : (Azami, 2005)	135
Figure 74:	Serre et ensoleillement Source : (Khelifi L., 2006).....	136
Figure 75:	Mur Trombe-Michel Source : Salem T., (2007).....	137
Figure 76:	Evolution de la température du local en hiver (à gauche) et en été (à droite) Source : (Bouguerra E.H., Bouyousfi B. et Retiel N., 1997).	137
Figure 77 :	Situation de la ville de Tizi-Ouzou , Source : www.expediamaps. com	143
Figure 78 :	Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GOUSSEN pour la ville de Tizi-Ouzou	145
Figure 79 :	Diagramme psychrométrique de Givoni sur dix ans (1995 à 2005) à Tizi-Ouzou	149
Figure 80 :	Recommandations de Mahoney , Source : (Djouimaa, A., 2008).....	155
Figure 81 :	Situation du bâtiment cas d'étude dans la ville de Tizi-Ouzou	156
Figure 82 :	Situation du bâtiment cas d'étude dans son contexte immédiat Source : Google earth et personnelle)	157
Figure 83 :	Plans des étages d'un bloc de la wilaya montrant la répartition des espaces intérieurs Source : (Direction de l'urbanisme et de la construction de Tizi-Ouzou)	158

Figure 84 :	Dispositif de contrôle du reflet (éblouissement et chaleur)	
	Source : personnelle	159
Figure 85 :	Equipements de confort d'été	
	Source : personnelle	159
Figure 86 :	Façade Nord comportant un nombre important de climatiseurs	
	Source : personnelle	159
Figure 87 :	Façade Sud comportant un nombre important de climatiseurs	
	Source : personnelle	160
Figure 88 :	Equipements de confort d'hiver	
	Source : personnelle	160
Figure 89 :	Equipements de bureautique (source d'apports internes)	
	Source : personnelle	161
Figure 90 :	Couloirs sombres, besoin d'éclairage artificiel toute la journée (source d'apports internes)	
	Source : personnelle	161
Figure 91 :	Thermomètre à bulbe humide et thermomètre à bulbe sec « Psychomètre »	165
Figure 92 :	Appréciation du confort par les hommes	170
Figure 93 :	Appréciation du confort par les hommes	170
Figure 94 :	Appréciation du confort	170
Figure 95 :	Facteurs d'inconfort en été	171
Figure 96 :	Facteurs d'inconfort en Hiver	172
Figure 97 :	Les différentes tendances pour améliorer le confort d'été	172
Figure 98 :	Répartition de l'utilisation des climatiseurs le jour et la nuit	173
Figure 99 :	Répartition de l'utilisation des climatiseurs par mois	174
Figure 100 :	Type de chauffage utilisé dans les bureaux	174
Figure 101 :	Variation des degrés jours pendant l'année 2005	175
Figure 102 :	Répartition de l'utilisation du chauffage par mois	175
Figure 103 :	Appréciation de la facture énergétique	176
Figure 104 :	Appréciation du confort par rapport à la facture énergétique	176
Figure 105 :	Sensibilité des personnes interrogées aux problèmes de l'environnement	177
Figure 106 :	Composition du mur extérieur	178
Figure 107 :	Variation de température de deux faces verticales opposées	
	Température prises le 18 août 2009	180
Figure 108 :	Relevé de températures sèches internes et externes durant la journée du 21 Août 2009	181
Figure 109 :	Variation des températures sèches internes et des températures humides internes pendant la journée du 21Août 2009	182
Figure 110 :	Variation des températures sèches internes et externes et des températures humides internes et externes pendant la journée du 21Août 2009	183
Figure 111 :	Caractéristiques de l'air humide sur le diagramme	185
Figure 112 :	Mesure de l'humidité relative à partir du diagramme psychométrique en connaissant la température sèche et la température humide	186
Figure 113 :	Représentation des caractéristiques de l'air à l'intérieur des bureaux du bâtiment cas d'étude sur le diagramme psychométrique, qui nous informe d'ailleurs que L'ambiance interne en été est inconfortable pendant toute la journée, ce qui nécessite pour améliorer le confort, l'installation d'équipements de rafraîchissement.	187
Figure 114 :	Variation de l'humidité relative interne et externe pendant la journée du 21Août 2009	188
Figure 115 :	Variation de l'humidité absolue interne et externe pendant la journée du 21Août 2009	190
Figure 116 :	Variation de la température sèche interne et externe pendant la journée du 15 Décembre 2009	192
Figure 117 :	Variation de l'humidité relative interne et externe pendant la journée du 15 Décembre 2009	193
Figure 118 :	Variation des températures sèches internes et externes et des températures humides internes et externes pendant la journée du 15 Décembre 2009	194
Figure 119 :	Variation de l'humidité absolue interne et externe pendant la journée du 15 Décembre 2009	195

Figure 120 : Représentation des caractéristiques de l'air à l'intérieur des bureaux du bâtiment cas d'étude sur le diagramme psychométrique, qui nous informe d'ailleurs que L'ambiance interne en hiver est inconfortable pendant toute la journée, ce qui nécessite pour améliorer le confort, l'installation d'équipements de chauffage.....	196
Figure 121 : Evolution du besoin en refroidissement par rapport gains internes selon l'inertie et l'isolation d'un bâtiment de bureaux Source : (Gratia, E., De Herde, A., 2006).....	202
Figure 122 : Estimation des apports internes : chaleur métabolique et équipement Source : (Lièbard, A., de Herde,A., 2005).....	202

