

RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Faculté du Génie de la Construction
Département d'Architecture



MÉMOIRE DE MAGISTER EN ARCHITECTURE

Spécialité : Architecture

Option : Architecture et développement durable

SUR LE THÈME :

**Etude et évaluation du confort thermique
des bâtiments à caractère public :
Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou)**

Présenté par : M^f MAZARI Mohammed

Devant le jury composé de :

M ^f AIT TAHAR Kamal	Professeur	U.M.M.T.O	Président
M ^f DAHLI Mohamed	Maître de Conférences A	U.M.M.T.O	Rapporteur
M ^f CHENAK Abdelkrim	Chargé de recherche	C.D.E.R. Alger	Examineur

Septembre 2012

"بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ"

** وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ

عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ

وَإِلَيْهِ أُنِيبُ **

سورة هود الآية ٨٨

***Et ma réussite ne dépend que d'Allah, En Lui je place ma confiance, et c'est vers Lui que je reviens repentant*

REMERCIEMENTS

Avec l'aide de Dieu tout puissant, j'ai pu accomplir ce modeste travail

Ce travail de recherche pour l'obtention du diplôme de Magister, dirigé par Monsieur Dahli Mohamed, Maître de Conférences, a été mené au Département d'Architecture de la Faculté du Génie de la Construction de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Je remercie en premier lieu mon Directeur de mémoire Mr Dahli Mohamed, pour sa disponibilité, pour son suivi, ses nombreux conseils et ses critiques constructives pour l'élaboration de ce travail de recherche.

A tous mes collègues du département d'Architecture, qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail, qu'ils trouvent toute ma gratitude.

Je tiens aussi à remercier les membres du jury qui ont accepté de porter leur apport. Je remercie Mr Ait Tahar Kamal d'avoir accepté la présidence du jury et Mr Chenak Abdelkrim d'avoir accepté à son tour d'examiner le travail de recherche du présent mémoire. J'espère que leurs remarques, critiques, orientations et conseils me seront très utiles pour une continuité dans le processus de recherche.

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

Dédicace:

Je dédie ce modeste travail ;

A mes chers parents Vava l'hadj et Yemma Saadia qui ont tout fait pour que je réussisse dans ma vie, que Dieu me les protège,

A mes adorés, ma femme et mes enfants lamine, Mehdi et Salim, sans oublier mes frères et sœurs.

SOMMAIRE

Remerciements	i
Sommaire.....	ii
Résumé.....	ix
Abstract.....	x
ملخص.....	xi

CHAPITRE INTRODUCTIF

Introduction.....	01
I. Problématique générale.....	01
II. Hypothèses.....	02
III. Objectifs	02
IV. Méthodologie de recherche.....	02
V. Structure du mémoire.....	03

PREMIERE PARTIE : CORPUS THEORIQUE

PREMIER CHAPITRE : ÉVALUATION DU CONFORT THERMIQUE

Introduction	05
I.1 La notion de confort thermique.....	05
I.2. Les paramètre affectant le confort thermique.....	06
I.2.1. Paramètres liés à l’ambiance	07
I.2.1.1. La température de l’air ambiant.....	07
I.2.1.2. La vitesse de l’air.....	08
I.2.1.3. L’humidité relative de l’air.....	08
I.2.2. Paramètres liés à l’individu.....	08
I.2.2.1. La vêtture.....	08
I.2.2.2. L’activité.....	09

I.2.3. Paramètres liés aux gains thermiques internes.....	09
I.3. Les approches du confort thermique.....	10
I.3.1. Approche statique du confort thermique.....	10
I.3.1.1. L'aspect physiologique du confort thermique.....	11
I.3.1.2. L'aspect physique du confort thermique.....	11
I. 3.1.2.1. Le métabolisme.....	12
I.3.1.2.2. Les échanges thermiques du corps humain.....	12
I. 3.1.3. L'aspect psychologique du confort thermique.....	15
I. 3.2. Approche adaptative du confort thermique.....	16
I. 3.2.1. Adaptation comportementale d'ajustement.....	16
I. 4. Facteurs d'inconfort thermique.....	17
I.4.1. Effet des courants d'air.....	17
I.4.2. Effet de l'asymétrie d'un rayonnement thermique.....	17
I.4.3. Effet de gradient thermique vertical de l'air.....	18
I.4.4. Effet de la température du sol.....	18
I.5. Évaluation du confort thermique.....	19
I.5.1. Indices pour l'évaluation du confort thermique.....	19
I.5.1.1. Les indices PMV et PPD.....	19
I.5.1.2. La température de l'air ambiant (T_a).....	21
I.5.1.3. La température opérative (T_{op}).....	21
I.5.2. Évaluation du confort thermique par des enquêtes in situ.....	22
I.5.2.1. Classification des enquêtes in situ.....	23
I.5.2.1.1. Les enquêtes transversales.....	24
I.5.2.1.2. Les enquêtes longitudinales.....	24
I.5.3. Les échelles des jugements du confort thermique.....	24
I.5.3.1. Les différentes échelles de jugement.....	25
I.5.3.1.1. jugement perceptif, évaluatif et préférentiel.....	25
I.5.3.1.2 Expression de l'acceptabilité et de la tolérance personnelles.....	26
I.5.4. Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique.....	27
I.5.4.1. Définition du diagramme bioclimatique.....	27
I.5.4.2. Diagramme de Givoni.....	30
I.5.4.3. Tables de Mahoney.....	31
Conclusion.....	32

DEUXIEME CHAPITRE : LE CONFORT THERMIQUE DANS L'APPROCHE DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

Introduction	34
II.1. La conception bioclimatique	34
II.1.1. Les bases de conception d'ensemble	35
II.1.1.1. La localisation du bâtiment.....	35
II.1.1.2. la forme et la compacité.....	36
II.1.1.3. l'organisation intérieure.....	37
II.1.1.4. L'orientation.....	38
II.1.1.4.1. L'orientation et l'ensoleillement.....	38
II.1.1.4.2. L'ensoleillement et les revêtements extérieurs de l'enveloppe	40
II.1.1.4.3. Orientation et les vents.....	41
II.1.1.5. Les protections solaires.....	43
II.1.1.5.1.Le rôle des protections solaires.....	43
II.1.1.5.2.Les différents types de protection solaires.....	44
II. 1.1.5.3.Les protections fixes.....	44
II. 1.1.5.4.Les protections mobiles.....	45
II.1.1.6.La Ventilation Naturelle.....	46
II.1.1.6.1.Stratégies de la ventilation naturelle.....	47
II.1.1.2. Les bases de conception de détail	49
II.1.1.2.1.Matériaux de construction et leurs performances thermiques.....	49
II.1.1.2.2.vitrages et propriétés thermiques	51
II.1.1.2.3. L'inertie thermique du bâtiment.....	52
II.1.1.2.4. L'isolation thermique de l'enveloppe.....	53
II.2.Les stratégies bioclimatiques pour améliorer le confort thermique	57
II.2.1. Système de chauffage solaire passif. (Confort d'hiver).....	57
II.2.2. système de rafraîchissement passif (confort d'été).....	58
Conclusion	59

TROISIÈME CHAPITRE : ENERGIE ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Introduction	60
III.1. Ressources énergétiques	60
III.1.1 L'énergie primaire	60
III.1.2 L'énergie finale.....	60
III.2 L'énergie et le développement durable	61
III.2.1 Le recours aux énergies renouvelables pour un développement durable.....	62
III.3. Efficacité énergétique dans le bâtiment	63
III.3.1. classification des bâtiments efficaces énergétiquement.....	63
III.3.1.1. Bâtiments performants « basse énergie ».....	64
III.3.1.2. Bâtiments très performants « très basse énergie ».....	64
III.3.1.3. Bâtiments à énergie positive « zéro énergie ».....	65
III.4. Le contexte énergétique et la consommation mondiale	65
III.4.1.La consommation énergétique des différents secteurs en Algérie.....	66
III.4.1.2. Consommation d'énergie dans le Secteur public en Algérie.....	67
III.5. Le confort et l'utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments publics	68
III.5.1. Les bâtiments publics en Algérie.....	68
III.5.2.utilisation de l'énergie pour le confort des bâtiments publics.....	69
III.5.2.1. le chauffage des bâtiments.....	70
III.5.2.2. La climatisation des bâtiments.....	72
III.5.2.2.1. Les systèmes centralisés ou semi-centralisés.....	72
III.5.2.2.2.Les systèmes décentralisés.....	73
III.6. la maîtrise de l'énergie et le contexte réglementaire en Algérie	75
Conclusion	77

DEUXIEME PARTIE : CAS D'ETUDE

QUATRIÈME CHAPITRE : PRESENTATION DU CAS D'ETUDE ET METHETOLOGIE DE RECHERCHE

Introduction	78
IV.1.Présentation de la région de Tizi-Ouzou	78
IV.1.1. Situation géographique.....	78

IV.2. Le climat de la région de Tizi-Ouzou	79
IV.2.1. Données climatiques de la région de Tizi-Ouzou.....	79
IV.2.1.1. Rayonnement solaire et l'insolation.....	79
IV.2.1.2. Les températures.....	80
IV.2.1.3. Les précipitations	80
IV.2.1.4. L'humidité.....	81
IV.2.1.5. Le Vent.....	81
IV.2.1.6. Conclusion de l'analyse climatique	82
IV.3. Analyse bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou	82
IV.3.1. Application de la méthode de Givoni	83
IV.3.1.1. Lecture du diagramme.....	83
IV.3.2. Application de la méthode de Mahoney.....	84
IV.3.2.1.Synthèse des recommandations spécifiques.....	89
IV.3.2.2.Synthèse des recommandations de détail.....	89
IV.3.2.3. Conclusion de l'analyse bioclimatique.....	90
IV.4. Enquête sur la situation des bâtiments publics à Tizi-Ouzou	90
IV.4.1. Objectifs.....	90
IV.4.2. Méthodologie	90
IV.4.3. Analyse des résultats	90
IV.5. Présentation du bâtiment cas d'étude	91
IV.5.1. Caractéristiques constructives du projet	97
IV .6. Etude expérimentale sur le confort thermique	98
IV.6.1. Confort thermique dans les environnements d'enseignement.....	99
IV.6.1.1. Équipements de confort et dispositifs de contrôle	99
IV.6.1.2. Dispositifs pour le confort d'été.....	100
IV.6.1.3. Dispositifs pour le confort d'hiver.....	100
IV.6.2.Description de la méthodologie utilisée.....	101
IV.6.2.1.Campagne de mesure.....	101
IV.6.2.1.1. Indicateurs objectifs de l'étude : Les mesures physiques.....	102
IV.6.2.1.1.1. Description des instruments de mesures	102
IV.6.2.1.1.2. Les indicateurs subjectifs de l'étude	104
IV.6.2.1.1.2.1. Enquête	104
IV.6.2.1.1.2.2. Le questionnaire.....	105
Conclusion	106

CINQUIEME CHAPITRE : ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES D'ENQUÊTE ET DES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Introduction	107
V.1. Analyse et interprétation des données d'enquête	107
V.1.1. Évaluation affective du confort thermique	107
V.1.2. Confort et ambiance thermique des Ateliers	109
V.1.2.1. Confort d'hiver.....	109
V.1.2.2. Confort d'été.....	110
V.1.3. Actions adaptatives pour améliorer le confort thermique des ateliers.....	111
V.2. Résultats expérimentaux: Présentation et interprétations des résultats	112
V.2.1. Etude de la variation de la température intérieure et extérieure.....	112
V.2.1.1. Période d'été.....	112
V.2.1.1.1. Atelier orienté nord.....	113
V.2.1.1.2. Atelier orienté Est.....	113
V.2.1.1.3. Atelier orienté Sud.....	114
V.2.1.1.4. Atelier orienté Ouest.....	115
V.2.1.1.5. Comparaison des différentes orientations.....	115
V.2.1.1.6. Les températures des surfaces.....	116
V.2.1.1.6.1. Comparaison des différentes températures de surfaces.....	117
V.2.1.1.7. Comparaison des différentes humidités.....	119
V.2.1.2. Période d'hiver.....	121
Conclusion	122
CONCLUSION GÉNÉRAL	123
LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX	128
BIBLIOGRAPHIE	132
ANNEXES	140

Résumé :

Cette dernière décennie, nous assistons en Algérie à une réalisation multiple et intense de projets de bâtiments à caractère public, qui ne sont malheureusement soumis à aucune exigence réglementaire sur le plan thermique et énergétique. Les paramètres de la conception sont d'ordre fonctionnel et architectural et la dimension énergétique du projet n'est pas toujours considérée comme significative, ce qui conduit à des bâtiments non confortables et énergivores.

Le confort thermique constitue une demande reconnue et justifié dans le bâtiment public du fait de son impact sur la qualité des ambiances thermiques intérieures ; il est donc considéré comme un élément important de la qualité globale d'usage de ce type de bâtiments. Ce confort ne peut être assuré que par l'optimisation de l'isolation thermique, du critère de l'inertie thermique et bien sur la prise en considération des paramètres de l'architecture bioclimatique lors de sa conception.

Par une évaluation du point de vue confort thermique et énergétique, du département d'architecture de Tamda (bâtiment en exploitation), pris comme cas d'étude, nous avons essayé d'étudier la complexité du confort thermique dans les bâtiments à caractère public à travers les multiples interactions entre le site, le climat, le bâtiment et l'utilisateur.

Mots clés : Bâtiments publics, bioclimatique, confort thermique, matériaux, inertie thermique, économie d'énergie.

Summary:

Over the past decade, we are witnessing in Algeria the achievement multiple and intensive building projects of public nature, which are unfortunately subject to any regulatory requirement in terms of thermal energy. The design parameters are functional and architectural and the energy dimension of the project is not always considered significant, which leads to uncomfortable residential building and non inefficient energy.

Thermal comfort is a request accepted and justified in the public building because of its impact on the quality of indoor thermal environment; therefore it is considered as an important part of the overall quality of use of such buildings. It can only be achieved by optimizing the thermal insulation of the criterion of thermal inertia and of course taking into account the parameters of bioclimatic architecture in the design stage.

By an assessment in terms of thermal comfort and energy of the Department of Architecture Tamda (building operations), taken as a case study, our research aims to study the complexity of thermal comfort in buildings of public character through multiple interactions between site, climate, building and the user.

Keywords: Public buildings, Bioclimatic, thermal comfort, materials, thermal inertia, energy saving.

ملخص :

على مدى العقد الماضي ، تشهد الجزائر تحقيق مشاريع بناء متعددة ومكثفة ذات الطابع العام ، والتي و للأسف لا تخضع لأية متطلبات تنظيمية في مجال الطاقة الحرارية. إن معايير الهندسة و البناء هنا في الجزائر تخضع فقط للمتطلبات العملية و الهندسية أما الجانب الطاقوي للمشروع لا يأخذ بعين الاعتبار غالبا. و هذا ما يخلف بناء غير مريح و مستهلك للطاقة.

إن الراحة الحرارية أمر مطلوب و مبرر في البناء العام و هذا راجع إلى أثره على نوعية الراحة الحرارية الداخلية. و بالتالي فهو يعتبر جزءا هاما في استخدام هذا النوع من المباني.

لا يمكن أن تتحقق هذه الراحة إلا عن طريق استعمال العزل الحراري الأخذ بعين الاعتبار الطاقة الكامنة الحرارية و بالطبع الأخذ بمعايير الهندسة المحترمة للبيئة في مرحلة التصميم.

لتقييم معهد الهندسة المعمارية بتا مدا من حيث الراحة الحرارية والطاقة ، مأخوذ كدراسة تطبيقية يهدف هذا البحث إلى دراسة الراحة الحرارية في المباني ذات الطابع العام من خلال التفاعلات المتعددة الموجودة بين ، موقع البناء ، المناخ والمستخدم

الكلمات المفتاح:

المباني العامة، الراحة الحرارية، المواد ، الطاقة الكامنة الحرارية، توفير الطاقة

Chapitre introductif

Introduction

Le confort thermique, dans des espaces de vie et de travail, constitue une demande reconnue et justifiée, à laquelle le concepteur doit apporter des solutions durables afin d'éviter toute opération de réhabilitation thermique prématurée.