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Emission de GES, population et PIB par région du monde (Année 2004-Total : 41,9 GT CO ₂ -eq). Source : d'après IPCC WG III Summary for policymakers-Mai 2007	14
Tableau 2 :	Évolution de 1971 à 2006 de l'approvisionnement en énergie primaire Source : (International Energy Agency, 2008)	24
Tableau 03 :	Fraction typique du rayonnement global subsistant après la traversée de différents types de nuages stratifiés	54
Tableau 04:	évaluation des degrés jours par mois pour la période de 1996 à 2005 à Tizi-Ouzou	58
Tableau 05 :	Chaleur métabolique selon différentes activités Source: ASHRAE 1997	71
Tableau 06 :	Valeur clo pour différents vêtements (y compris les chaussures) Source : ASHRAE 1997, Markus et Morris 1980	72
Tableau 07:	Valeurs de référence de température de l'air Source : (RGPT)	75
Tableau 08 :	échelle de sensation thermique Source : (Fanger,P.O., 1982)	78
Tableau 9:	Secteur tertiaire : Parcs et consommation énergétique finales 2001. Source : (ADEME, 2003)	87
Tableau 10:	Tertiaire : Consommations énergétiques finales par usages en 2001 Source : (CEREN-Climat normal)	88
Tableau 11:	Les équipements publics réalisés durant les dix dernières années (par secteur) Source : (Ministère de l'habitat, 2009)	89
Tableau 12:	Consommation d'énergie par branche d'activité. Source : CEREN-Climat normal	90
Tableau 13:	Réponses traditionnelles et actuelles pour qu'un bâtiment soit confortable Source : (ARENE Agence Régionale de l'Energie Provence-Alpes-Côte d'Azur, 1999)	112
Tableau 14:	principes utilisées dans la stratégie de froid Source : Architecture et climat	116
Tableau 15:	Caractéristiques thermiques de principaux matériaux de construction. Source : (ARENE, 1999)	122
Tableau 16:	différentes techniques d'utilisation de l'isolation extérieure Source : Anah	131
Tableau 17:	Influence d'une serre sur la consommation Source : Le moniteur, Guide des recommandations	136
Tableau 18:	Tableau récapitulatif des différents systèmes basse consommation Source : (COSTIC centre de Digne, 2004)	138
Tableau 19:	Durée d'insolation sur la ville de Tiz-Ouzou pour la période de 1996 à 2005 Source : ONM.....	144
Tableau 20 :	Valeur des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales de Tizi-Ouzou pour la période de 1996 à 2005	144
Tableau 21 :	Valeur des précipitations moyennes mensuelles de Tizi-Ouzou pour la période de 1996 à 2005	145
Tableau 22 :	Valeur de l'humidité moyenne mensuelle, minimale et maximale de Tizi-Ouzou pour la période de 1996 à 2005	146
Tableau 23 :	Vitesse moyenne mensuelle du vent en m/s de Tizi-Ouzou pour la période de 1996 à 2005	146
Tableau 24 :	Echelle de Beaufort. Source : Lavigne, 1994	147
Tableau 25 :	Températures maximales et minimales et humidités maximales et minimales de Tizi-Ouzou pour la période de 1996 à 2005, Source : ONM.....	148
Tableau 26 :	Tables de Mahoney.....	153
Tableau 27 :	Matériel utilisé lors de la campagne de mesure.....	166
Tableau 28 :	Température moyenne, Température de confort et degrés jours pour la ville de Tizi-Ouzou pendant la période de 1996 à 2005	174
Tableau 29 :	Températures des deux faces verticales opposées Prises le 18 août 2009	179
Tableau 30 :	Températures sèches internes (bureau non climatisé) et externes Prises le 21 août 2009...	181

Tableau 31 :	Température sèches et humides internes (bureau Sud non climatisé) pour la journée du 21 Août 2009	182
Tableau 32 :	Température sèches internes et externes ainsi que les températures humides internes et externes (bureau Sud non climatisé) Pour la journée du 21 Août 2009	183
Tableau 33 :	Valeur de l'humidité relative interne (bureau non climatisé) et externe Pour la journée du 21 Août 2009	188
Tableau 34 :	Valeur de l'humidité absolue interne (bureau Sud non climatisé) et externe Pour la journée du 21 Août 2009	189
Tableau 35 :	Valeur de la température sèche interne (bureau Sud non chauffé) et externe Pour la journée du 15 Décembre 2009	191
Tableau 36 :	Valeur de l'humidité relative interne (bureau Sud non chauffé) et externe Pour la journée du 15 Décembre 2009	192
Tableau 37 :	Température sèches internes (bureau Sud non chauffé) et externes ainsi que les températures humides internes et externes Pour la journée du 15 Décembre 2009	193
Tableau 38 :	Valeur de l'humidité absolue interne (bureau Sud non chauffé) et externe Pour la journée du 15 Décembre 2009	194
Tableau 39:	Niveau d'éclairement recommandé.....	199
Tableau 40:	Réduction des besoins de refroidissement selon le type de ventilation.....	206
Tableau 41:	débits de ventilation selon le type de local.....	207

ANNEXES

ANNEXE 1 : Climagramme d'Emberger pour la ville de Tizi-Ouzou

Quotient pluviothermique et étages bioclimatiques d'Emberger

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat.

Les limites de séparation entre les différents étages climatiques restent encore imprécises. Il est intéressant de signaler qu'il ne s'agit pas de lignes au sens géométrique du mot, mais plutôt de bandes de transition mixte. À ce titre, Emberger a bien précisé que, sur le diagramme, les limites ont été tracées là où le changement de la végétation a été observé. (Emberger L. 1955). Le quotient d'Emberger est spécifique du climat méditerranéen, il est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord. Le quotient Q2 a été formulé de la façon suivante :

$$Q2 = [2000P / M^2 - m^2]$$

La valeur $(M + m)/2$ du fait de son expression en degrés Kelvin varie peu : Stewart [8] l'assimile à une constante $k = 3,43$, d'où le quotient

$$Q2 = 3,43 \times [P / M - m]$$

M et m s'expriment en degré Celsius, Emberger a mentionné qu'un climat ne peut être caractérisé si à la valeur de Q2 ne vient pas s'ajouter celle de « m ». (Bagnouls F, Gaussen H., 1953). Les stations météorologiques de même Q2 peuvent être différenciées par leurs valeurs de « m ». Le quotient Q2 nous a permis de localiser nos stations météorologiques sur le climagramme d'Emberger. Cet auteur a mis au point un zonage du bioclimat méditerranéen du plus sec vers le plus humide en combinant les données climatologiques et celles de la végétation.

On distingue le plus souvent les étages bioclimatiques saharien, aride, semi-aride, sub-humide et humide.

Emberger a borné chacun des étages bioclimatiques en sous-étages selon la valeur de « m » (Emberger L., 1942).

Ce diagramme permet donc de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude.

En abscisse la moyenne des minima du mois le plus froid;

En ordonnées le quotient pluviométrique (Q2) d'EMBERGER;

Nous avons utilisé la formule de STEWART (1969) adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit:

$$Q2 = 3,43 \times [P / M - m]$$

P: pluviométrie moyenne annuelle (en mm).

M: moyenne des maxima du mois le plus chaud.

m: moyenne des minima du mois le plus froid .

L'indice **Q2** calculé par cette formule pour Tizi-Ouzou est égal à

$$3,43 \times [757,23 / (35,67 - 6,5)] = \mathbf{89.04}.$$

Le climagramme considère qu'une région est d'autant plus sèche lorsque le quotient est plus petit.

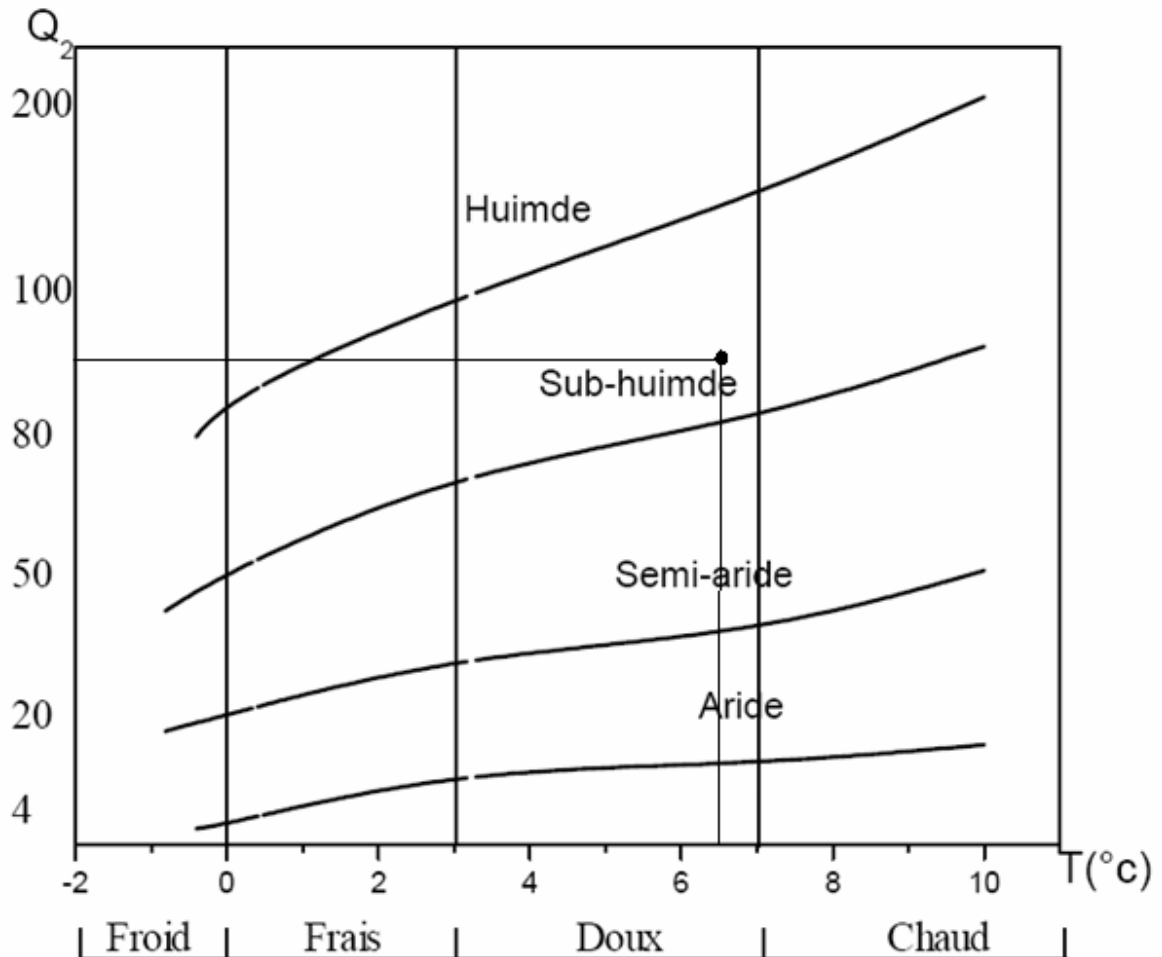


Figure : Climagramme d'Emberger pour la ville de Tizi-Ouzou

la ville de Tizi-Ouzou est donc située dans l'étage bioclimatique sub-humide à variante tempérée

ANNEXE 2 : Textes législatifs et réglementaire en Algérie en matière de rationalisation de l'utilisation de l'énergie

- **La loi 09-99 relative à la maîtrise d'énergie**
- **La loi 04-09 du 14 Août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable**

**Loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999
relative à la maîtrise de l'énergie, p.3.**

Le Président de la République,

Vu la Constitution, notamment ses articles 122 et 126;

Vu l'ordonnance n° 66-155 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code de procédure pénale;

Vu l'ordonnance n° 66-156 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code pénal;

Vu l'ordonnance n° 75-58 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code civil;

Vu l'ordonnance n° 75-59 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code de commerce;

Vu la loi n° 79-07 du 21 juillet 1979, modifiée et complétée, portant code des douanes;

Vu la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement;

Vu la loi n° 84-17 du 7 juillet 1984, modifiée et complétée, relative aux lois de finances;

Vu la loi n° 85-07 du 6 août 1985 relative à la production, au transport, à distribution d'énergie électrique et à la distribution publique du gaz;

Vu la loi n° 86-14 du 19 août 1986, modifiée et complétée, relative aux activités de prospection, de recherche, d'exploitation et de transport par canalisation des hydrocarbures;

Vu la loi n° 87-03 du 27 janvier 1987 relative à l'aménagement du territoire;

Vu la loi n° 87-09 du 10 février 1987 relative à l'organisation, la sécurité et la police de la circulation routière;

Vu la loi n° 88-17 du 10 mai 1988 portant orientation et organisation des transports terrestres;

Vu la loi n° 89-02 du 7 février 1989 relative aux règles générales de protection du consommateur;

Vu la loi n° 89-23 du 19 décembre 1989 relative à la normalisation;

Vu la loi n° 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme;

Vu le décret législatif n° 93-12 du 19 Rabie Ethani 1414 correspondant 5 octobre 1993 relatif à la promotion de l'investissement;

Vu le décret législatif n° 94-01 du 3 Chaâbane 1414 correspondant au 15 janvier 1994 relatif au système statistique;

Après adoption par le Parlement;

Promulgue la loi dont la teneur suit:

Article 1er. - La présente loi a pour objet de définir les conditions, les moyens d'encadrement et la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie.

**TITRE I
DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE
Chapitre I
Définitions**

Art. 2. - La maîtrise de l'énergie couvre l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie, du développement des énergies renouvelables et de la réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement.

Art. 3. - L'utilisation rationnelle de l'énergie couvre l'action d'optimisation de la consommation d'énergie aux différents niveaux de la production d'énergie, de la transformation d'énergie et de la consommation finale dans les secteurs de l'industrie, des transports, du tertiaire et du domestique,

Art. 4. - Le développement des énergies renouvelables, vise l'introduction et la promotion des filières de transformation des énergies renouvelables exploitables, notamment l'énergie solaire, la géothermie, (la biomasse), l'électricité hydraulique et l'énergie éolienne.

Art. 5. - La réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement consiste en la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des gaz d'échappement en milieu urbain.

Chapitre II Principes et objectifs

Art. 6. - La maîtrise de l'énergie vise à orienter la demande d'énergie vers une plus grande efficacité du système de consommation, à travers un modèle de consommation énergétique nationale, dans le cadre de la politique énergétique nationale.