Le besoin de construire beaucoup, vite et pas cher, a engendré une rupture entre l'architecture, victime d'une nouvelle technologie de chauffage et de climatisation, et son environnement le plus proche. Nous assistons aujourd'hui à la réalisation d'édifices transparents, à travers l'utilisation excessive du modèle d'enveloppe mur-rideau, à cela s'ajoute le non-respect d'une meilleure conception architecturale soucieuse de la contrainte climatique et sans oublier la non-maîtrise des paramètres thermiques de l'enveloppe de l'édifice.

La maîtrise des éléments passifs, contribuant au confort thermique, tels que l'isolation thermique, l'orientation des façades, les ouvertures, la compacité de l'édifice et l'utilisation d'un vitrage à hautes performances thermiques minimisera sans aucun doute les déperditions et gains thermiques dont souffrent les édifices à caractère public.

C'est dans cette optique que vient s'inscrire notre travail en mettant en relief l'étude du nouveau département d'architecture de Tamda, récemment réalisé, nécessitant malheureusement une opération de réhabilitation thermique prématurée. A cet effet, un des aspects de notre méthodologie de recherche sera basé sur une enquête de terrain, réalisée auprès de notre communauté universitaire, et sur une campagne de mesures des paramètres d'humidité et de températures (ambiantes et de surfaces).

I. Problématique

Pour pallier aux retards en termes de réalisations d'infrastructures, l'Algérie s'est lancée dans un programme de réalisation intense, en faisant appel aux compétences nationales et internationales dans le secteur d'habitat, d'équipements publics..... Si en termes de rigidité et de résistance aux séismes, elle a largement répondu aux normes en vigueur, nous constatons malheureusement une défaillance dans les exigences du confort thermique. *L'enveloppe, la forme, et les matériaux de la construction se libèrent des données du site, et sont souvent en contradiction avec les exigences du milieu naturel, créant ainsi un inconfort et un déséquilibre entre, l'élément construit et l'environnement ambiant.*

Le confort thermique ne peut être obtenu que si la conception architecturale bioclimatique est prise en charge dans les projets, à cela s'ajoute l'intégration des matériaux de

constructions de haute performances thermiques capables de répondre aux critères de conductivité et d'inertie thermique.

Notre travail s'inscrit dans une optique globale de recherche sur l'amélioration de l'aspect qualitatif, notamment le confort thermique dans les bâtiments publics et particulièrement les bâtiments d'enseignements. A travers cette recherche, nous allons essayer de répondre aux préoccupations suivantes :

- Quelles sont les stratégies de conception à adopter, les dispositifs architecturaux à utiliser pour assurer le confort thermique à l'intérieur du bâtiment?
- De quelle manière interviennent les aspects passifs, climatiques dans l'amélioration du confort et des performances énergétiques des bâtiments ?

II. Hypothèses

Pour répondre à la problématique posée, nous avons construit les hypothèses suivantes :

- Contrairement à la rigueur quant à l'application des normes antisismiques en vigueur, nous assistons aujourd'hui à la négligence totale du volet thermique ;
- Le respect d'une conception architecturale bioclimatique de départ, la maîtrise des déperditions et gains thermiques de l'enveloppe du bâtiment minimisera sans aucun doute les déperditions et gains thermiques dont souffrent les édifices à caractère public.

III. Objectifs

Afin de situer les problèmes du confort thermique dans les bâtiments publics, particulièrement notre cas d'étude (département d'architecture de Tamda), notre recherche a pour objectif de chercher les stratégies de conception à adopter, les dispositifs architecturaux à utiliser pour assurer un niveau de confort thermique acceptable en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur les ambiances intérieures et comment intégrer le concept bioclimatique afin d'apporter des solutions aux exigences du confort thermique et de réduire les besoins en chauffage et en rafraîchissement. Cet objectif est tributaire d'une enquête auprès des occupants de ces espaces et d'une campagne de mesure des paramètres thermiques de confort.

IV. Méthodologie de recherche

Notre mémoire est structuré en deux parties :

La première concerne le corpus théorique, il s'agit d'introduire le thème de recherche, à travers un état de l'art sur le confort thermique.

La deuxième partie, expérimentale, basée sur l'usage de deux outils de recherche : les mesures in situ à l'aide d'instrumentation technique (mesures des températures, d'humidités relatives et des températures de surfaces intérieures et extérieures des salles) et l'enquête par questionnaire auprès de la communauté universitaire.

V. Structure du mémoire

Notre travail est composé d'un chapitre introductif et de deux parties :

-Le chapitre introductif comporte la problématique, les hypothèses, les objectifs ainsi que la méthodologie de recherche.

-La première partie théorique, consiste en la compréhension des différents concepts et notions clés liés à notre recherche, elle découle d'une recherche bibliographique sur le confort thermique et est répartie en trois chapitres. Dans le premier chapitre nous analysons les informations existantes en matière de confort thermique, en faisant le point sur quelques méthodes d'évaluation, plus particulièrement sur les indices, les enquêtes in situ et les outils graphique. Nous nous intéressons dans le deuxième chapitre, au confort thermique dans l'approche de l'architecture bioclimatique, avec ces principes de bases qui sont fondés sur la forme du bâtiment, de son enveloppe, des matériaux utilisés et de son orientation en fonction des particularités du site. Quant au troisième chapitre, il aborde l'énergie et l'efficacité énergétique dans les bâtiments et le contexte énergétique en Algérie.

-La deuxième partie pratique, intègre deux chapitres. Le premier chapitre consiste en une phase d'expérimentation, une campagne de mesures effectuée sur terrain (températures, humidité relatives de l'air) 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.

-La conclusion générale expose les conclusions tirées de ce travail, des recommandations architecturales et techniques seront établies pour l'amélioration du confort thermique dans les bâtiments d'enseignements en particulier et dans les bâtiments publics en général.

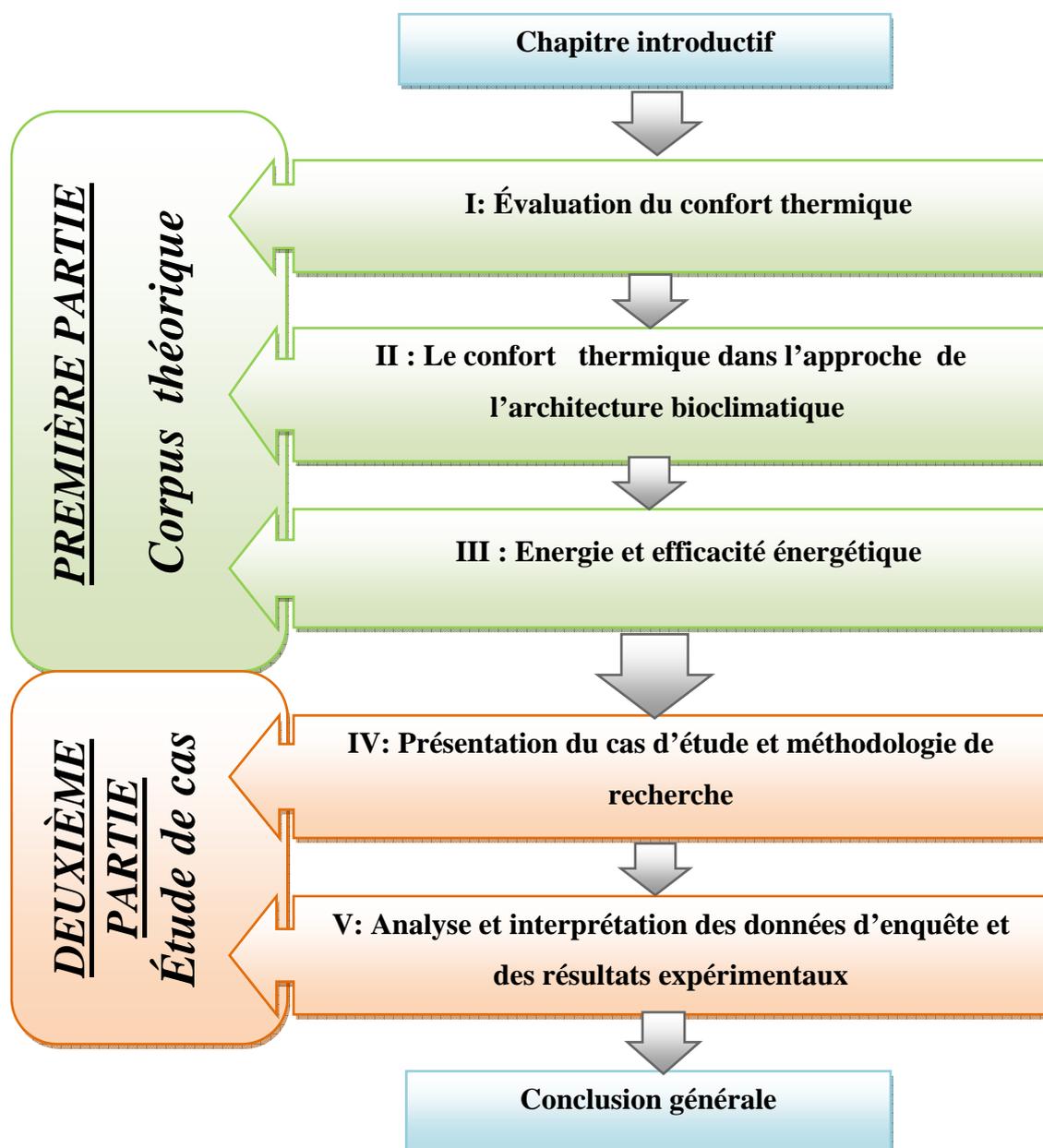


Schéma de la structure du mémoire.

PREMIER CHAPITRE

Évaluation du confort thermique

Introduction

Le confort peut être défini comme le degré de désagrément ou de bien-être produit par les caractéristiques de l'environnement intérieur d'un bâtiment. Une telle définition considère une interaction entre l'individu et l'espace qui l'entoure, c'est-à-dire, entre des conditions ambiantes physiquement mesurables et certaines conditions individuelles qui affectent notre perception¹. La qualité de vie à l'intérieur de l'espace a été souvent rapprochée à une appréciation thermique en premier lieu.

Assurer une sensation de chaleur en hiver et se préserver des fortes chaleurs en été est depuis longtemps un souci majeur pour les concepteurs. D'ailleurs, un des objectifs de l'architecture réside dans la satisfaction des occupants par le bien être thermique.

I.1. La notion de confort thermique

La notion de confort thermique, désigne l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et son environnement où l'individu est considéré comme un élément du système thermique², pour le définir on lui associe plusieurs paramètres, notamment³:

- ✓ *Le paramètre physique* : l'homme est représenté comme une machine thermique et on considère ses interactions avec l'environnement en termes d'échanges de chaleur.
- ✓ *Le paramètre psychologique*: Il concerne les sensations de confort éprouvées par l'homme et la qualification des ambiances intérieures.

Une définition satisfaisante du confort thermique doit pouvoir intégrer tous ces paramètres, mais de nombreuses définitions avancées jusqu'à maintenant ne caractérisent le problème que sous la lumière d'un seul de ces paramètres, par exemple:

- ✓ *Aspect physiologique*: « Les conditions pour lesquelles les mécanismes d'autorégulation du corps sont un niveau d'activité minimum »⁴
- ✓ *Aspect sensoriel*: « État d'esprit exprimant la satisfaction de son environnement.

¹ Esteban Emilio Montenegro Iturra .« Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. » Thèse de doctorat Faculté des études supérieures de l'Université Laval. Canada .2011. p164

² Cantin, R. et al. « Complexité du confort thermique dans les bâtiments » in actes du 6^{ème} congrès européen de science des systèmes, tenu à Paris du 19 au 22 septembre 2005.

³ K.Parson. "Human thermal environments". London : 2nd édition, 2003 cite in Thellier, F. « Modélisation du comportement thermique de l'homme et de son habitat, une approche de l'étude du confort », étude réalisée à l'université Paul Sabatier de Toulouse, France. 1989. Pages 163

⁴ Givoni B., « L'homme, l'architecture et le climat » Editions du Moniteur, France. 1978. p39.

L'individu ne peut pas dire s'il veut avoir plus froid ou plus chaud »⁵.

✓ *Aspects psychologique et sensoriel*: «Sensation de bien être physique et mental total »⁶

En conséquence, le caractère subjectif de la notion de confort thermique est mis en avant par l'ensemble de ces définitions. Selon Hoffmann, J. B⁷, la définition la plus classique du confort thermique n'est autre qu'une absence d'inconfort.

Pour approfondir cette notion de confort thermique, nous évoquerons dans ce qui suit, les paramètres affectant le confort thermique, l'approche statique du confort à travers les phénomènes de thermorégulation (base physiologique) et d'échanges thermiques (base physique) du corps humain avec son environnement extérieur. En dernier lieu, nous traiterons l'approche adaptative de l'homme avec son environnement.

I.2. Les paramètres affectant le confort thermique

La sensation de confort thermique est fonction de plusieurs paramètres (Tableau I.1) :

-Les paramètres physiques d'ambiance, au nombre de quatre, sont la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air, et l'humidité relative de l'air ;

-Les paramètres liés à l'individu, ils sont multiples, on recense notamment deux paramètres principaux qui sont l'activité et la vêtue de l'individu ;

-Les Paramètres liés aux gains thermiques internes, gains générés dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage. (éclairage, appareils électriques, postes informatiques).

<i>Paramètres liés à l'individu</i>	<i>L'activité physique et l'habillement</i>
<i>Paramètres liés à l'environnement</i>	La température de l'air, les sources de rayonnement (radiateurs, soleil), la température des surfaces environnantes, la vitesse relative de l'air par rapport au sujet et l'humidité relative de l'air
<i>Autres influences</i>	Gains thermiques internes, Degré d'occupation des locaux, Couleur, Ambiance,etc.

Tableau I.1: Paramètres influents sur la sensation de confort thermique

⁵. ISO 7730. « Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort » AFNOR, Paris. 1994

⁶ l'European Passive Solar Handbook. cite in

⁷ Hoffmann J. B. « ambiances climatisées et confort thermique » les actes du C.O.S.T.I.C .P110

I.2.1. Paramètres liés à l'ambiance extérieure

I.2.1.1. La température de l'air ambiant

La température de l'air, ou température ambiante (T_a), est un paramètre essentiel du confort thermique. Elle intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. Dans un local, la température de l'air n'est pas uniforme, des différences de températures d'air se présentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe⁸.

Ainsi par exemple la réglementation générale française pour la protection du travail (RGPT)⁹, impose des valeurs de référence pour les températures de l'air, données par le tableau I.2 ci-dessous¹⁰.

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, 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 très 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 I.2 : Valeurs de référence de température de l'air

⁸ NEUF : « Climat intérieur/ confort, Santé, confort visuel » Revue européenne d'architecture N°77, novembre - décembre 1978. p 12.

⁹ Bodart M., «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. 2002.p.110

¹⁰ RGPT. (La réglementation générale française pour la protection du travail) cite in. Bodart M.,2002 Op,cite .p.110

Ces températures sont calculées pour une valeur moyenne de surface des parois inférieure de 2°C à la température de l'air, elles sont acceptées dans certains cas comme température de confort dans le cadre d'une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie.

1.2.1.2. La vitesse de l'air

La vitesse de l'air joue un grand rôle dans les échanges convectifs et évaporatoires, elle intervient dans la sensation de confort thermique de l'occupant dès qu'elle est supérieure à 0,2 m/s¹¹. Toutefois, à l'intérieur des bâtiments, ces vitesses demeurent limitées, ne dépassant pas généralement cette vitesse, sauf en cas de mauvaise conception du bâtiment ou du système d'aération. Elle peut, en revanche, être tenue pour responsable de l'apparition d'inconforts locaux, liés à la présence de courants d'air froids ou chauds localisés.

1.2.1.3. L'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air influence les échanges évaporatoires cutanés, elle détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur.

Selon Liébard A., entre 30% et 70%, l'humidité relative influence peu la sensation de confort thermique¹². Une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration¹³, le corps est la plupart du temps en situation d'inconfort.

1.2.2. Paramètres liés à l'individu

1.2.2.1. La vêture

Les vêtements permettent de créer un microclimat sous-vestimental, à travers leurs résistances thermiques, en modifiant les échanges de chaleur, entre la peau et l'environnement. Leur rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables, été comme hiver.

La vêture a un rôle primordial d'isolant thermique, notamment en période hivernale et dans toutes les ambiances froides, ce rôle est pris en compte à travers la définition d'un indice de vêture, exprimé en **Clo**¹⁴, caractérisant la résistance thermique d'un vêtement (figure I-1).

¹¹Liébard, A. et De Herde, A. « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques ». Ed. Le Moniteur. Paris 2005 p. 30a

¹²Liébard, A. et De Herde, A. (2005). Op.cit p. 29a

¹³Salomon, T et Bedel, S., « La maison des [méga] watts, Le guide malin de l'énergie chez soi ». Ed. Terre vivante. Mens 2004. p. 25.

¹⁴ Clo : Unité d'isolement vestimentaire, 1 Clo = 0.155 m² °C.W-1)

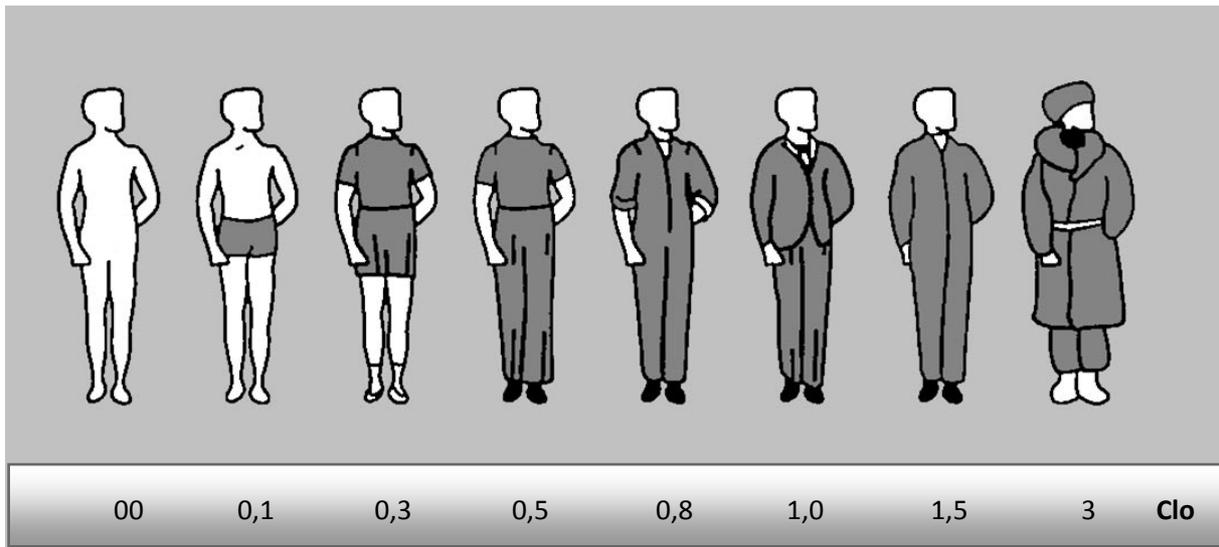


Figure I.1 : valeurs exprimées en **Clo** des tenues vestimentaires

La nature du tissu, la coupe des vêtements et l'activité du sujet influencent aussi ces échanges thermiques avec l'environnement¹⁵.

1.2.2.2. L'activité

L'activité est un paramètre essentiel pour la sensation thermique de l'individu, définissant directement le métabolisme de l'individu, c'est à dire la quantité de chaleur produite par le corps humain. Dans le cas d'une très forte activité, elle peut être responsable de sensations d'inconfort chaud, même en présence de conditions météorologiques très favorables. Il est à noter toutefois que, dans le cas d'une activité classique de bureau, les plages de variation du métabolisme demeurent limitées.

1.2.3. Paramètres liés aux gains thermiques internes

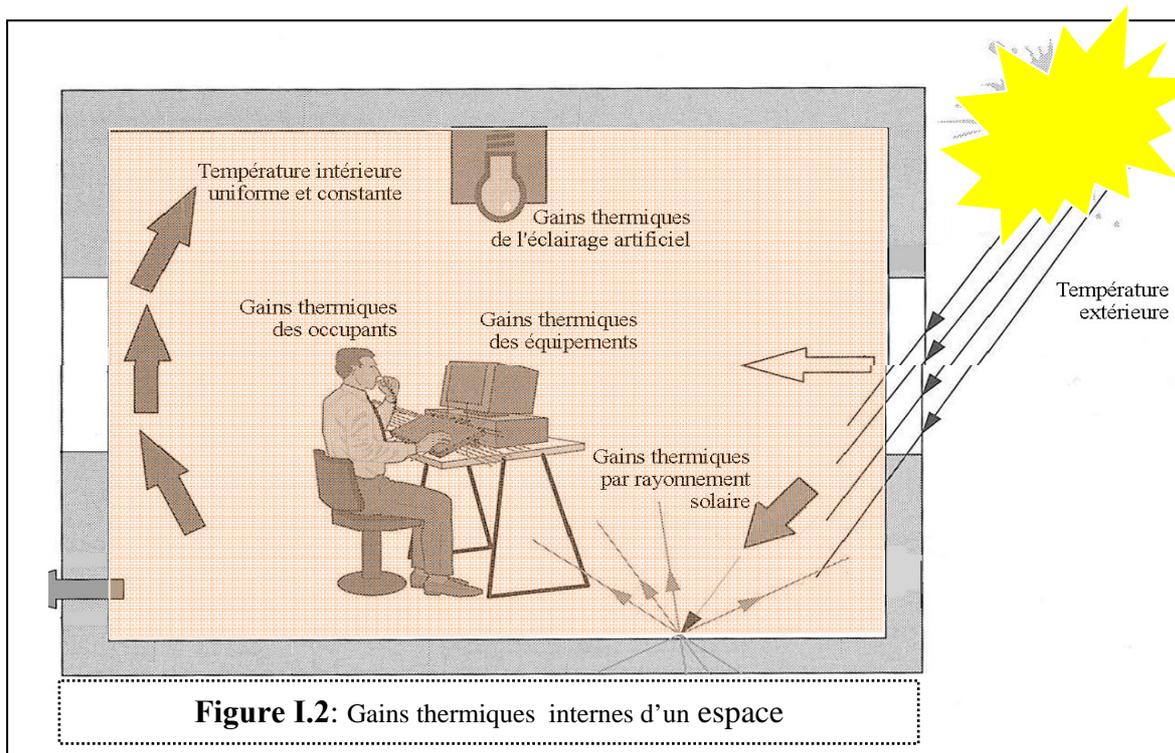
Avec l'essor de la technologie et des besoins électriques (éclairage, électroménager,...), les apports de chaleur internes ont fortement augmenté. Les appareils électriques transforment en effet quasiment toute l'énergie qu'ils consomment en chaleur, Les postes informatiques sont également de vraies sources de chaleur et les occupants constituent eux aussi une autre source d'apports internes par leur métabolisme.

Les apports internes comprennent donc, toute quantité de chaleur générée dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage.

¹⁵ Thellier ,Françoise. « L'homme et son environnement thermique – Modélisation ». Université de Paul Sabatier de Toulouse, 1999, p 65.

Ces gains de chaleur dépendent du type du bâtiment, du nombre des utilisateurs et de son usage.

D'après Hugues Boivin¹⁶, le confort de l'espace est directement influencé par le taux de ces gains internes (figure I.2), on peut dire que ces apports sont inévitables dès lors que les locaux sont habités. Il faut noter cependant que ces apports sont variables selon le comportement des occupants, et qu'ils constituent donc un facteur d'aggravation de l'inconfort chaud, sur lequel les moyens d'action architecturaux sont limités. Seuls, une bonne ventilation et un comportement adéquat de l'occupant peuvent réduire ces apports ou leur influence sur la température intérieure¹⁷.



I.3. Les approches du confort thermique

I.3.1. Approche statique du confort thermique

L'approche statique envisage l'individu en tant que récepteur passif des excitations thermiques avec l'environnement extérieur. Le principe de cette approche repose sur le fait que les effets thermiques d'une ambiance sont ressentis au niveau de la peau par des phénomènes de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement...) et de masse

¹⁶Hugues Boivin « la ventilation naturelle Développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale », Mémoire de maîtrise, université Laval Québec, 2007, p 115

¹⁷Izard-L. «Architectures d'été construire : pour le confort d'été», Edition Edisud, 1994, p141

(perspiration, transpiration...). Ces échanges sont conditionnés par des réponses physiologiques nécessaires pour maintenir la température intérieure du corps humain autour de 37° C malgré les variations des paramètres d'ambiance.

I.3.1.1. L'aspect physiologique du confort thermique

L'être humain comme tous les mammifères est **homéotherme**¹⁸, ce qui signifie qu'il dispose d'un système dynamique de régulation de sa propre température par des échanges de chaleur interne et externe de son corps. En effet, la température du corps humain doit être comprise entre 36.8°C et 37.2°C pour un individu au repos et entre 37.0°C et 37.5°C pour un individu en action¹⁹. En dessous de 36.5°C et au dessus 37.5°C, le corps est en situation d'inconfort généralisé²⁰.

Les phénomènes permettant de contrôler cette température interne et la maintenir à environ de 37°C sont réunis sous l'appellation de thermorégulation²¹. Lorsqu'un individu est en condition de confort thermique les processus de thermorégulation sont minimes et inconscients.

Les processus de thermorégulation qui permettent de maintenir la température interne sont de deux types²²:

- La thermorégulation « *chimique* » (par la production interne de chaleur) ;
- La thermorégulation « *physique* » (par la modification des paramètres d'ambiances ou de vêtements).

I.3.1.2. L'aspect physique du confort thermique

Le maintien de la température interne du corps humain autour de 37°C nécessite un équilibre thermique avec son environnement. Pour cela, la chaleur produite à l'intérieur du corps humain est véhiculée à sa surface cutanée doit être compensée par des déperditions de chaleur dans l'environnement. Si la chaleur produite dans le corps dépasse celle perdue à

¹⁸ Homéotherme : dont la température centrale est constante et reste indépendante de celle du milieu extérieur

¹⁹ Galeou M, grivel F, Candas V. « le confort thermique : aspects physiologiques et psycho-sensoriel », étude bibliographique. Strasbourg : CNRS, 1989.p.113,

²⁰ Galeou M, grivel F, Candas V.(1989).op cit.p113

²¹ cahiers du CSTB , « Le confort thermique : motivation et comportement des habitants ».vol 266 cahier n°2054. 1986. p23

²² Olivier JUNG, « approche multicritère numérique et expérimentale de la ventilation et du rafraîchissement d'un bâtiment multizone par contrôle de composant de façade » thèse de doctorat, 2009,P 36

l'environnement, le corps se réchauffe, sa température interne s'élève et dans le cas inverse il se refroidit avec un abaissement de sa température interne.

I.3.1.2.1. Le métabolisme

Le métabolisme (noté M) qui s'exprime en Met²³, représente la quantité de chaleur, produite par le corps humain, par heure et par mètre carré de la surface du corps au repos ainsi que la chaleur produite par l'activité humaine (Figure I.3)²⁴. C'est une grandeur toujours positive non nulle, l'activité métabolique minimale vitale est évaluée à 0,7 Met, mais cette valeur est en fonction des paramètres physiologiques, notamment le poids, la taille, et le sexe.

Selon Pierre Fernandez, on peut distinguer trois niveaux de métabolisme²⁵

- *Métabolisme de base* : nécessaire à la vie, il concerne la position couchée à jeun (la digestion consomme de l'énergie). Pour une personne « normalisée », ce métabolisme est de l'ordre de 75W
- *Métabolisme de repos* : c'est la chaleur minimale produite dans des conditions pratiques de repos du corps, par exemple en position assise, ce métabolisme est de l'ordre de 105W
- *Métabolisme de travail* : qui dépend de l'activité physique, comme exemple le travail de bureau, ce métabolisme est de l'ordre de 105 à 140 W

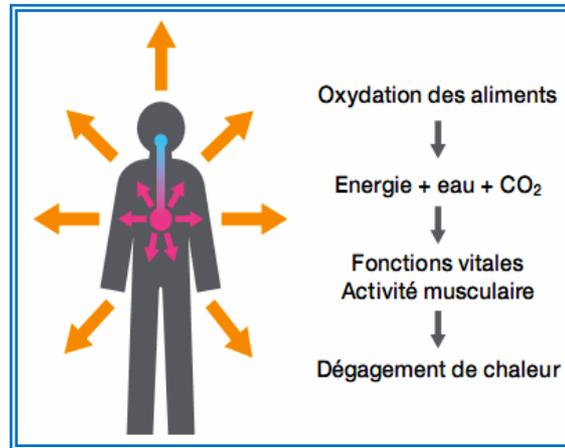


Figure I.3 : Le métabolisme humain.

I.3.1.2.2. Les échanges thermiques du corps humain

Le corps humain en tant que système ouvert, est en interaction permanente avec son environnement via des échanges cutanés et respiratoires. La production de chaleur métabolique produite dans le corps peut être mise à profit d'une élévation de la température interne, ou bien être dissipée à l'extérieur.

²³ 1 Met correspondant à l'activité métabolique d'un sujet assis au repos, 1 Met = 58 W/m²

²⁴Merzeg Abdelkader.« La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie ».Mémoire de magistère, département d'architecture de Tizi-Ouzou, 2010, p49

²⁵ Fernandez. P, et Lavigne. P. « Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes », le Moniteur, 2009, p 93

Ces échanges thermiques suivent cinq modes différents qui sont; la conduction, la convection, le rayonnement, l'évaporation et la respiration, comme nous l'illustrons sur la figure I.4²⁶

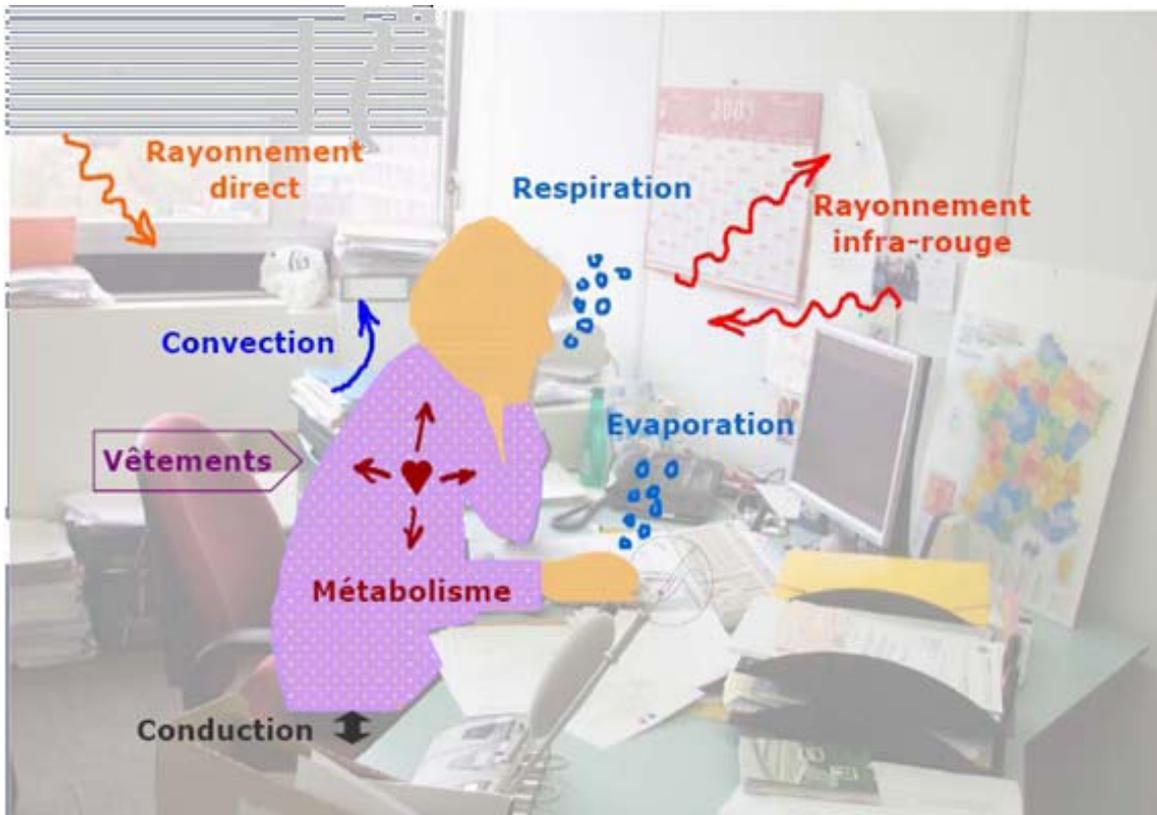
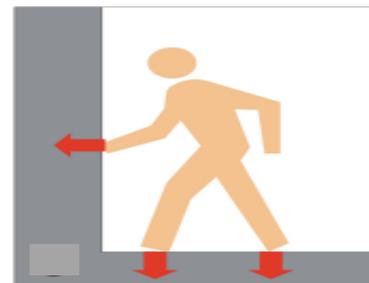


Figure. I.4 :L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement

✘ Les échanges de chaleur par conduction

La conduction concerne l'échange de chaleur par contact direct entre certaines parties du corps et une surface de température différente (le sol, les parois ou le mobilier). Par exemple un matériau effusif plus froid que la peau, par contact « pompe » de la chaleur au corps humain en donnant une sensation de froid²⁷.