Le modèle de consommation énergétique nationale, en tant que cadre de référence pour l'orientation et la gestion de la demande d'énergie, repose sur les options, énergétiques suivantes:

- l'utilisation prioritaire et maximale du gaz naturel, notamment pour les usages thermiques finaux;
- le développement de l'utilisation des gaz de pétrole liquéfiés (GPL), en complémentarité avec le gaz naturel;
- l'orientation de l'électricité vers ses usages spécifiques;
- la promotion des énergies renouvelables;
- la réduction progressive de la part des produits pétroliers dans le bilan de la consommation nationale d'énergie;
- la conservation de l'énergie, la substitution inter-énergies et les économies d'énergie au niveau de la production de l'énergie, de sa transformation et de son utilisation.

Art. 7. - La maîtrise de l'énergie est une activité d'utilité publique qui permet d'assurer et d'encourager le progrès technologique, l'amélioration de l'efficacité économique et de contribuer au développement durable, à travers notamment:

- la préservation et l'accroissement des ressources énergétiques nationales non renouvelables;
- la promotion de la recherche/développement, de l'innovation technique et la diffusion des technologies efficaces;
- l'amélioration du cadre de vie, la protection de l'environnement et la contribution à la recherche des meilleurs équilibres en matière d'aménagement du territoire;
- la réduction des besoins d'investissements dans le secteur de l'énergie;
- la satisfaction des besoins énergétiques nationaux;
- l'amélioration de la productivité nationale et la compétitivité des entreprises au niveau national et international.

TITRE I MODALITES DE CONCRETISATION DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE

Art. 8. - La mise en œuvre de la maîtrise de l'énergie repose notamment sur les obligations, les conditions et les moyens nécessaires suivants:

- l'introduction des normes et exigences d'efficacité énergétique;
- le contrôle d'efficacité énergétique;

- l'audit énergétique obligatoire et périodique;
- le programme national de maîtrise de l'énergie;
- la recherche/développement;
- le financement de la maîtrise de l'énergie;
- les mesures d'encouragement et d'incitation;
- la coordination des actions de maîtrise de l'énergie;
- l'amélioration de la connaissance du système énergétique;
- la sensibilisation des utilisateurs.

Chapitre I

Normes et exigences d'efficacité énergétique

Art. 9. - Des normes et exigences d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie, établies dans le cadre de réglementations spécifiques, régissent les constructions et bâtiments neufs ainsi que les appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers.

Section I

L'isolation thermique dans les bâtiments neufs

Art. 10. - Les normes d'isolation thermique dans les bâtiments neufs sont fixées par voie réglementaire.

Les normes d'isolation thermique sont des normes de construction et de rendement énergétique qui favorisent les économies d'énergie.

Art. 11. - La réglementation thermique dans les bâtiments neufs, s'appliquant à la conception et à la construction des bâtiments, 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.

Art. 12. - A titre transitoire, le caractère obligatoire de l'isolation thermique ne s'applique pas aux bâtiments individuels.

Les modalités d'application du présent article sont fixées par voie réglementaire.

Section 2

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

Art. 13. - Les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie, s'appliquant aux appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers, concernent tout appareil neuf vendu ou utilisé sur le territoire national.

Art. 14. - Les rendements énergétiques des appareils doivent être étiquetés sur les appareils et sur

leur emballage.

Art. 15. - La réglementation sur l'efficacité énergétique doit déterminer notamment:

- les catégories d'appareils et les normes relatives à leur rendement énergétique;
- la procédure de certification ou d'homologation des appareils;
- le système d'étiquetage des appareils, notamment la forme, le matériau, la dimension, la couleur, la façon d'apposer et la localisation des étiquettes ou des marques distinctives qu'ils doivent comporter.

Chapitre II

Contrôle d'efficacité énergétique

Art. 16. - Il est institué un contrôle d'efficacité énergétique qui permet de constater et de certifier la conformité aux normes relatives au rendement énergétique des équipements, matériels et appareils.

Art. 17. - Le contrôle d'efficacité énergétique est assuré par des organismes et/ou des laboratoires compétents, chargés de la certification et de l'homologation et agréés par les ministères concernés.

Art. 18. - Le contrôle d'efficacité énergétique s'applique, notamment, aux:

- bâtiments neufs, en vue de la certification de conformité avec les normes de rendement énergétique des bâtiments;
- appareils fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers raffinés, en vue de la certification de conformité avec les normes de rendement énergétique des appareils ainsi que le contrôle de la conformité de l'étiquetage des appareils;
- véhicules et engins à moteurs par inspection périodique, sur la base de normes établies à l'échelle nationale, en vue de s'assurer de leur fonctionnement dans des conditions conformes aux normes de rendement énergétique et normes de l'environnement.

Art. 19. - Les modalités d'organisation et d'exercice du contrôle d'efficacité énergétique sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre III

L'audit énergétique

Art. 20. - Il est institué un système d'audit énergétique obligatoire et périodique pour établir le suivi et le contrôle de la consommation d'énergie des établissements grands consommateurs d'énergie dans les secteurs de l'industrie, du transport et du tertiaire, en vue d'assurer l'optimisation énergétique de leur fonctionnement.

Art. 21. - L'audit énergétique comprend un ensemble d'investigations techniques et économiques, des contrôles de performances énergétiques des équipements et des procédés techniques, l'identification des causes de la surconsommation de l'énergie et la proposition d'un plan d'actions correctives.

Art. 22. - Les audits énergétiques sont effectués par les bureaux d'études et les experts agréés par le ministère chargé de l'énergie et sous son contrôle.

Art. 23. - Les seuils de consommation énergétique déterminant les critères d'assujettissement des établissements à l'audit, la périodicité de l'audit, les modalités d'exercice de l'audit énergétique et d'agrément des auditeurs sont fixés par voie réglementaire.

Chapitre IV

La sensibilisation des utilisateurs

Art. 24. - Des actions de formation, de perfectionnement technique et de démonstration, en direction des administrations, des collectivités territoriales et des établissements publics et privés, doivent être mises en œuvre pour promouvoir l'efficacité énergétique et les économies d'énergie. Ces actions et ces opérations sont définies dans le cadre du programme d'efficacité énergétique prévu dans le cadre de la présente loi.

Art. 25. - Des actions de sensibilisation, d'éducation et d'information en direction, notamment du grand public et du milieu scolaire, seront mises en œuvre en vue de vulgariser et de promouvoir la culture des économies d'énergie. Ces actions doivent être inscrites dans les programmes de l'éducation nationale, de communication et de publicité éducative, établis par l'Etat.

Chapitre V

Le programme national de maîtrise de l'énergie

Art. 26. - Le programme national pour la maîtrise de l'énergie regroupe l'ensemble des projets, des mesures et des actions dans les domaines suivants:

- l'économie d'énergie,
- l'économie inter-énergétique,
- 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/développement en efficacité énergétique.

Le programme national pour la maîtrise de l'énergie revêt un caractère pluriannuel.

Art. 27. - La tranche annuelle du programme national pour la maîtrise de l'énergie peut faire l'objet d'une révision et d'une consolidation par l'inscription de mesures, d'actions ou de projets d'efficacité énergétique jugés prioritaires.

Art. 28. - Les modalités d'élaboration du programme national pour la maîtrise de l'énergie sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre VI

Le financement de la maîtrise de l'énergie

Art. 29. - Un fonds national pour la maîtrise de l'énergie est institué pour le financement du programme national pour la maîtrise de l'énergie.

Art. 30. - Le fonds national pour la maîtrise de l'énergie est alimenté par:

- les taxes graduelles sur la consommation nationale d'énergie,

- les niveaux des taxes nécessaires à l'approvisionnement du fonds, fixés par la loi de finances, sont déterminés sur la base des besoins de financement de la tranche annuelle du programme national pour la maîtrise de l'énergie,
- les subventions de l'Etat,
- le produit des amendes prévues dans le cadre de la présente loi,
- des taxes sur les appareils énergivores.

Art. 31. - On entend par appareils énergivores, tout appareil fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers dont la consommation dépasse les normes spécifiques de consommation d'énergie fixées par la réglementation.

Art. 32. - Les modalités d'utilisation des produits du fonds seront fixées par voie réglementaire.

Chapitre VII

Les mesures d'incitation et d'encouragement

Art. 33. - Des avantages financiers, fiscaux et en matière de droits de douane peuvent être accordés pour les actions et les projets qui concourent à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à la promotion des énergies renouvelables.

En outre, ces actions et projets bénéficient des avantages prévus dans le cadre de la législation et la réglementation en matière de promotion des investissements et au bénéfice des activités déclarées prioritaires.

Art. 34. - Les conditions et les modalités d'accès à ces avantages sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre VIII

La connaissance du système énergétique national

Art. 35. - L'organisation, le développement, la gestion et la conservation des données statistiques sur l'énergie sont assurés par un organisme national compétent.

Les données statistiques sur l'énergie sont centralisées au sein de cet organisme afin d'assurer le traitement et la diffusion d'informations statistiques fiables pour parfaire la connaissance du système énergétique national et permettre:

- la maîtrise de la consommation énergétique nationale, notamment à l'aide des enquêtes de consommation de l'énergie;
- l'élaboration du bilan énergétique national;
- l'élaboration d'études prévisionnelles sur la demande d'énergie et l'évaluation des potentiels d'efficacité énergétique;
- la mise en œuvre, dans les meilleures conditions; des actions d'efficacité énergétique définies dans le cadre du programme national pour la maîtrise de l'énergie;
- l'évaluation périodique du développement de l'efficacité énergétique;
- l'évaluation périodique des performances de l'efficacité économique du système énergétique.

Art. 36. - Les modalités d'organisation, de la collecte, du traitement de la diffusion et de la conservation des données énergétiques sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre IX

La coordination des actions de maîtrise de l'énergie

Art. 37. - La mise en œuvre des mesures et des actions de maîtrise de l'énergie est confiée à un organisme national compétent au niveau central.

Art. 38. - L'opération de coordination technique peut être confiée à un ou plusieurs autres organismes.

Art. 39. - Compte tenu du caractère d'utilité publique de la maîtrise de l'énergie, le ou les organismes chargés de la maîtrise de l'énergie bénéficient:

- de subventions annuelles correspondant à des sujétions de service public définies dans le cadre du cahier des charges;
- des subventions en matière de fiscalité et de droits de douane pour l'acquisition d'équipements, d'instruments et autres moyens de travail nécessaires à la prise en charge de ces missions de service public.

TITRE III

CONTROLE ET SANCTIONS

Art. 40. - La non-conformité aux normes établies par la réglementation d'isolation thermique dans les bâtiments neufs expose les bénéficiaires des travaux aux mesures et sanctions prévues par la législation et la réglementation en vigueur en matière de construction et d'urbanisme.

Art. 41. - Les appareils neufs, vendus ou utilisés sur le territoire national, fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers, dont la consommation est excessive par rapport aux normes d'efficacité énergétique établies, sont soumis à une taxe fixée par la législation.

Art. 42. - Les appareils usagés et les véhicules à moteur usagés non conformes aux normes d'efficacité énergétiques sont interdits à l'importation.
Sont exclus, conformément aux lois en vigueur, les appareils et les véhicules à usage personnel importés par les particuliers.

Art. 43. - Toute infraction aux dispositions relatives à l'étiquetage des rendements énergétiques expose les contrevenants aux sanctions prévues par la législation et la réglementation en vigueur relatives à l'étiquetage.

Art. 44. - Le contrôle d'efficacité énergétique des véhicules à moteurs est régi par les dispositions législatives et réglementaires en vigueur en matière de contrôle technique et périodique des véhicules à moteurs et en matière de contrôle des émissions atmosphériques.

Art. 45. - Les établissements soumis à l'obligation de l'audit énergétique et qui ne s'y conforment pas dans un délai de six (6) mois, à compter de la date qui leur sera notifiée, sont passibles d'une amende équivalente au double du coût de l'audit.
Ces établissements restent soumis à l'obligation de l'audit et un bureau d'audit sera désigné obligatoirement pour réaliser l'audit auprès de l'établissement concerné.

Art. 46. - Les exploitants d'établissements, d'infrastructures ou d'équipements soumis au contrôle sont tenus de faciliter l'accès de leurs locaux et équipements aux agents mandatés à cet effet. En cas de refus, et après une mise en demeure, les exploitants s'exposent à une amende égale au montant de la facture énergétique annuelle déterminée sur la base du dernier exercice.

Art. 47. - Le non respect des dispositions prévues à l'article 33 de la présente loi relatif aux mesures d'incitation et d'encouragement entraîne la déchéance partielle ou totale des avantages octroyés.

Art. 48. - Les infractions aux dispositions de la présente loi sont constatées par des procès-verbaux, établis par des agents dûment mandatés, conformément aux procédures spécifiques qui sont fixées par voie réglementaire.

Art. 49. - Les procès-verbaux constatant les infractions sont adressés au procureur de la République, avec copie au ministère chargé de l'énergie.

Art. 50. - Toute infraction aux dispositions de la présente loi et des textes pris pour son application est réprimée conformément aux dispositions du code pénal.

Art. 51. - La présente loi sera publiée au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999.

Abdelaziz BOUTEFLIKA.

Loi n° 2004-09 du 27 Joumada Ethania 1425 correspondant au 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable, p. 8.