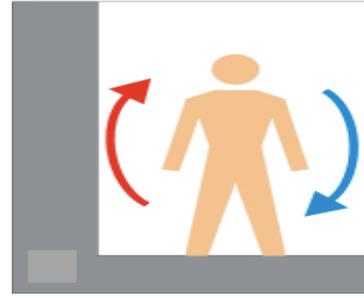


²⁶Moujalled, B.« Modélisation dynamique du confort thermique ». Thèse de doctorat présentée à l'institut des sciences appliquées de Lyon (France). 2007.

²⁷Fernandez ,P, et Lavigne, P. « Changement d'attitude pour concevoir un cadre bâti bioclimatique : une contribution au développement durable, Techniques de construction », CTQ 013, .éditions du moniteur, 2010

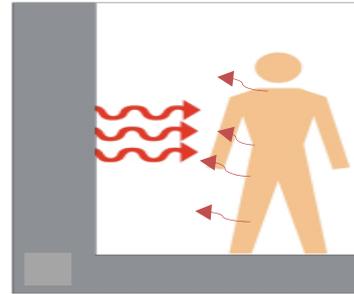
✘ Les échanges de chaleur par convection

La convection est le transfert de chaleur entre la peau et l'air qui l'entoure. Elle dépend de la différence entre la température de l'air et celle de la surface exposée, peau ou vêtement. Si la température de la peau est supérieure à la température de l'air, la peau va se refroidir. Dans le cas contraire, elle va se réchauffer.



✘ Les échanges de chaleur par rayonnement

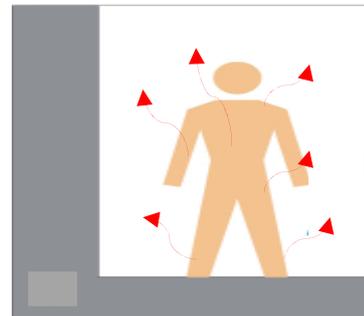
L'échange par rayonnement est le mode d'échange de chaleur à distance entre deux corps par ondes électromagnétiques. Il s'agit principalement d'échanges, entre la surface du corps et les surfaces de la pièce. Ainsi, des inconforts froids peuvent être perçus par rayonnement à proximité des parois froides (exemple: mur mal isolé, fenêtre simple vitrage).



✘ Les échanges de chaleur par évaporation

Nous distinguons deux types d'évaporation cutanée, à savoir perspiration et transpiration.

- ✓ *La perspiration* est un phénomène d'évaporation diffusive continue liée à la présence permanente d'eau sur la peau. La quantité d'eau évaporée par perspiration est fonction des conditions hygrométriques de l'air ambiant, mais avoisine 11 g/h par m² de peau²⁸



- ✓ *La transpiration* (sudation) est un processus de régulation qui se déclenche dès lors que le corps n'est plus en équilibre thermique.²⁹

La figure I.5³⁰ illustre la relation qu'il y a entre les paramètres de confort et les modes d'échange de chaleur.

²⁸ Cordier, N. « développement et évaluation de stratégies de locaux de grandes dimensions », thèse de doctorat 2007, p 321

²⁹ Cordier, N. (2007), op cit,



Figure I.5 : Relations entre les paramètres de confort et les modes d'échange de Chaleur

I.3.1.3. L'aspect psychologique du confort thermique

Au delà des aspects physiques et physiologiques du confort thermique, un certain nombre de phénomènes et de paramètres non thermiques apparaissent dans l'évaluation du confort thermique d'un occupant.

La sensation que chacun peut avoir du confort dépend de nombreux paramètres intrinsèques à l'individu tels que l'âge, le sexe, le poids, la fatigue et l'état de sante, auxquelles s'ajoutent les facteurs socioculturels³¹.

D'autres paramètres liés davantage à l'ambiance générale dans le local où se situe l'individu, comme la couleur par exemple, peut également influencer la perception du confort³². Dans une étude, Rohles et Wells³³ ont observé que les sujets avaient plus chaud dans un environnement de couleur rouge que dans un environnement de couleur bleue.

³⁰ M. Frenot & al. L'isolation thermique, le répertoire des solutions pratiques pour l'habitat existant. Ed. Edisud. Aix en Provence, France 1979. In A. Merzeg. « La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie ».Mémoire de magistère, université de Tizi-Ouzou, 2010

³¹ Courgey, S et Oliva, J.P., « la conception bioclimatique, des maisons confortables et économes »,Edition terre vivante,2010,p 31

³². Cordier, N ; « Développement et évaluation de stratégie de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions», Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon. 2007

³³ Rohles, F.H., Wells W.V., , The role of environmental antecedents on subsequent thermal comfort, ASHRAE Transactions, cite in Grignon-Masse,. L 2010, op cit. 44

I.3.2. L'approche adaptative du confort thermique

L'approche adaptative considère que les personnes ne sont pas passives vis-à-vis de leur environnement intérieur, mais jouent un rôle actif dans le maintien de leur confort thermique, c'est-à-dire que l'homme peut agir sur son environnement en fonction de ses besoins et de sa perception du climat.³⁴

Humphreys considère le principe suivant : « *si une modification des conditions climatiques se produit et provoque de l'inconfort, les personnes entreprendront des actions visant à rétablir leur confort* » L'ensemble de ces actions constituent la base de l'adaptation, plus le bâtiment est équipé de moyens d'adaptation et plus l'occupant est susceptible d'y éprouver du confort. D'après Nicol et Humphreys³⁵, si nous étions libres d'utiliser tous ces leviers d'action, le confort thermique ne serait pas un problème, le problème naît du fait qu'il existe de nombreuses contraintes limitant notre capacité à entreprendre l'une ou l'autre de ces actions.

De Dear, cité par Moujalled,³⁶ classe les actions d'adaptation envisageables en trois formes : comportementale d'ajustement, physiologique d'acclimatation et psychologique d'accoutumance.

I.3.2.1. Adaptation comportementale d'ajustement

L'adaptation par ajustement comportemental est la capacité d'un individu d'agir sur son environnement pour retrouver une situation de confort thermique. Elle le place comme acteur de son environnement, et implique certain contrôle sur celui-ci. Dans l'approche adaptative, le comportement est une manière de corriger une sensation thermique. Nous distinguons deux formes d'adaptation comportementale³⁷:

✓ *Personnelle*. L'adaptation se fait par changement de paramètres de confort liés à l'individu (vêtue, activité) ou par d'autres comportements (changement de lieu, prendre une boisson chaude ou froide.....)

³⁴Hugues, Boivin., « la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale », 2007, p103

³⁵ Nicol F., Humphreys M., « Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard » cite in Grignon-Masse., L 2010, op cit. 57

³⁶ Moujalled, B. « Modélisation dynamique du confort thermique », thèse de doctorat, présentée à l'institut des sciences appliquées de Lyon .France. 2007. p50

³⁷ Richieri , Fabrice . « Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères », thèse soutenue a L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2008.p 302

✓ *Environnementale et technologique.* L'occupant intervient sur son ambiance par le contrôle manuel des installations (ouvrir ou fermer une fenêtre, mise en marche d'un ventilateur)

I.4. Facteurs d'inconfort thermique

Malgré la réalisation d'un confort thermique global, des zones d'inconforts sont susceptibles d'être observées dans les bâtiments. Un environnement thermique inégal peut être la source d'inconfort pour certaines parties du corps. L'insatisfaction thermique peut être causée par un inconfort, causée par un refroidissement ou un réchauffement non désiré d'une partie du corps (tête, pieds, ou mains), par exemple, un courant d'air.

Un inconfort local peut également être dû à des différences de températures anormalement élevées entre la tête et la cheville, avec un sol trop chaud ou trop froid, ou à une asymétrie de rayonnement thermique. Ainsi, le confort thermique peut être affecté par plusieurs facteurs, citons³⁸ : Le courant d'air local, l'asymétrie de la température de rayonnement, la différence verticale de la température de l'air et la température des planchers

I.4.1. Effet des courants d'air.

La perception d'un courant d'air localisé notamment au niveau de la nuque ou du visage est un élément d'inconfort. Cette perception du courant d'air dépend de la vitesse de l'air, de la température de l'air, de la zone du corps concernée. Les courants d'air provoquent aussi une sensation de froid due à une convection assez importante entre la peau et l'air ambiant. Des courants d'air excessifs en hiver conduisent souvent les occupants à augmenter la température intérieure pour contrecarrer la sensation de froid. La norme recommande une vitesse d'air moyenne inférieure à 0,15 m/s en hiver et à 0,25 m/s en été lors d'un travail sédentaire.³⁹

I.4.2. Effet de l'asymétrie d'un rayonnement thermique.

Les asymétries du rayonnement sont dues, à la présence d'une paroi chaude ou froide telle qu'un plafond ou un plancher chauffant, un vitrage chaud ou froid. En outre, le gradient vertical de température est aussi une source d'inconfort. S'il est suffisamment élevé, il peut apparaître une sensation de chaud au niveau de la tête ou de froid au niveau des pieds, même

³⁸Maalej, J., « Emetteurs de chaleur dans les bâtiments : comportement thermique et étude des performances ». Thèse de Doctorat soutenue le 19 septembre 1994, l'Université de Valenciennes, 1994, p 151

³⁹Corinne, M. « Travail à la chaleur et confort thermique ». Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, NST 184, décembre 1999

si le corps est en état d'équilibre thermique. Moujalled⁴⁰ conclut que l'asymétrie de température radiante doit être inférieure à 10°C pour une paroi verticale froide (baie vitrée en hiver), et 5°C pour un plafond chaud (plafond chauffant)

I.4.3. Effet de gradient thermique vertical de l'air.

En général, les températures sont plus élevées en hauteur donc au niveau de la tête, La norme admet une différence de température d'air maximum de 3°C entre 0,1 m du sol (niveau des chevilles) et 1,1 m du sol (niveau de la tête chez une personne assise)⁴¹

I.4.4. Effet de la température du sol.

Hoffman J B.,⁴² précise qu'une température de plancher trop élevée ou trop basse entraîne un inconfort au niveau des pieds. Plusieurs auteurs ont effectué des recherches sur ce sujet et selon Olsen BW⁴³, les températures optimales de sol pour les personnes chaussées et à la neutralité thermique sont de 23 °c pour les personnes debout et de 25°c pour les personnes assises, avec un minimum de 6% d'insatisfaits.

D'autres éléments influençant le confort thermique ont été étudiés : l'âge, le sexe, la nourriture, la localisation géographique, la couleur des murs, le bruit, la lumière. Toutefois, il ne peut exister de règles de confort universelles du fait de grandes variations géographiques et intra-individuelles⁴⁴, sauf que Les médecins de l'habitat sain proposent les valeurs suivantes pour chaque facteur du confort⁴⁵:

- * Température des murs : $22 \pm 2^\circ\text{C}$
- * Humidité relative entre 30 et 70%
- * Température du sol : 19 à 24°C
- * Vitesse de l'air : inférieure à 0,20 m/s ;
- * Différence de température entre deux murs d'une même pièce doit être inférieure à 10°C
- * Différence de température entre le sol et le plafond doit être inférieure à 5°C

⁴⁰Moujalled, B. « Modélisation dynamique du confort thermique », thèse de doctorat, présentée à l'institut des sciences appliquées de Lyon .France. 2007

⁴¹ Vogt J.J. « confort physiologique .technique de l'ingénieur ».B2180. 1995.p 10

⁴² Hoffman J.B. « Ambiances climatisées et confort thermique » les actes du COSTIC .P110

⁴³ Olsen B.W. « thermal comfort requirement fir floors occupped by people with bare feet », cite in : Mansouri Y. (2003),op cit, p273

⁴⁴ Vogt J.J. « confort physiologique ». Techniques de l'ingénieur, document N° B 2180. 1995, p 10

⁴⁵ Deoux. S, « Le guide de l'habitat sain », Andorra: édition medieco, Avril 2002, p.211

I.5. Évaluation du confort thermique

L'évaluation du confort thermique dans les espaces est un paramètre capital dans toute conception architecturale⁴⁶. Les premières recherches se sont basées sur les enquêtes de terrain avec des questionnaires en classifiant la sensation thermique (très chaud, neutre et très froid) ainsi que sur les essais de laboratoires sous des conditions climatiques artificielles⁴⁷.

Cette évaluation a conduit plusieurs chercheurs à développer et à élaborer des indices de prédiction des niveaux de confort à l'intérieur des bâtiments,

En plus des indices thermiques, des tentatives ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphiques qui permettent de prédire des zones de confort, connus sous le nom de diagrammes bioclimatiques, ils sont l'aboutissement direct de la connaissance du climat, ces outils sont également développés pour permettre d'obtenir des bâtiments confortables, adaptés aux variables climatiques.

I.5.1. Indices pour l'évaluation du confort thermique

De nombreux travaux de recherche, réalisés à l'intérieur des bâtiments ou dans des conditions expérimentales parfaitement contrôlées en laboratoire, ont recensé les principales causes d'inconfort et ont permis d'établir un certain nombre d'indices, nommés « indices de confort thermique », qui sont en général définis en fonction de la température et de la vitesse de l'air.

Nous ne citerons ici que les indices les plus couramment utilisés dans l'ensemble des normes de confort.

I.5.1.1. Les indices PMV et PPD

À partir d'études réalisées en laboratoire sous des conditions stables, c'est-à-dire sans que l'individu ne change ni de vêtements, ni d'activité physique, Fanger a développé les indicateurs de confort thermique ; le PMV (*Vote Moyen Prévisible*) et le PPD (*Pourcentage Prévisible D'insatisfaits*). Le premier prédit la sensation thermique moyenne d'un large groupe d'individus et le second, le pourcentage d'occupants insatisfaits de l'environnement thermique.

⁴⁶ 1 Givoni, B. « L'Homme, L'Architecture et le Climat ». Edition, Le Moniteur, Paris, 1978, p39

⁴⁷ Tixier, N. « De la notion de confort à la notion d'ambiance » in revue du laboratoire cresson de l'école d'architecture de Grenoble et CNRS Ambiances architecturales et urbaines, France. 2007

❖ Le PMV (*Vote Moyen Prévisible*)

Le PMV établi par Fanger permet de mesurer une sensation thermique globale du corps humain à partir du métabolisme et donne la moyenne des votes en référence à une échelle de sensation thermique. Les valeurs de l'indice PMV varient entre -3 et 3 comme l'indique le Tableau I.3

En constatant que les questionnaires utilisés pour évaluer le confort peuvent omettre certaines situations de confort, Fanger a avancé le postulat suivant : « Sont déclarées inconfortables toutes les personnes ayant des sensations supérieures à l'échelle 2 ou inférieures à l'échelle -2 ». Il a ensuite associé le PPD (Pourcentage Prévisible D'insatisfaits) qui exprime le pourcentage des sujets «insatisfaits» de manière générale.

VALEURS DE L'INDICE PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
SENSATION THERMIQUE	Chaud	Tiède	Légèrement tiède	Neutre	Légèrement Frais	Frais	Froid

Tableau I.3 : Correspondances entre PMV et échelle des sensations thermiques

❖ Le PPD (Pourcentage Prévisible D'insatisfaits)

À cause des différences physiologiques, il s'avère impossible de satisfaire tout le monde en réunissant des conditions "idéales", et Le PPD (pourcentage prévisible d'insatisfaits) exprime sous forme de pourcentage les sujets «insatisfaits» d'une ambiance thermique déterminée.

Par contre, il est possible de créer un environnement dans lequel le pourcentage

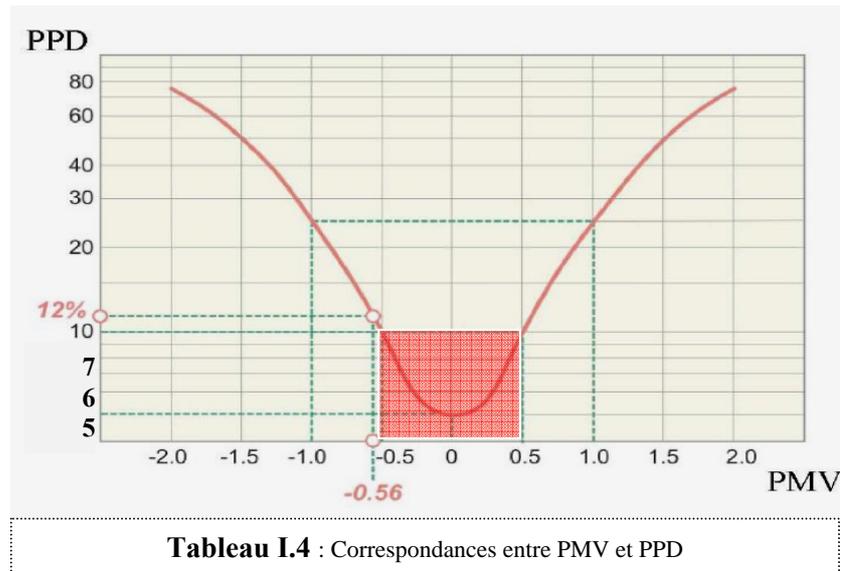


Tableau I.4 : Correspondances entre PMV et PPD

de personnes satisfaites est maximum, qui correspond aux conditions optimales de neutralité thermique du corps humain⁴⁸. Il reste néanmoins, en moyenne, 5 % d'insatisfaits lorsque le PMV est nul, comme le montre le tableau I.4 suivant⁴⁹

La norme ISO 7730⁵⁰ stipule que pour se situer dans la zone de confort thermique, il faut que :

$$-0,5 < PMV < 0,5 \text{ soit } PPD < 10 \%$$

I.5.1.2. La température de l'air ambiant (Ta)

Elle représente l'indice le plus utilisé pour le contrôle des ambiances en intérieur du fait de la simplicité de sa mesure. Ce paramètre ne présente pas de grosses difficultés de mesure et d'évaluation, mais revêt un caractère toutefois limité pour la caractérisation complète du confort. Indice connu de tous, la température de l'air sera donc largement utilisée comme indice de confort dans le cas d'un contrôle peu strict du confort thermique.⁵¹ Il est utilisé pour définir les consignes de température références pour les installations de chauffage en période hivernale et climatisation en période estivale.

I.5.1.3. La température opérative (Top)

La température opérative, T_{op} , est un indice de confort thermique intégrant deux paramètres physiques, la température de l'air ambiant et la température moyenne radiante. Il s'agit donc d'un indice d'appréciation des effets convectifs et radiatifs sur le confort de l'individu.⁵² La norme ISO 7730 fournit le calcul simple de cet indice par la formulation (Equation I.1)⁵³:

$$T_{op} = \alpha T_a + (1 - \alpha) T_{mrt} \quad \text{Eq I.1}$$

⁴⁸Justin, K. « Ventilation des logements et critères d'évaluation de la qualité des ambiances intérieures », thèse de doctorat, CSTB, p33

⁴⁹Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement « Redéfinir la notion de confort thermique », in guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, n° css13 ; Belgique. 2007

⁵⁰ISO 7730 « Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort » AFNOR, Paris.1994.

⁵¹Cordier, N. « développement et évaluation de stratégies de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions », thèse de doctorat soutenue à L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France, 2007, p 61

⁵² Cordier, N., (2007), op cit, p62

⁵³Richieri, F. « Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères », thèse de doctorat soutenue à L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2008.p302

Avec :

- Top** : La température opérative. [°C]
- Ta** : La température d'air.[°C]
- Tmrt** : La température moyenne radiante. [°C]
- **α** : Coefficient en fonction de la vitesse d'air.

Le tableau I.5 nous donne quelques valeurs de α en fonction de la vitesse de l'air⁵⁴

Vitesse (m/s)	0 - 0,2	0,2 - 0.6	0,6 – 0,7
α : coefficient	0,5	0,6	0,7

Tableau I.5 : Valeurs de α en fonction de la vitesse d'air

Avec des vitesses de l'air inférieures à 0,2 m/s, la température opérative est égale avec une bonne approximation, à la moyenne arithmétique des températures citées⁵⁵, et pouvant être écrite de la façon suivante.

$$Top = (Ta + Tmrt) /2 \qquad Eq I.2$$

Pour des activités sédentaires ou légères exercées par des personnes portant une tenue vestimentaire estivale normale, la température opérative limite de confort est de 27°C pour un environnement avec 55% d'humidité relative, elle peut, par contre, être augmentée jusqu'à 29°C, si la vitesse de l'air est au-dessus de 0,2 m/s⁵⁶.

I.5.2. Evaluation du confort thermique par des enquêtes in situ.

Les études in situ sur le confort thermique ont constitué une étape importante pour l'évaluation du confort thermique dans les bâtiments. Depuis le travail pionnier de Bedford en 1936⁵⁷, les enquêtes se sont multipliées sous les différents climats (sec, humide, tropical, méditerranéen, etc.) avec comme cibles principales les bâtiments résidentiels et de bureaux.

⁵⁴ Cordier, N. (2007), op cit, p62

⁵⁵ Bruant, M. « Développement et paramétrages de contrôleurs flous multicritères du confort d'ambiance », in Conception en bâtiment et techniques urbaines, I.N.S.A (Institut National des Sciences Appliquées) de Lyon, France.1997

⁵⁶ Hugues Boivin « la ventilation naturelle Développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale », mémoire de maîtrise, université Laval, Québec, 2007, p 115

⁵⁷ Endravadan, Mala. « Régulation des systèmes de chauffage et de climatisation basée sur la sensation thermique humaine. Impact sur la consommation d'énergie dans les bâtiments ». Thèse Energétique. Toulouse: Université de Paul Sabatier - Toulouse III, 2006, 161 p.

Les enquêtes in situ visent à explorer le confort thermique auprès des sujets sur leurs lieux de vie ou de travail habituels à travers les mesures physiques de l'ambiance et les réponses perceptives et affectives des sujets. Ces enquêtes permettent de collecter à la fois des paramètres concernant l'ambiance thermique (températures, humidité...) et les réponses de sensation thermique des occupants qui se trouvent dans des situations réelles de la vie quotidienne.

Les méthodes d'enquête utilisées ont été aussi variées que leurs objectifs. Certaines enquêtes sont exploratoires, elles cherchent à déterminer les conditions du confort thermique dans différents types de bâtiment sous différents climats.

Il y a aussi des enquêtes qui étudient l'influence d'un élément particulier sur le confort thermique (l'utilisation de la climatisation). Enfin, nous retrouvons les enquêtes réalisées dans le but de développer une nouvelle loi pour le confort thermique, ce qui est le cas de l'approche adaptative qui a mobilisé plusieurs enquêtes réalisées ces dernières années.

Ainsi retrouvons nous des études in situ comportant des simples mesures physiques de la température et de l'humidité, et d'autres qui englobent des mesures physiques détaillées de l'ambiance thermique ainsi que l'évaluation perceptive de l'ambiance thermique par les différents sujets, accompagnée par les observations sur leurs vêtements et leurs activités.

Nicol F, cité par Collard P⁵⁸, propose de classer les enquêtes in situ en trois niveaux selon l'étendue et la précision des mesures réalisées. Il s'agit de mesures physiques et subjectives

1.5.2.1. Classification des enquêtes in situ

Les trois niveaux d'enquêtes in situ sont les suivants :

- ❖ **Niveau I** : des mesures physiques de la température de l'air, avec ou sans l'humidité de l'air, sont effectuées à un seul endroit dans le local. Les mesures peuvent être ponctuelles ou continues. Elles peuvent être accompagnées d'une description succincte des sujets et de certaines caractéristiques du bâtiment ainsi que d'une évaluation de l'ambiance thermique par les sujets. Ce type d'enquête permet d'avoir des informations sur l'ambiance thermique sans beaucoup impliquer les occupants

⁵⁸ Nicol, F. "Thermal comfort, a handbook for field studies toward an adaptive model." London:University of East London, 1993. Cite in Collard, Philippe. « Approche multicritère de l'évaluation de la qualité des ambiances intérieures : application aux bâtiments tertiaires ». Thèse Génie Civil et Sciences de l'Habitat. Chambéry: Université de Savoie, 2001, 215 p.

- ❖ **Niveau II** : ce niveau correspond à l'enquête classique sur le confort thermique pendant laquelle les différentes grandeurs physiques de l'ambiance thermique (température de l'air, température radiante, vitesse de l'air et humidité de l'air) sont mesurées conformément aux normes ISO 7730 et ISO 7726, et parallèlement à l'évaluation subjective de l'ambiance thermique par l'utilisateur à l'aide d'échelles de jugements subjectifs (vote de perception, vote d'évaluation et vote de préférence).
- ❖ **Niveau III** : par rapport au niveau précédent, les enquêtes doivent inclure en plus les informations sur les vêtements et les activités des sujets pour permettre de calculer les différents indices de confort, notamment le PMV/PPD. Les enquêtes peuvent être complétées par des observations sur le comportement des sujets (l'utilisation des moyens de contrôle de l'ambiance thermique) selon l'étendu et l'objectif de l'enquête.

Les trois niveaux cités correspondent à la majorité des enquêtes rencontrées sur terrain, mais les enquêtes in situ sont aussi divisées en deux catégories selon la méthode d'échantillonnage : les enquêtes transversales réalisées avec une large population, et les enquêtes longitudinales dont la population est limitée avec un échantillon représentatif de la population.

1.5.2.1.1. Les enquêtes transversales

Elles sont réalisées avec une large population où chaque individu contribue à un seul ou un nombre limité de votes, ce type d'enquête permet d'explorer les conditions thermiques dans les bâtiments et les comparer aux perceptions et aux attentes des occupants afin d'en dégager les conditions de confort thermique. Les enquêtes transversales sont préférables pour explorer la qualité des ambiances thermiques dans les bâtiments, elles permettent une précision acceptable sur les résultats.

1.5.2.1.2. Les enquêtes longitudinales

Les enquêtes longitudinales s'intéressent à un nombre limité d'individus suivis sur une période prolongée (les participants doivent constituer un échantillon représentatif de la population) mais le nombre de contribution de chaque individu est beaucoup plus important permettant ainsi de suivre l'évolution du confort thermique sur une séquence de temps. Ces enquêtes contribuent à la compréhension des processus d'adaptation qui permettent de suivre l'évolution de l'état thermique de l'ambiance et des sujets sur une période donnée (quelques jours, ou quelques mois) selon les objectifs recherchés. Mais la limite pour ce genre

d'enquête consiste à trouver des personnes disponibles pour y participer, vu l'importance du temps, surtout si l'enquête est prolongée hors des horaires de travail.

I.5.3. Les échelles des jugements du confort thermique

Le confort s'appréhende à partir de réponses à des questions relatives à la satisfaction ou l'agrément vis-à-vis de l'état thermique local et global de l'individu. Il apparaît donc très important de faire la part entre⁵⁹ :

- ✓ L'état thermique du sujet qui l'amène à donner une expression de sa sensation personnelle ;
- ✓ L'état thermique de l'ambiance qui est jugée à travers la perception sensorielle du climat.

Le sentiment de confort ou d'inconfort, exprimé à partir de l'état thermique du sujet, peut être très influencé par des perceptions locales désagréables.

Pour juger le confort thermique, 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) ?

I.5.3.1. Les différentes échelles de jugement.

Pour évaluer la sensation thermique, différentes échelles ont été développées, selon le type de jugement recherché : jugement perceptif ou jugement de tolérance⁶⁰.

Cinq échelles sont proposées : trois échelles sont élaborées pour recueillir les jugements et deux supplémentaires pour exprimer l'acceptabilité personnelle.⁶¹

Le principe consiste à différencier les jugements portés par les personnes sur leurs propres sensations thermiques, cette méthode d'évaluation présente plusieurs avantages :

- Une distinction est effectuée entre la perception, l'évaluation affective et la préférence de chaque individu ;

⁵⁹ Journée du CUEPE « *Habitat, confort et énergie* », Genève le 22 mai 2003

⁶⁰ Martinet, C. et Meyer, J-P. « Travail à la chaleur et confort physique » in revue "Note scientifique et technique" de l'I.N.R.S (Institut National de Recherche et de Sécurité) n° NS 184. France. 1999,p60

⁶¹ Bonhomme, S. « Méthodologie et outils pour la conception d'un habitat intelligent », thèse de doctorat, l'institut national polytechnique de Toulouse, 2008,p.229

- L'individu exprime naturellement ses sensations thermiques ;
- La méthode permet d'estimer non seulement les ambiances confortables mais également les ambiances inconfortables.

II.5.3.1.1. Echelles de jugement perceptif, évaluatif et préférentiel.

Les trois échelles doivent être appliquées dans l'ordre. Ci-dessous, sont présentés trois exemples de questions relatives aux items de l'échelle de jugement.

1-Echelle de perception : "« Comment vous sentez vous ? " (Échelle à 7 niveaux)

degré	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
formulation	Très chaud	chaud	légèrement chaud	Ni chaud ni froid	légèrement froid	froid	Très froid

2-échelle évaluative : " trouvez-vous cela ?" (Échelle à 5 niveaux)

degré	4	3	2	1	0
formulation	Extrêmement inconfortable	très inconfortable	inconfortable	légèrement inconfortable	confortable

3- échelle de préférence : " veuillez indiquer comment vous préféreriez être maintenant " ? (7 niveaux)

degré	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
formulation	Beaucoup plus chaud	plus chaud	Légèrement chaud	ni plus chaud ni plus froid	Légèrement plus froid	plus froid	beaucoup plus.froid

I.5.3.1.2. Expression de l'acceptabilité et de la tolérance personnelles

Les formulaires d'acceptabilité et l'échelle de tolérance doivent être appliqués après les échelles de perception et d'évaluation. Le rejet ou l'acceptation sont exprimés sur un plan personnel et plusieurs facteurs relatifs au contexte sont en relation (exigence de confort, durée d'exposition, etc.).