Le Président de la République,

Vu la Constitution, notamment ses articles 119, 120, 122 et 126;

Vu l'ordonnance n° 75-35 du 20 avril 1975 portant plan comptable national;

Vu l'ordonnance n° 75-59 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code de commerce;

Vu la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, modifiée et complétée, portant code des eaux;

Vu la loi n° 84-17 du 7 juillet 1984, modifiée et complétée, relative aux lois de finances;

Vu la loi n° 85-05 du 16 février 1985, modifiée et complétée, relative à la protection et la promotion de la santé;

Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990 relative à la commune;

Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990 relative à la wilaya;

Vu la loi n° 90-29 du 1er décembre 1990, modifiée et complétée, relative à l'aménagement et l'urbanisme;

Vu la loi n° 90-30 du 1er décembre 1990 portant loi domaniale;

Vu la loi n° 91-11 du 27 avril 1991 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique;

Vu le décret législatif n° 94-07 du 7 Dhou El Hidja 1414 correspondant au 18 mai 1994, modifié et complété, relatif aux conditions de la production architecturale et à l'exercice de la profession d'architecte;

Vu la loi n° 98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel;

Vu la loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet

1999 relative à la maîtrise de l'énergie;

Vu l'ordonnance n° 2001-03 du Aouel Joumada Ethania 1422 correspondant au 20 août 2001 relative à la promotion des investissements;

Vu la loi n° 2001-10 du 11 Rabie Ethani 1422 correspondant au 3 juillet 2001 portant loi minière;

Vu la loi n° 2001-18 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 portant loi d'orientation sur la promotion de la petite et moyenne entreprise;

Vu la loi n° 2001-20 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire;

Vu la loi n° 2002-01 du 21 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 5 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisation;

Vu la loi n° 2003-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable;

Après adoption par le Parlement,

Promulgue la loi dont la teneur suit:

Article 1er. - La présente loi a pour objet de fixer les modalités de promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.

Art. 2. - La promotion des énergies renouvelables a pour objectif:

- de protéger l'environnement, en favorisant le recours à des sources d'énergie non polluantes,
- de contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique en limitant les émissions de gaz à effet de serre,
- de participer à un développement durable par la préservation et la conservation des énergies fossiles,
 - de contribuer à la politique nationale d'aménagement du territoire par la valorisation des gisements d'énergies renouvelables, en généralisant leurs utilisations.

TITRE I

DE LA DEFINITION DES ENERGIES RENOUVELABLES

Art. 3. - Au sens de la présente loi, sont qualifiées d'énergies renouvelables:

- * les formes d'énergies électriques, mécaniques, 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.
- * l'ensemble des procédés permettant des économies d'énergies significatives par le recours à des techniques de construction relevant de l'architecture bioclimatique.

Art. 4. - Relèvent des dispositions de la présente loi et constituent son champs d'application, l'ensemble des procédés visant à convertir les énergies renouvelables de leur forme primaire à leur forme finale, notamment les filières suivantes de conversions.

* Energie du rayonnement solaire:

- conversion photovoltaïque.
- conversion thermique et thermodynamique.

* Energie de la biomasse:

- voies de conversions "humides", fermentation méthanique et alcoolique,
- voies de conversions "sèches", combustion, carbonisation, gazéification.

* Energie éolienne:

- conversion mécanique,
- conversion électromécanique.

* Energie géothermique:

- récupération sous forme de chaleur.

* Energie hydraulique:

- conversion électromécanique.

* les matériaux et les techniques relevant de l'architecture bioclimatique permettant de réaliser des économies effectives dans l'utilisation des énergies conventionnelles.

Art. 5. - La nomenclature des installations, des équipements, des matériaux, et des techniques architecturales éligibles à la qualification de procédés utilisés dans les énergies renouvelables est fixée par voie réglementaire en précisant pour chaque élément de la nomenclature, les objectifs de protection de l'environnement et de développement durable au titre desquels il y est inscrit.

TITRE II

DE LA PROMOTION DES ENERGIES RENOUVELABLES

Art. 6. - La promotion des énergies renouvelables est réalisée à travers:

- 1 - Un programme national de promotion des énergies renouvelables dans le cadre du

développement durable, dénommé ci-après "le programme national" et un bilan annuel de l'usage des énergies renouvelables dénommé ci-après "le bilan annuel".

2 - Des instruments de promotion des énergies renouvelables.

Art. 7. - Le programme national institué dans les dispositions de l'article 6 ci-dessus comprend l'ensemble des actions d'information, de formation ou de vulgarisation, ainsi que des incitations, à la recherche, à la production, au développement et à l'utilisation des énergies renouvelables en complément et/ou en substitution des énergies fossiles.

Chapitre I **Du programme national de promotion des énergies renouvelables** **dans le cadre du développement durable et du bilan** **annuel de l'usage des énergies renouvelables**

Art. 8. - Le programme national regroupe l'ensemble des actions de promotion des énergies renouvelables au sens de la présente loi.

Art. 9. - Le programme national est un programme quinquennal qui s'inscrit dans les projections d'aménagement du territoire et de développement durable à l'horizon 2020.

Art. 10. - Le programme national comporte un modèle de détermination des coûts qui intègre:

- * des mécanismes de détermination de coûts énergétiques de référence.
- * les éléments et mécanismes de détermination du coût environnemental des énergies en tenant compte et en évaluant les différentes atteintes à l'environnement et l'amélioration du cadre de vie induite par l'usage d'énergies renouvelables.
- * les paramètres de définition et de l'évolution des besoins, de la valorisation des produits liés aux énergies renouvelables, de leur impact sur la consommation nationale et sur l'exportation d'énergie.

Art. 11. - Le bilan annuel de l'usage des énergies renouvelables retrace l'ensemble des utilisations d'énergies renouvelables.

Art. 12. - Les modalités d'élaboration, le contenu, ainsi que les modalités et les conditions d'adoption et de la mise en œuvre suivants sont fixés par voie réglementaire:

- * les projections en matière d'énergies renouvelables à l'horizon 2020.
- * le programme de promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable dans sa dimension quinquennale,
- * la tranche annuelle du programme de promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable,
- * le modèle de détermination des coûts,
- * le bilan annuel des utilisations d'énergies renouvelables.

Chapitre II
Des instruments de promotion des énergies renouvelables

Art. 13. - Les instruments de promotion des énergies renouvelables sont constitués par un mécanisme de certification d'origine et par un système d'incitation à l'utilisation des énergies renouvelables.

Art. 14. - Le mécanisme de certification d'origine a pour objectif d'attester que l'énergie concernée a pour origine une source d'énergie renouvelable.
Les modalités de la certification d'origine et de l'usage de ces certificats sont fixées par voie réglementaire.