1-jugement d'acceptabilité personnelle : "comment jugez-vous cet environnement d'un point de vue personnel ?" (Échelle à 4 niveaux)

Degré	4	3	2	1
formulation	Tout à fait acceptable	tout juste acceptable	tout juste inacceptable	Tout à fait inacceptable

2- jugement de tolérance personnelle : "Cet environnement est..... ?" (Échelle à 5 niveaux)

Degré	0	1	2	3	4
<i>formulation</i>	<i>parfaitement tolérable</i>	<i>légèrement difficile à tolérer</i>	<i>assez difficile à tolérer</i>	<i>très difficile à tolérer</i>	<i>Impossible à tolérer</i>

L'ensemble des échelles proposées permet à l'utilisateur d'exprimer ses sensations et préférences de diverses manières ; néanmoins on peut admettre que si la satisfaction implique un jugement global, l'insatisfaction trouve souvent son origine localement. Quand l'insatisfaction est globale, l'inconfort est grand. S'il fallait donc classer les sensations de confort, on pourrait formuler la gradation suivante⁶² :

- ❖ **Inconfort** : expression de l'insatisfaction ou du désagrément de façon continue ou répétitive, ne permettant pas à la nuisance de se "faire oublier" ;
- ❖ **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 2 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 d'agrément recherchée).

1.5.4. Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique

En plus des indices thermiques, diverses recherches ont été entamées pour connaître les limites du confort thermique sous forme diagrammes bioclimatiques. En 1953 le premier « diagramme bioclimatique » a été proposé par V. Olgay. Il était le premier à mettre au point une procédure qui est basée sur un diagramme bioclimatique ou il détermine une zone de

⁶² Candas, V. Le confort thermique. Techniques de l'Ingénieur, 2000, BE 9 085, 15.

confort avec des plages d'été et d'hiver et les mesures de correction dans le cas où la combinaison entre l'humidité et la température se situe hors la zone de confort. Aussi les tables de Mahoney qui sont une série de tableaux de référence d'architecture, sont utilisées comme guide pour obtenir des bâtiments confortables, adaptés aux conditions climatiques.

I.5.4.1. Définition du diagramme bioclimatique

Le diagramme bioclimatique est un outil d'aide à la décision globale du projet permettant d'établir le degré de nécessité de mise en œuvre de grandes options telles que l'inertie thermique, la ventilation généralisée, le refroidissement évaporatif, puis le chauffage ou la climatisation, il est construit sur un diagramme psychrométrique (appelé aussi diagramme de l'air humide)(figure I.6)⁶³.

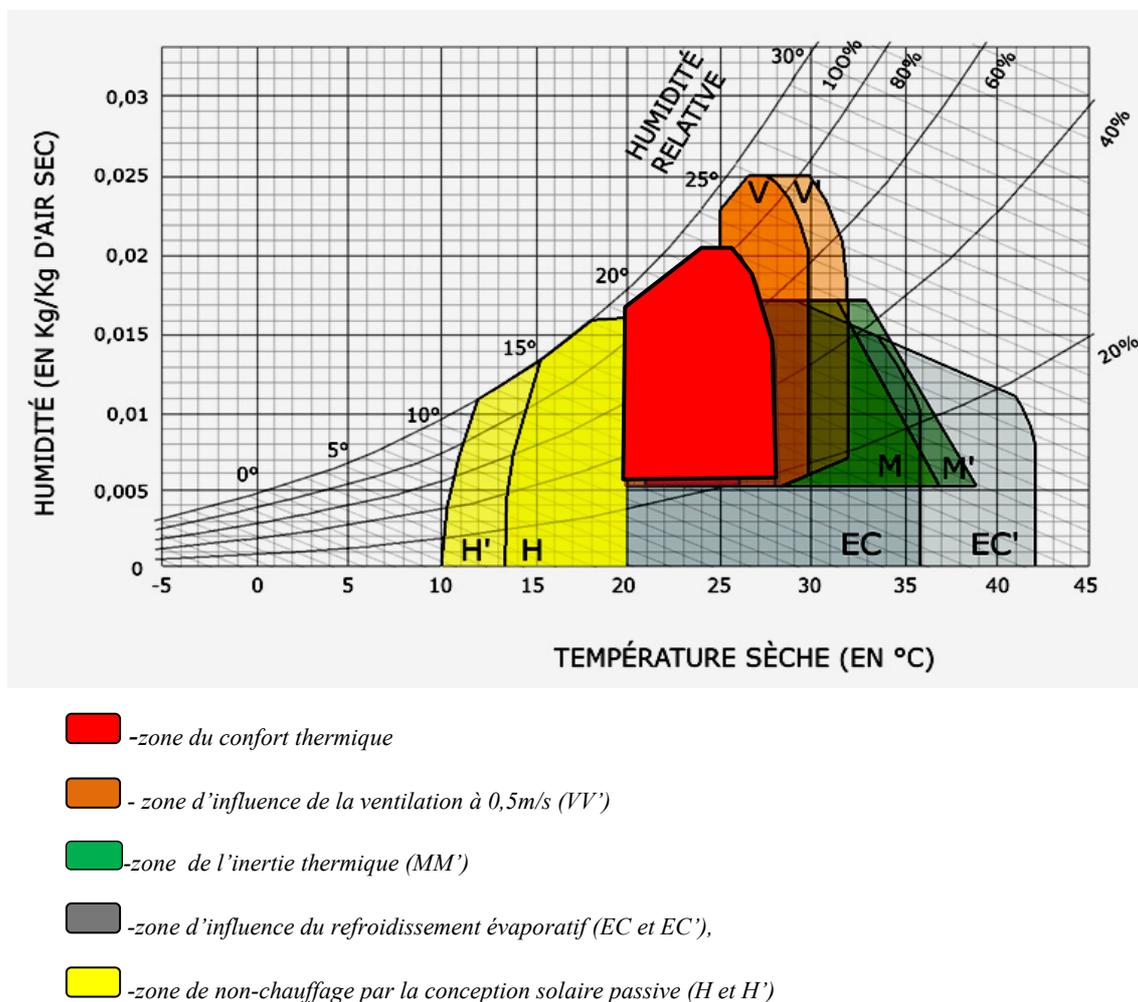


Figure I.6 : Diagramme bioclimatique

⁶³ Izard, J.-L., Kaçala, O. « Le diagramme bioclimatique » Environnement-Méditerranée, laboratoire abc, Esna-Marseille, 2008 téléchargé le 10 Mai 2010 à partir du site <http://www.marseille.archi.fr/~izard/.2008>

Sur ce diagramme sont représentées⁶⁴:

- La zone de confort hygrothermique tracée pour une activité sédentaire, une vitesse d'air minimale (en général 0,1 m/s) et les tenues vestimentaires moyennes d'hiver et d'été;

L'extension de la zone de confort hygrothermique due à la ventilation par augmentation de la vitesse d'air de 0,1 à 1,5m/s;

- La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'inertie thermique associée à la protection solaire ;
- La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'utilisation de systèmes passifs de refroidissement par évaporation;
- La zone des conditions hygrothermiques qui nécessitent l'humidification de l'air
- La zone des conditions hygrothermiques compensables par une conception solaire passive du bâtiment.

Le diagramme bioclimatique trouve son utilité dès que les conditions climatiques s'écartent du polygone de confort, la distance qui sépare ces conditions des limites du polygone suggère dans le diagramme bioclimatique les solutions constructives et fonctionnelles qu'il faut adopter pour concevoir un bâtiment adapté: ventilation, inertie thermique, protection solaire, utilisation des systèmes passifs.

Cette méthode graphique permet de bien se rendre compte de quelques techniques que l'on peut utiliser pour améliorer le confort dans le bâtiment. On peut voir par exemple que plus la vitesse de l'air est importante, plus la zone de confort est grande. Une ambiance peut donc être confortable avec une température de 30°C si la vitesse de l'air est de 0,5 m/s, de même, on se rend compte qu'à une température donnée, si l'on baisse l'humidité de l'air, on peut passer d'une zone d'inconfort à une zone de confort. C'est ce qui est utilisé dans les systèmes de climatisation, qui en même temps apportent de la fraîcheur à un local, diminuent son taux d'humidité.⁶⁵

Le diagramme bioclimatique n'est pas un outil de dimensionnement précis du projet, mais

⁶⁴ Izard, J-L. Kaçala, O. (2008) op cit

⁶⁵ Tittlein, Pierre. « Environnements de simulation adaptés à l'étude du comportement énergétique des bâtiments basse consommation », université de Savoie, 2008, p 220

il constitue bien un guide pour aider l'architecte à prendre les bonnes décisions en phase esquisse.⁶⁶

I.5.4.2. Diagramme de Givoni

Se basant sur les études antérieures d'Olgay, Givoni a élaboré une méthode expérimentale où il représente les limites des ambiances confortables sur un diagramme psychométrique courant. Il présente une méthode plus performante que celle de V. Olgay, dans l'évaluation des exigences physiologiques du confort.

Givoni définit le confort en considérant la personne en état d'activité, Par l'intermédiaire de son diagramme bioclimatique, il a prouvé qu'avec l'application des concepts de l'architecture, l'effet de variation climatique de l'environnement extérieur peut être réduit au minimum⁶⁷. Il a alors mis au point un outil synthétisant les zones thermo-hygométriques et les moyens d'intervention par des dispositifs architecturaux ou techniques qui peuvent être

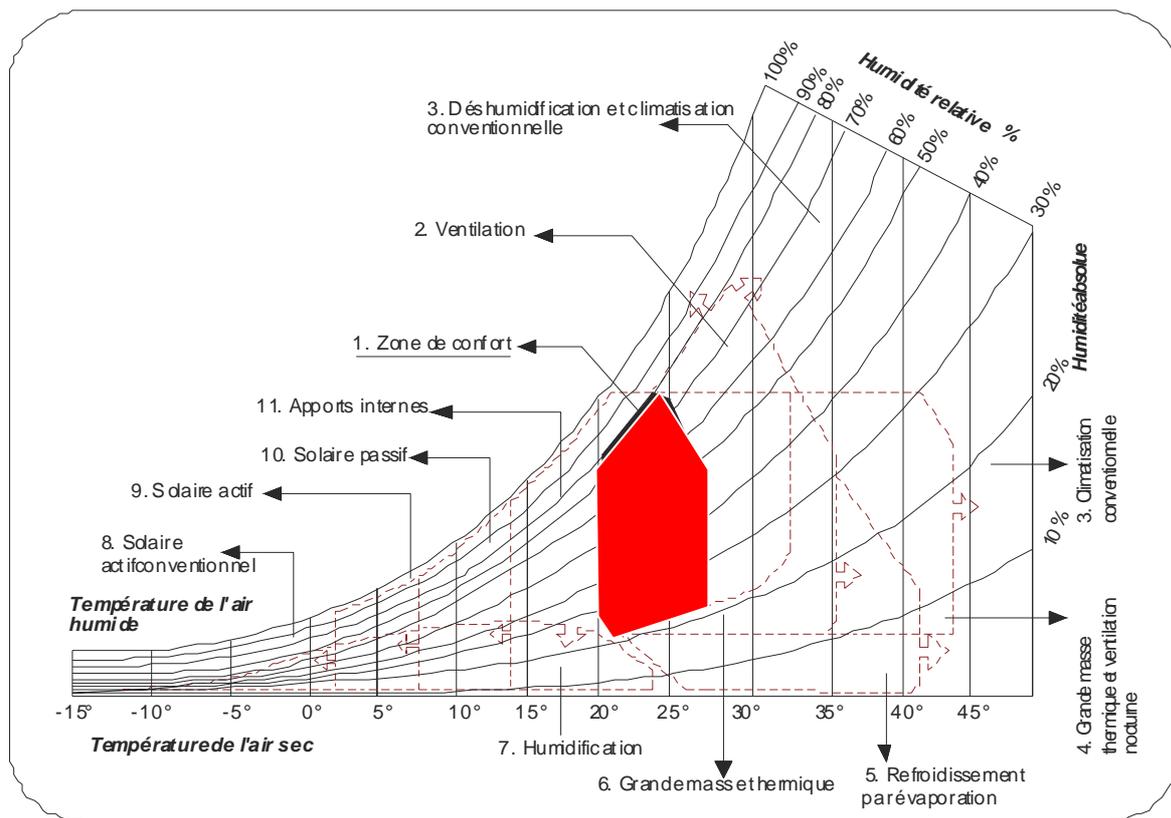


Figure I.7 : Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni.

⁶⁶ Izard-L. Kaçala, O (2008), op cit

⁶⁷ The demonstration component of the Joule-Thermie programme. European commission thermie. [en ligne] <http://erg.ucd.ie/ttp.html>

utilisés pour remédier aux sollicitations du climat⁶⁸. Ceci est exprimé sur un diagramme psychométrique ou bioclimatique (figure I.7), présenté dans son ouvrage « L'homme, l'architecture, le climat »⁶⁹.

La zone de confort est positionnée au centre, l'aire extérieure à cette zone est subdivisée en zones secondaires, où l'auteur propose différentes procédures permettant de réintégrer les conditions de confort. Givoni a procédé dans l'élaboration de ses zones climatiques à des exigences de confort universelles. Sa zone de confort se situe entre les températures 20 et 27°C⁷⁰, C'est à dire qu'il considère que toutes les personnes, quelque soit la latitude à laquelle ils se trouvent, réagissent de la même manière au confort.

I.5.4.3. Tables de Mahoney

Carl Mahoney a développé une méthode de traitement des données climatiques très simple, constituée d'une suite de tableaux.

Les tables de Mahoney sont une série de tableaux de référence d'architecture utilisées comme guide pour obtenir des bâtiments confortables, adapté aux conditions climatiques. Ces tables qui tirent leur nom de l'architecte Carl Mahoney qui les a créées, sont constituées d'une suite de 6 tableaux⁷¹. Quatre sont utilisées pour entrer les données climatiques :

- 1-Températures : moyennes mensuelles des températures maximales et minimales ;
- 2-Humidité, précipitations et vent ;
- 3-Comparaison des limites de confort et du climat ;
- 4-Indicateurs : par combinaison des données des tables précédentes, classification de l'humidité ou de l'aridité pour chaque mois.

Les deux autres tableaux indiquent les recommandations architecturales à respecter telles que la forme et l'orientation du bâtiment, la position, la dimension ou l'exposition des ouvertures.....etc. (Voir chapitre IV).

En fonction des données climatiques (Températures, Humidités relatives, Précipitations, du site d'intervention, la méthode de Mahoney va aider l'architecte à prendre les meilleurs décisions en phase esquisse.

⁶⁸Chatelet, A. et al., « Architecture climatique, une contribution au développement durable » Tome 2, Concepts et dispositifs, Editions Edisud, Aix-en-Provence, France. 1998,p19.

⁶⁹ Givoni, B. (1978), Op. cit. p 330.

⁷⁰Ould-Hennia, A. « Choix climatiques et construction, zones arides et semi-arides : la maison à cour de Boussaâda ». Thèse de doctorat, école polytechnique Fédérale de Lausanne, suisse, 2003, p180

⁷¹Ould-Hennia, A. (2003) op cit, p180

Conclusion

Exposé à un environnement thermique, le corps humain réagit par une interaction dynamique mobilisant un ensemble de réactions rétroactives, volontaires et involontaires, qui permettent de contrôler les échanges thermiques avec cet environnement afin de satisfaire son 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.

Deux approches ont été définies dans cet état de l'art sur le confort thermique, l'approche analytique et l'approche adaptative. L'approche analytique représente l'homme comme une machine thermique et considère les interactions avec l'environnement en termes d'échanges de chaleur. La deuxième approche considère le confort thermique à travers les réactions comportementales qui caractérisent la capacité adaptative de l'occupant dans son environnement, elle considère que les personnes jouent un rôle actif dans le maintien de leur confort thermique, c'est-à-dire que l'homme peut agir sur son environnement en fonction de ses besoins et de sa perception du climat.

L'étude et l'évaluation du confort thermique ont d'abord été abordés à travers des indices de confort déterminés par les expérimentation et des mesures in situ, Suite aux indices thermiques, des tentatives ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphiques qui permettent de prédire des zones de confort, connus sous le nom de diagrammes bioclimatiques considéré lui aussi comme une techniques universelle d'évaluation du confort thermique, applicable pour tous les cas de types de bâtiment; de zones climatiques et des populations différentes. Ce diagramme ainsi que les tables de Mahoney, ne sont pas des outils de dimensionnement précis du projet, mais ils constituent bien des guide pour aider l'architecte à prendre les bonnes décisions en phase esquisse pour assurer un meilleur confort thermique.

DEUXIÈME CHAPITRE

*Le confort thermique dans l'approche
de l'architecture bioclimatique*

Introduction

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

Jadis, l'adaptation des constructions aux facteurs climatiques s'est faite spontanément, et depuis des siècles on constate des solutions pratiques en rapport avec le climat à travers les époques et les civilisations. L'intégration du facteur climatique dans la conception urbaine et architecturale n'est pas nouvelle « La démarche bioclimatique que l'on considère aujourd'hui comme une nouveauté n'est en fait que le prolongement de certains savoir-faire que se transmettait jadis des « non-architectes ».

Cependant, concevoir un bâtiment bioclimatique requiert à l'architecte une culture technique minimale, basée sur la connaissance des phénomènes physiques en jeu⁷² et qui consiste en la compréhension de la composante énergétique à travers ses manifestations (transfert d'énergie et de masse...) et son impact sur l'occupant en termes de confort thermique. Le but est donc de pouvoir continuer à assurer l'abri et le confort de l'utilisateur tout en minimisant la consommation d'énergie pour la climatisation et le chauffage ainsi que l'impact du bâtiment sur l'environnement.

II.1. La conception architecturale bioclimatique

L'homme a toujours construit un abri pour se préserver des contraintes climatiques, Construire bioclimatique, c'est accepter l'idée que chaque bâtiment est un projet individuel. Dans un même site, deux bâtiments côte à côte, peuvent être construits différemment parce qu'ils n'auront pas les mêmes caractéristiques de terrain, de limites, d'orientation, et de voisinage immédiat⁷³. L'architecture bioclimatique est donc, une architecture qui cherche à tirer parti de l'environnement plutôt que de le subir, afin de rapprocher au maximum ses occupants des conditions de confort. Cette architecture va utiliser l'énergie solaire passive à son avantage pour réaliser une ambiance intérieure confortable⁷⁴, où en période froide, elle favorise les apports de chaleur gratuites, diminue

⁷² Fernandez, P. « Stratégies d'intégration de la composante énergétique dans la pédagogie du projet d'architecture », thèse de doctorat, Ecole des mines de Paris. 1996

⁷³ Valin, M. « La maison met le cap au sud » article paru dans la revue science & vie " La maison du XXI^e siècle" n° 241, décembre 2007. France.

⁷⁴ Actes de l'exposition « Ma maison en 2030 : énergie maîtrisée, planète protégée », Paris ,du 29 juin au 28 juillet 2006.

les pertes de chaleur et assure un renouvellement d'air suffisant. En période chaude, elle réduit les apports calorifiques et favorise le rafraîchissement. Selon Izard J-L⁷⁵, « cette architecture est basée sur la recherche d'une stratégie de réconciliation entre la forme, la matière et l'énergie ».

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'architecture⁷⁶

II.1.1. Les principes de base de l'architecture bioclimatique

L'architecture bioclimatique recherche une synthèse harmonieuse entre la destination du bâtiment, le confort de l'occupant et le respect de l'environnement, en faisant largement appel aux principes de l'architecture. Cette architecture permet de réduire les besoins énergétiques et de créer un climat de bien-être dans les locaux avec des températures agréables, une humidité contrôlée et un éclairage naturel abondant. Ces principes sont fondés sur un choix judicieux de la forme du bâtiment, de son implantation, de la disposition des espaces, des matériaux utilisés et de l'orientation en fonction des particularités du site : climat, vents dominants, qualité du sol, topographie, ensoleillement et vues. Nous présentons d'abord les bases de conception d'ensemble qui conditionnent le choix d'un parti architectural, pour ensuite nous intéresser aux bases de détail.

II.1.1.1. Les bases de conception d'ensemble

II.1.1.1.1. La localisation du bâtiment

Le choix d'implantation d'un bâtiment influence directement sur le degré de confort thermique que ce dernier peut procurer à ses occupants, à cause de l'incidence du soleil, des vents dominants sur son enveloppe et de sa situation dans son environnement.

La localisation du bâtiment dans son site, selon Pierre Fernandez⁷⁷ est un préalable de l'intégration de la composante énergétique dans la maîtrise des ambiances architecturales. Selon cet auteur, réussir une insertion du bâtiment, revient à exploiter le potentiel du site et procéder à l'analyse de l'interaction du projet avec les éléments caractéristiques de ce dernier, comme le relief, le contexte urbain, le type de terrain, la végétation, l'ensoleillement et enfin le vent.

⁷⁵ Izard, J-L. « Archi bio » Edition Parenthèses, France. 1979

⁷⁶ Izard J.L., Guyot A., (1979), Op.cit .p 9

⁷⁷ Fernandez, P. (1996), Op cit. p 98.

Pour David Wright⁷⁸, le processus de conception des bâtiments bioclimatiques, consiste en la recherche d'une méthode de création qui intègre tous les éléments importants de l'environnement, du site et du climat que nous résumons dans le tableau II.1

Environnement	Climat	Autres
<ul style="list-style-type: none"> - Type de région - Nature du sol - Végétation - Profil du terrain - Altitude et la latitude - Vue - Bruitetc 	<ul style="list-style-type: none"> - L'ensoleillement - Température - Type de temps - Luminosité - Précipitations - Humidité - ventetc 	<ul style="list-style-type: none"> - le contexte urbain - législation - Matériaux locaux - Eau, gaz, électricité - Alimentation en eau.....etc

Tableau II.1 : Éléments d'analyse pour localiser un bâtiment bioclimatique.

Une bonne implantation recherche à bénéficier au maximum :

- De protections naturelles au vent et au soleil estival par la topographie du terrain naturel et la végétation existante ;
- De l'ensoleillement hivernal en évitant les masques portés par la végétation, le relief et l'environnement bâti.

II.1.1.1.2. La forme et la compacité

La compacité d'un bâtiment ou le coefficient de forme (**Cf**) est défini comme le rapport entre la surface de déperdition de l'enveloppe extérieure et le volume habitable (m^2/m^3). Il indique le degré d'exposition du bâtiment aux conditions climatiques ambiantes. Plus la surface de déperditions est grande, plus les pertes de chaleur augmentent, le bâtiment est plus économe en énergie quand le coefficient de forme prend des valeurs plus élevées (chauffer le même volume mais avec moins de surfaces de déperditions).

Une forme compacte est souhaitable pour réduire le coût du confort thermique pour le chauffage et la climatisation du bâtiment, mais un bâtiment hyper compact n'est pas souhaitable du point de vue architectural et éclairage naturelle, donc un compromis doit être trouvé lors de la conception du projet.

⁷⁸ Wright, D. (2006), cite in Chabi ,M (2008) Op. cit. page 219.

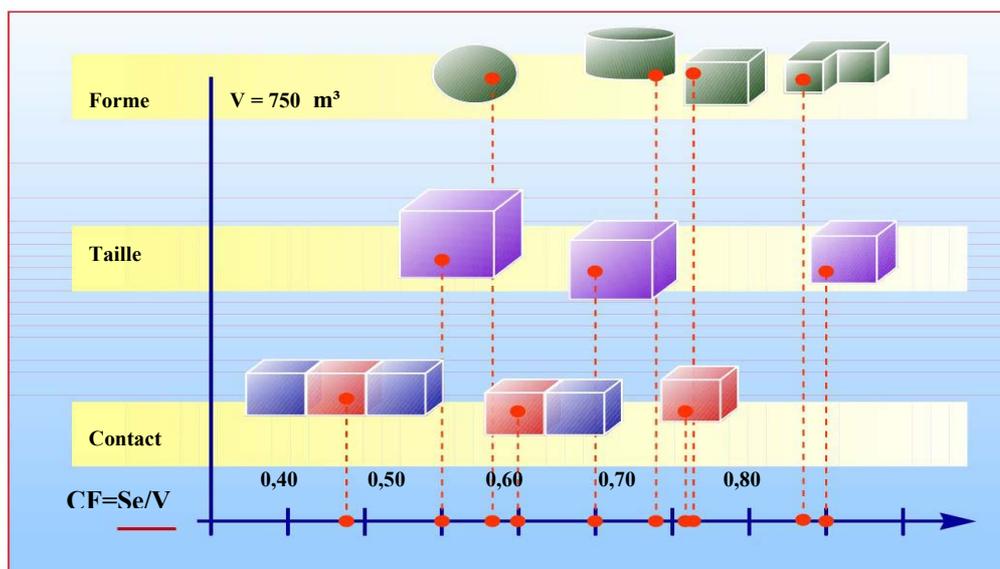


Figure II.10 : Impact de la forme, la taille et la proximité sur la compacité

Le coefficient de forme pourrait être critiqué par le fait qu'il ne prend pas en compte la répartition et la surface de vitrage et d'autre part que l'orientation du bâtiment est négligée. La figure II.10⁷⁹ ci-dessous, propose, à partir d'une analyse purement géométrique, de comparer la variation de la compacité par rapport à⁸⁰ : la forme (à volume constant), la taille (à forme constante), au mode de contact (à forme et volume constants).

II.1.1.1.3. L'organisation intérieure

L'occupation des divers espaces d'un bâtiment varie en fonction du rythme des journées et même des saisons. Définir ces différents espaces (zones) et caractériser leurs besoins thermique permet de les disposer rationnellement les un par rapport aux autres. Les zones habitées en permanence de jour ou de nuit étant ceux qui nécessitent le plus de chaleur en hiver sont séparés de l'extérieur par des espaces intermédiaires, dits « tampons » qui jouent le rôle de transition et de protection thermique. La hiérarchisation des espaces assure la transition entre l'extérieur et l'intérieur. Les espaces intérieurs sont organisés en fonction de l'usage, de manière à ce que l'ambiance thermique corresponde aux activités et aux heures d'utilisation, c'est-à-dire rarement utilisés mais jouant un rôle protecteur vis-à-vis du froid. Pour optimiser l'approche thermique d'un bâtiment, l'idéal est d'organiser, dès la première formulation spatiale du bâtiment, les locaux suivant leurs besoins.

⁷⁹Liebard, A. et De Herde, A. (2005). Op cit p 83b

⁸⁰ IBGE- Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement : « Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments : construire un bâtiment compact » ENE05 février 2007

L'élaboration de zoning climatique (figure II.11⁸¹) permet suivant le type d'activité et le taux de fréquentation de l'espace, de disposer les espaces suivant les besoins énergétiques, suivant que l'espace est chauffé, chauffant ou tampon, cela permet de réduire les besoins calorifiques et frigorifiques des bâtiments et d'en augmenter le confort.⁸²

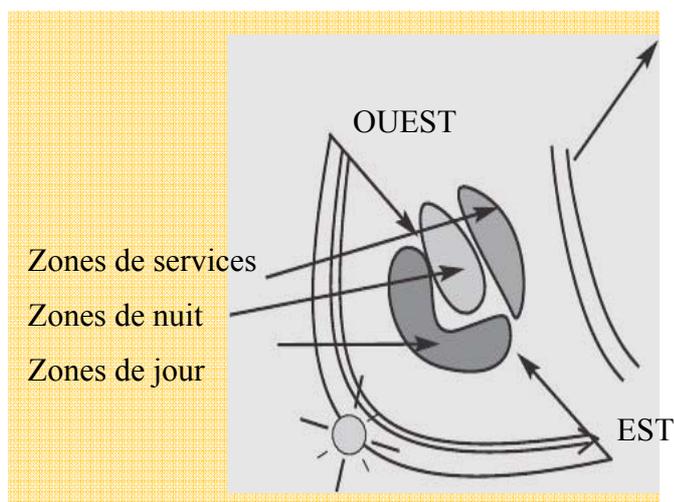


Figure II.11 : principes du zonage thermique

II.1.1.1.4. L'orientation

Le choix d'une orientation est soumis d'après Baruch Givoni⁸³ à de nombreuses considérations, telles que la vue, dans différentes directions, la position du bâtiment par rapport aux voies, la topographie du site, la position des sources de nuisances, le rayonnement solaire et ses effets d'échauffement, ainsi que la ventilation en rapport avec la direction des vents dominants. Il place le concept de l'orientation au centre des éléments influant sur les ambiances intérieures d'un bâtiment.

II.1.1.1.4.1. L'orientation et l'ensoleillement

L'ensoleillement est caractérisé par la trajectoire du soleil et la durée de l'ensoleillement. Les conditions géométriques du système terre-soleil déterminent la position relative du soleil, qui est repéré par son azimut (c'est l'angle horizontal formé par un plan vertical passant par le soleil et le plan méridien du point d'observation) et sa hauteur angulaire (c'est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan de l'horizon). Figure II.1⁸⁴

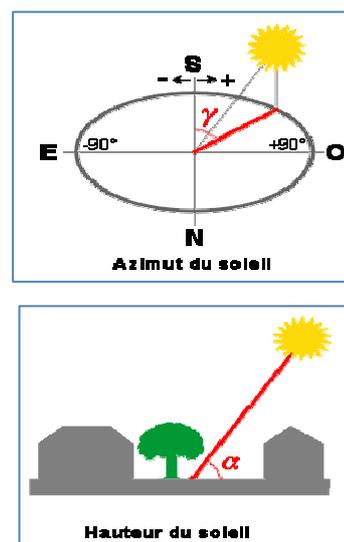


Figure II.1 : Les coordonnées solaires
Source :www-energie.arch.ucl.ac.be

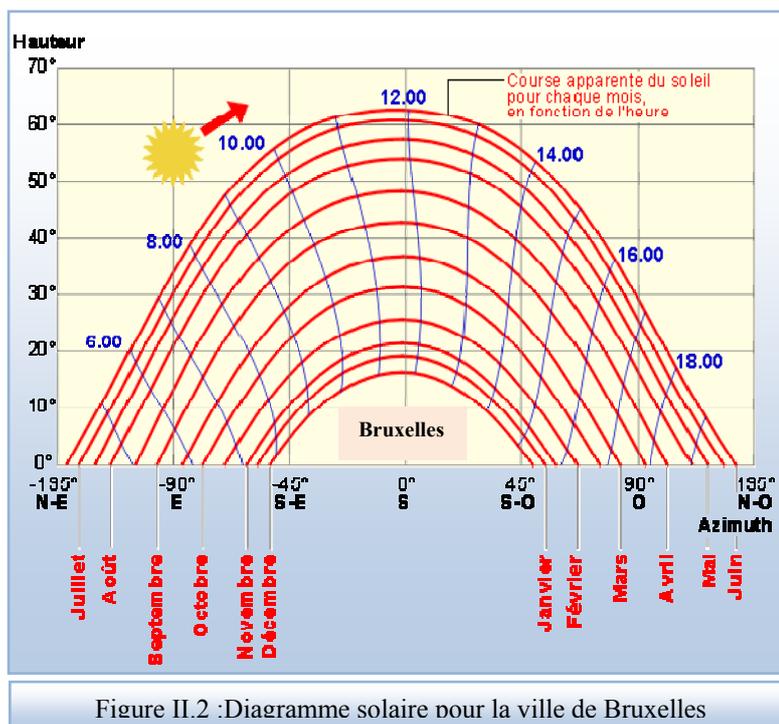
⁸¹ Hauglustaine, J.M et Simon.F« la conception globale de l'enveloppe et l'énergie » guide pratique pour les architectes, février 2006

⁸² Adem [En Ligne] www.wanado.com page consulter le 30 janvier 2010

⁸³ Givoni, B. « L'homme, l'architecture et le climat » .Edition du Moniteur, Paris. 1978

⁸⁴www-energie.arch.ucl.ac.be

Selon la date, l'heure et l'orientation, l'exposition solaire est différente, le diagramme ci-dessous⁸⁵ représenté par la Figure II.2, représente les courses apparentes du soleil dans le ciel et montre la position du soleil à tout moment sous une latitude donnée. Les courbes rouges représentent la course solaire en un lieu donné pour des dates déterminées (généralement



le 15 du mois) et pour une période de six mois. Les courbes en bleu représentent le lieu des équihoraires.