Art. 15. - Les actions de promotion de la recherche du développement et de l'utilisation des énergies renouvelables en complément et/ou en substitution aux énergies fossiles bénéficient d'incitations dont la nature et les montants sont fixés par la loi de finances.

Art. 16. - Sont fixées par voie réglementaire les conditions d'utilisation et de valorisation du biogaz produit à partir des déchets organiques urbains, ruraux, et industriels, ainsi que l'ensemble des énergies renouvelables produites selon les modalités fixées par les dispositions de la présente loi.

Art. 17. - Il est créé un organisme national chargé de la promotion et du développement de l'utilisation des énergies renouvelables dénommé: "observatoire national de promotion des énergies renouvelables".

Les missions, la composition et le fonctionnement de l'observatoire sont fixés par voie réglementaire.

Art. 18. - La présente loi sera publiée au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 27 Joumada Ethania 1425 correspondant au 14 août 2004.

Abdelaziz BOUTEFLIKA.

ANNEXE 3 : Exemple de conception bioclimatique dans le tertiaire

I- EXEMPLE DE CONCEPTION D'UN BÂTIMENT TERTIAIRE BIOCLIMATIQUE EN FRANCE

L'exemple que nous avons choisi de présenter est un projet bioclimatique qui a été inaugurée le 2 avril 2009.

En effet ce bâtiment de 32 mètres de haut répond à une conception bioclimatique à la pointe de la recherche. La tour Elithis est un nouveau symbole. Elle est faite pour encourager d'autres expériences. L'architecture du bâtiment permet son intégration au site environnant (présence notamment de l'Auditorium et du Palais des Congrès); elle renvoie à une enveloppe de bâti optimale par sa composition et sa forme.



Figure : Tour Elithis, Dijon, France
Compacité de la conception : 1 rez-de-chaussée + 9 étages + étage technique
Photos Arte Charpentier, Elithis Ingénierie

Installée en plein cœur de Dijon, dans la ZAC Clémenceau, la Tour **Elithis** d'une superficie de 5.000 m² sur 10 niveaux, sera le bâtiment à énergie positive le plus performant de France dans le domaine du tertiaire. Une prouesse technologique qui a été conçue, dès l'amont du projet, dans le souci de concilier l'efficacité énergétique aux exigences d'esthétique et de cohérence architecturales.

C'est un bâtiment à très haute efficacité énergétique, limitant fortement les déperditions et les apports énergétiques, utilisant principalement le concept bioclimatique. Respectueux de l'environnement et producteur d'énergie, il répond à une conception bioclimatique à la pointe de la recherche en matière d'énergie positive.

Il est caractérisé par :

- Une enveloppe équilibrée et isolée
- Un bouclier thermique qui ne nuit pas à la visibilité et à l'éclairage naturel.
- Un toit en panneaux photovoltaïques, producteurs d'électricité solaire pour couvrir une grande partie des besoins électriques du bâtiment (60 000 kWh/an).

- Un système favorisant l'optimisation de l'apport de lumière naturelle.
- Une ventilation et un rafraîchissement limités par la conception de la qualité thermique du bâtiment.
- Une production de chaleur et de froid reposant sur un système thermodynamique associé à une source de chaleur fonctionnant avec une énergie renouvelable (chaudière bois à granulés) et un système de refroidissement adiabatique.
- Un système de récupération des eaux de pluie en toiture pour alimenter les sanitaires des bureaux.
- Un totem affichant l'économie réalisée en tonnes de CO2 pour valider et corriger les modèles.

VIII-1- Utilisation de matériaux respectueux de l'environnement

La structure du bâtiment sera de type poteaux-poutres mixte bois / acier pour limiter l'utilisation de béton. Le remplissage de cette structure sera réalisé par des panneaux isolants à base de fibres de bois (de ouate de cellulose¹). Le parement sera réalisé par une tôle d'aluminium à l'extérieur. Les menuiseries extérieures seront composées d'un double vitrage argon à isolation thermique renforcé avec un faible facteur solaire, les ouvrants sont limités au désenfumage naturel. Mur rideau en bois sur 25m de hauteur au périmètre de la Tour (vitrée à 75%).



Figure : Structure poteaux-poutres mixte bois / acier, parement en tôle d'aluminium à l'extérieur
Photos : François Lombard



Figure : menuiseries extérieures seront composées d'un double vitrage argon à isolation thermique
Photos : François Lombard

¹ Polysaccharide formé de nombreuses molécules de glucose unies par des liaisons glycosidiques b-1,4, c'est une fibre alimentaire faisant partie de la structure des végétaux

VIII-2- Utilisation des ressources gratuites de la nature et des activités abritées par le bâtiment:

Un système "triple flux", breveté par Elithis, permet d'économiser de l'énergie en récupérant celle émise par les équipements bureautiques (les ordinateurs, photocopieurs, luminaires, mais aussi les utilisateurs du bâtiment émettent de la chaleur c'est-à-dire de l'énergie) et d'utiliser les ressources de la nature.

De l'énergie est également émise par des activités spécifiques abritées au sein du bâtiment ; elle est elle aussi récupérée. Par exemple, la présence d'un restaurant permet de récupérer de l'énergie présentes dans les hottes et émises par les chambres froides.

VIII-3- Utilisation d'énergies renouvelables :

L'objectif était principalement de minimiser la consommation d'énergie. Installation d'une chaudière à granulés de bois (de la capacité d'un pavillon d'habitation soit 10m³ de granulés de bois par an) et des panneaux photovoltaïques qui apportent une énergie renouvelable au bâtiment.

VIII-4- Se protéger du soleil sans nuire à la qualité de l'environnement de travail :

Afin d'exploiter les bienfaits du soleil (apport de chaleur et de lumière naturelle) sans en subir les inconvénients (apport de chaleur trop important, éblouissement), un bouclier solaire a été préconisé. Sa forme recouvre la surface la plus exposée à ces inconvénients en fonction de la course du soleil et des bâtiments alentours. Sa structure en résille permet donc d'agir sur les inconvénients tout en conservant les bénéfices du soleil. L'éclairage naturel et la visibilité vers l'extérieur sont préservés, ce qui n'aurait pas été le cas avec un filtre uniforme.



Figure : Le volume rouge enveloppant la façade la plus exposée est en fait un « **bouclier thermique** » amenuisant naturellement le rayonnement solaire à l'intérieur.

Photos : François Lombard



Figure : Un bouclier solaire déployé selon l'intégration dans le site et la course du soleil.

Photos Arte Charpentier, Elithis Ingénierie



Figure : La tour Elithis est recouverte d'un treillis métallique pour la protéger des ardeurs du soleil estival.

Photos : François Lombard

VIII-5- Une consommation d'électricité autosuffisante

La toiture externe sera réalisée en panneaux photovoltaïques intégrés (surface plane), producteurs d'électricité solaire, ce qui permettra de couvrir une grande partie des besoins électriques du bâtiment (74.000 KW/an). La limitation des consommations d'énergie s'opèrera également au niveau de l'éclairage grâce à un système maîtrisé favorisant l'optimisation de l'apport de lumière naturelle.

Ce principe sera renforcé grâce à des circuits d'éclairage contrôlés et différenciés selon la zone de travail et l'utilisation des locaux. De plus, les locaux seront entièrement équipés de luminaires à économies d'énergie : tubes fluorescents et lampes LFC, dont le rendement et la durée de vie sont 10 fois supérieurs aux lampes incandescentes.

VIII-6- Une température idéale toute l'année, à moindre frais

La consommation d'énergie pour le chauffage, la ventilation et le rafraîchissement sera limitée par la conception même de la qualité thermique du bâtiment tant au niveau de l'isolation que des façades. Grâce à un bouclier thermique transparent ménageant une vue dégagée, les espaces de travail bénéficieront d'une protection contre les rayonnements solaires, source de surchauffe et d'inconfort visuel.

Jusqu'à la mi-saison, un système de "free-cooling" à régulation mécanique permettra de rafraîchir les locaux gratuitement et de façon naturelle. Cet équipement permettra de lutter contre les hausses de température jusqu'à 27°, sans utiliser le système de refroidissement. En parallèle, la production de chaleur et de froid reposera sur un système thermodynamique particulièrement performant, associé à une source de chaleur fonctionnant avec une énergie renouvelable (chaudière bois à granulés), et à un système de refroidissement adiabatique.

Dans le même esprit, le renouvellement de l'air sera assuré par une centrale de traitement d'air double flux avec un récupérateur d'énergie de haute efficacité.

ANNEXE 4 : Enquête sur le confort et la consommation d'énergie dans le bâtiment tertiaire

ENQUETE SUR LE CONFORT ET LA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LE BÂTIMENT TERTIAIRE

Date :
 Nom :
 Sexe :
 Age :
 Activité Professionnelle :

DANS VOTRE BUREAU

- 1) **Votre bureau :** Localité :
 Numéro d'étage
 Surface approximative
 Nombre d'occupants

- 2) **Quel est votre avis sur le confort thermique à l'intérieur de votre bureau ?**

	Confortable	Légèrement inconfortable	Inconfortable	Très inconfortable	Intolérable
En été, le matin					
En été, L'après midi					
En hiver, le matin					
En hiver, L'après midi					

- 3) **En été, quand les conditions thermiques ne sont pas confortables, que faites-vous pour les améliorer ?**

- ☐ Vous créez un courant d'air en ouvrant portes et fenêtres
- ☐ Vous baissez les stores ou vous tirez les rideaux
- ☐ Vous allumez un ventilateur
- ☐ Vous éteignez les lampes qui chauffent trop
- ☐ Vous allumez la climatisation

- 4) **En hiver quand les conditions thermiques ne sont pas confortables, que faites-vous pour les améliorer ?**

- ☐ Vous allumez le chauffage
- ☐ Parfois vous vous habillez chaudement pour éviter d'allumer le chauffage
- ☐ Autre :

5) En été, votre bureau :

- ☐ Est plus frais que les autres ☐ a la même température que les autres

S'il est plus frais que les autres, quelles en sont les raisons ?

- ☐ Il est mieux orienté (à l'ombre, mieux protégé du soleil)
☐ Il a des petites fenêtres (protégé du soleil)
☐ Il est climatisé
☐ Il est dans un courant d'air
☐ Autre :

6) En hiver votre bureau

- ☐ Est plus chaud que les autres ☐ a la même température que les autres

S'il est plus chaud que les autres, quelles en sont les raisons ?

- ☐ Il est mieux orienté (au soleil/ plein sud)
☐ Il a des petites fenêtres (peu de pertes thermiques)
☐ Il est mieux chauffé
☐ Il a peu de murs communs avec l'extérieur (pièce au centre)
☐ Autres :

**7) Quel est le (ou les) facteur(s) le(s) plus défavorable(s) pour votre confort ?
 (classez si plusieurs réponses)**

		ETE	HIVER
BRUIT			
POLLUTION DE L'AIR	POUSSIÈRES		
	ODEURS		
TEMPERATURE			
HUMIDITE			
COURANTS D'AIR			
ECLAIRAGE			
AUTRES			

CONSOMMATION

8) Description du système de climatisation :

- Avez-vous un système de climatisation ? ☐ oui ☐ non
- Nombre de climatiseurs :
- Puissance des climatiseurs : ☐ ne sait pas
- Mois pendant lesquels vous utilisez la climatisation :
☐ mars ☐ avril ☐ mai ☐ juin ☐ juillet ☐ août ☐ septembre ☐ octobre ☐ novembre
- Vous utilisez votre climatisation combien de jours par semaine :
- Vous utilisez votre climatisation : ☐ en continu ☐ par intermittences
- Trouvez-vous que votre système de climatisation est suffisant ? ☐ oui ☐ non

9) Description du système de chauffage

- Avez-vous un système de chauffage ? ☐ oui ☐ non
- Si oui quelle est l'énergie utilisée (mazout, électricité,...) :
- Puissance de votre chauffage :
- Mois pendant lesquels vous utilisez votre chauffage :
☐ mars ☐ avril ☐ mai ☐ juin ☐ juillet ☐ août ☐ septembre ☐ octobre ☐ novembre
- Vous utilisez votre chauffage combien de jours par semaine :
- Vous utilisez votre chauffage : ☐ en continu ☐ par intermittences
- Trouvez-vous que votre système de chauffage est suffisant ? ☐ oui ☐ non

10) Quel est le montant de votre facture énergétique (approximativement)

Electricité (EDL) :
 Electricité (groupe électrogène) :
 Gaz :
 Mazout / fuel :
 Autre énergie :

11) La facture vous paraît-elle :

☐ très lourde ☐ lourde ☐ acceptable ☐ faible ☐ très faible

PREDICTION

12) Par quoi êtes-vous plus intéressé :

- ☐ Faire baisser la facture énergétique en conservant le même confort thermique
- ☐ Améliorer le confort thermique en gardant la même facture énergétique

13) A quels problèmes de l'environnement êtes-vous sensibles ?

- ☐ Aucun
- ☐ Effet de serre, c'est-à-dire, le réchauffement de la planète lié à une consommation excessive de l'énergie
- ☐ Pollution de l'air
- ☐ Problème des ordures ménagères
- ☐ Pollution de l'eau ☐ eau de mer ☐ eau potable
- ☐ Protection de la nature (biodiversité)
- ☐ Autres :
-