Ainsi est connue la hauteur et l'azimut du soleil, les surfaces ensoleillées du bâtiment peuvent être calculées. Ces calculs tiendront compte des effets d'ombrage dus au relief, au cadre bâti, à la végétation ou au bâtiment lui-même. On considère généralement que le rayonnement solaire n'est utile que pour une hauteur $> 10^\circ$ ⁸⁶

L'ensoleillement est en très grande partie responsable de divers effets sur les bâtiments. 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.

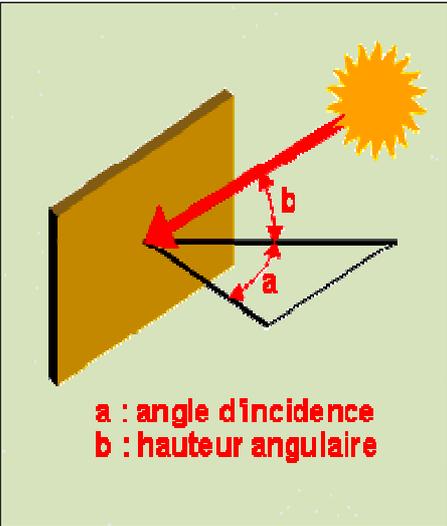
Au plan énergétique, l'orientation d'une paroi par rapport au rayonnement solaire influe sur l'énergie solaire incidente. Le tableau II-2 ci-dessous donne les pourcentages de rayonnement intercepté par une surface en fonction de l'angle d'incidence⁸⁷.

⁸⁵ Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, « assurer une bonne protection solaire », recommandation pratique, ENE13, février 2007

⁸⁶ Fernandez, P. (1996), Op cit. p 122.

⁸⁷ Chabi Mohammed., « étude bioclimatique du logement social-participatif de la vallée du M'zab : cas du ksar de Tafilet » Mémoire de magistère, université de Tizi-Ouzou, juin 2009

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



a : angle d'incidence
b : hauteur angulaire

Tableau II. 2 : Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi

II.1.1.1.4.2. L'ensoleillement et les revêtements extérieurs de l'enveloppe

Selon l'orientation de la façade ou de la toiture, on devrait choisir des qualités de revêtement où des couleurs de parois opaques dans des gammes qui atténuent les gains solaires (facteur d'absorption faible) et favorisent l'émission de chaleur par rayonnement infrarouge (facteur d'émission élevé). Pour limiter la surchauffe, seul le revêtement des faces exposées au soleil est sensible.

Cheng.V affirme que l'application de la couleur de surface claire sur une façade est un moyen très efficace pour réduire la température intérieure et participe donc à la protection solaire du bâti en climat chaud et humide⁸⁸

La modification des propriétés physiques des surfaces extérieures constitue le moyen le plus facile de contrôle des quantités de rayonnement absorbé, ce moyen comprend le changement de couleur ou de texture.

La figure II.3⁸⁹ qui suit, donne le coefficient d'absorption pour différents matériaux et différentes couleurs.

⁸⁸ CHENG.V, NG.E & GIVONI.B : « Effect of envelope color and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate » Solar Energy 2005..

⁸⁹ Liebard.A Et De Herde.A, 2005,Op Cit

L'influence de l'orientation, sur les températures des surfaces extérieures (proportionnelle à l'intensité du rayonnement incident), affecte tour à tour le flux de chaleur à travers le mur et les températures de surface interne. Quantitativement, le régime et l'amplitude de l'élévation de la température dépendent de la capacité calorifique et de la résistance des murs.

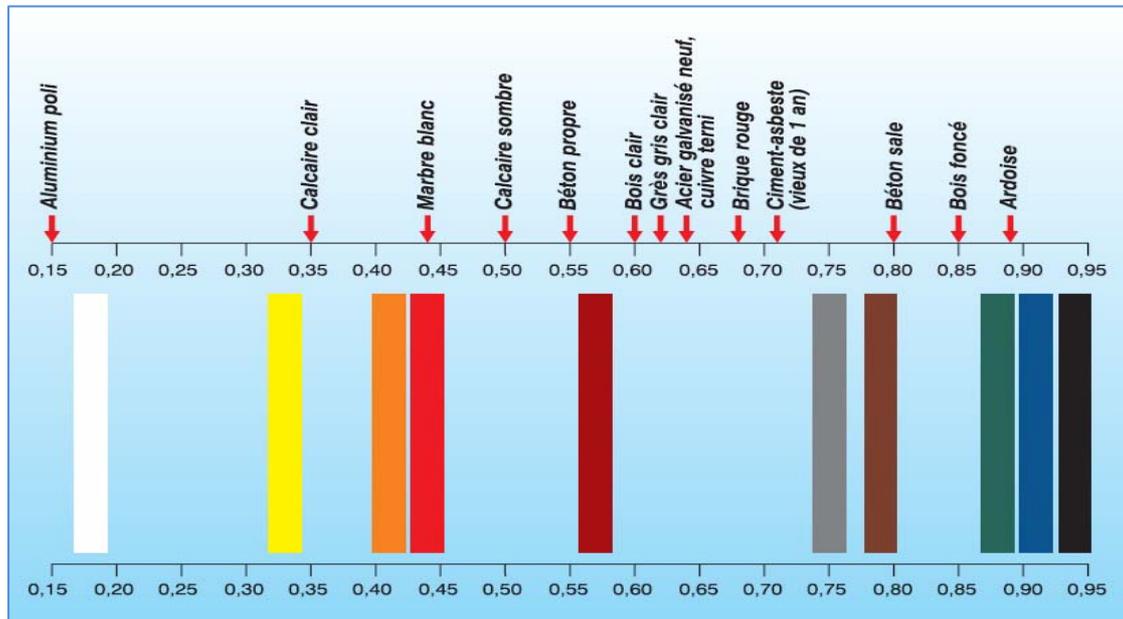


Figure II.3 : Coefficients d'absorption pour différents matériaux et couleurs

Les problèmes de l'ensoleillement, posés aux concepteurs, sont aujourd'hui complexes. Il s'agit de concilier, le confort d'été, les qualités d'ambiances et la protection de l'enveloppe, dans une approche de dualité entre soleil d'été et soleil d'hiver⁹⁰. Plusieurs architectes intègrent l'ensoleillement comme une dimension conceptuelle des plus importantes, ils ont mis en œuvre des formes et éléments architecturaux destinés à contrôler les rayons solaires ; 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), ou par la création de brise-soleil (Le Corbusier)

II.1.1.4.3. L'orientation et les vents

Le vent est un déplacement d'air, essentiellement horizontal, d'une zone de haute pression (masse d'air froid) vers une zone de basse pression (masse d'air chaud).

Le régime des vents en un lieu est représenté par une rose des vents (Figure. II.4), qui exprime la distribution statistique des vents suivant leur direction.

⁹⁰ Siret, D. « Ensoleillement et conception assistée par ordinateur » in actes de la conférence I.B.S.A. France.2002

Par définition, la direction d'un vent correspond à son origine, On caractérise le vent par sa vitesse moyenne et sa direction. Cependant, l'importance d'un vent de direction et de vitesse donnée dépend de la proportion de temps pendant laquelle il a lieu, soit sa fréquence⁹¹.

En effet, le régime des vents est largement conditionné par la topographie locale (vallées, pentes, ...etc.) et par la rugosité des surfaces. Des obstacles tels que des écrans de végétation peuvent également freiner de façon significative la vitesse du vent.⁹²

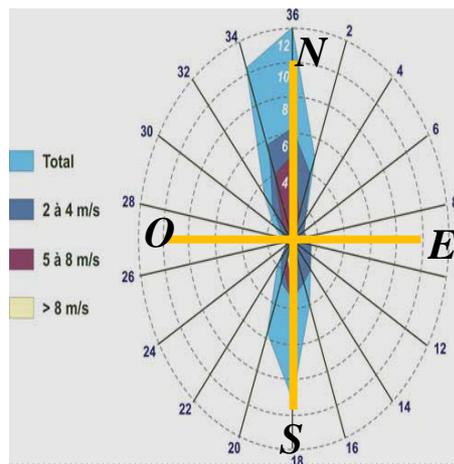


Figure II.4: La rose des vents

D'un point de vue physique, on classe les obstacles au vent en trois catégories : le relief, le cadre bâti et la végétation, Ces obstacles, dont l'effet dépend de leurs dimensions et leur perméabilité, constituent diverses obstructions et provoquent des modifications de la vitesse et de la direction du vent. En outre, ils peuvent occasionner des effets secondaires tels que des courants d'air et des turbulences. La figure II.5⁹³, qui suit montre la variation de la vitesse du vent, selon l'altitude et la nature du sol.

Le vent a, en effet, une action souvent 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. Il influence le taux d'infiltration d'air, ainsi que les échanges de chaleur par convection à la surface de l'enveloppe des bâtiments peu isolés. Il est donc important de

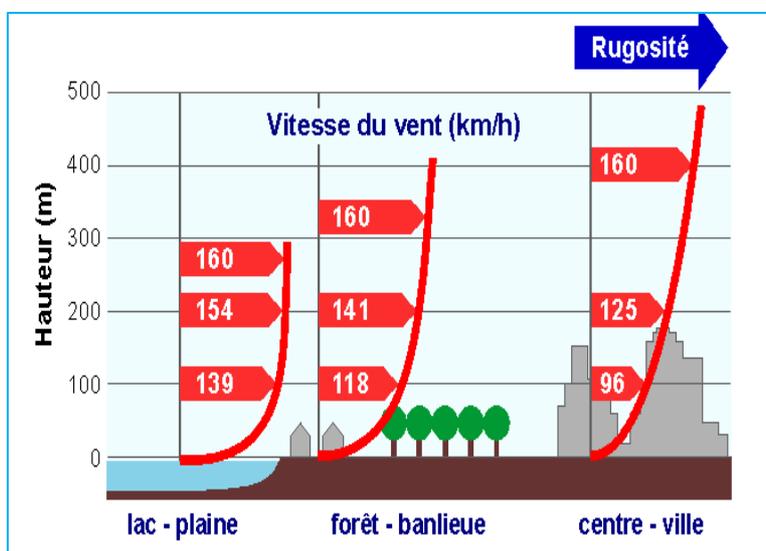


Figure II.5 : Vitesse du vent, selon l'altitude et la nature du sol

⁹¹Fernandez.P,et Lavigne.P .« Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes ».Edition le Moniteur, 2009,p115

⁹² Alain Liébard, Andre De Herde, « Traite d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », Éditeur observer, 2005, p368

⁹³ Alain Liébard, Andre De Herde.(2005).op. cit

connaître ses caractéristiques, sa vitesse moyenne, sa direction et son intensité, Izard J-L⁹⁴ signale dans ce cadre, que les orientations sont choisies à partir de l'utilisation que l'on désire, ainsi, les parois exposées aux vents porteurs de pluie, de sable ou autre doivent être spécialement protégées, alors que celles exposées aux vents doux peuvent être modérément ouvertes pour pouvoir utiliser l'évaporation comme moyen de rafraîchissement.

II.1.1.1.5. Les protections solaires

On entend par "protection solaire" tout élément dont le rôle est d'éviter que tout ou seulement une partie du rayonnement solaire ne pénètre à travers une ouverture⁹⁵.

Ainsi, La protection solaire des parois vitrées peut se faire à la fois par le vitrage lui-même (caractérisé notamment par son facteur solaire, FS) et par les différentes protections, extérieures ou intérieures, fixes ou mobiles, que l'on peut leur associer.

La conception d'une protection solaire, efficace est fondamentale pour qu'un bâtiment soit thermiquement et énergétiquement performant, par contre l'architecture moderne, conformément aux principes de la charte d'Athènes, est caractérisée par l'usage largement répandu du vitrage, qui a entraîné, selon B. Givoni⁹⁶ une considérable évolution des rapports entre les ambiances intérieures et le climat extérieur. Les problèmes de surchauffe se sont alors posés avec plus d'acuité, surtout que nous devons prendre en compte d'autres exigences qui varient suivant la nature des locaux, comme celles relatives aux domaines thermiques, visuels et de lumière naturelle⁹⁷.

La protection solaire des baies doit être conçue en fonction de leur orientation et peut être du type fixe ou mobile, extérieur ou intérieur. La combinaison de ces différents types sera recherchée pour une efficacité maximum

II.1.1.1.5.1. Le rôle des protections solaires

La conception des protections solaires doit répondre à une multiplicité d'objectifs, comme⁹⁸ : la limitation des surchauffes et de l'éblouissement ainsi que la gestion de l'éclairage naturel dans les pièces. Elle peut également contribuer à l'intimité des occupants et l'esthétique de la façade

⁹⁴ Izard, J-L. « Archi bio » Edition Parenthèses, France. 1979

⁹⁵ A.Chatelet, P.Fernandez et P.Lavigne : « L'architecture Climatique : Une Contribution Au Développement Durable, tome2 : concepts et dispositifs », Edition EDISUD-Aix-en-Provence1998 –page37-

⁹⁶ Givoni, B. « L'homme, l'architecture et le climat » Editions du Moniteur, France. 1978

⁹⁷ Neufert, E. « Les éléments des projets de construction », Editions Dunod, 6^{ème} Edition. France. 2005

⁹⁸ Jakob, D. « Confort d'été, protections solaires » in dossier de l'ARENE (Agence Régionale de l'Energie) de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2000. <http://www.regionpaca.fr/>.

II.1.1.1.5.2. Les différents types de protection solaires

De nombreux types de dispositifs de protection solaire existent, ils peuvent être structurales, fixes (porche, véranda, brise soleil) ou appliquées, mobiles (stores, persiennes, volets...), extérieurs ou intérieurs, verticaux ou horizontaux. Ils peuvent aussi être liés à l'environnement comme la végétation. L'efficacité des protections solaires est fonction de sa typologie, de son orientation et la période de l'année.

II.1.1.1.5.3. Les protections fixes

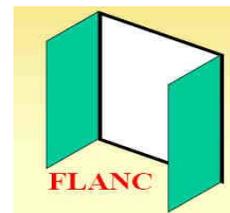
La mise en œuvre de protections solaires fixes peut, dans certains cas, s'avérer particulièrement intéressante dans la mesure où leur effet sera indépendant de l'action des utilisateurs. Ainsi, un local équipé d'un brise-soleil adapté sera protégé de la surchauffe, indépendamment de son occupation. L'inconvénient est qu'il offre une protection différente selon la position du soleil, Le local ne profite donc que peu des apports solaires en hiver, leur dimensionnement doit donc être correctement réalisé pour qu'il soit efficace

En général les typologies les plus usuelles sont les suivantes.

- ❖ **L'auvent** : constitué d'une avancée horizontale au dessus de l'ouverture: auvent, débord de toit, débord de dalle, balcon filant, brise-soleil horizontal, casquette, linteau de fenêtre. L'occultation au rayonnement direct est bonne en été et la casquette laisse passer le soleil quelle que soit l'orientation de la façade en hiver.



- ❖ **Le flanc** : constitué par des pans verticaux à côté de l'ouverture : décrochement de façade, saillie de refends, tableau de fenêtre, écran à lames verticales. L'occultation est quasiment constante (mais faible) toute l'année en orientation sud. Elle est assez forte à l'Est et à l'Ouest en hiver, ce qui n'est généralement pas souhaité, et quasi nulle en été.



- ❖ **La loggia** : combinée entre l'auvent et les flancs: loggia, tableaux+linteau de fenêtre, balcon filant+séparation verticale, écran à lames croisées. La protection solaire est bonne l'été, du Sud-est au Sud-ouest. Elle est moyenne toute l'année à l'Est et à l'Ouest.



La photo II.3⁹⁹ montre quelques exemples des différents types de protections solaires fixes.



Photos : II.3 : Différents Types de protections solaires

II.1.1.1.5.4. Les protections mobiles

1- Les protections extérieures mobiles

Il s'agit de stores vénitiens (lamelles horizontales), de stores enroulables, de stores à lamelles (verticales), etc., disposés du côté extérieur de la fenêtre.

Avec ce type de protection solaire, la protection peut être adaptée constamment aux conditions extérieures et intérieures: Elles sont utilisées en fonction des besoins, et permettent une protection efficace en été tout en bénéficiant des apports solaires en hiver Photos II.4¹⁰⁰



Photo II.4 : protections solaires extérieurs mobiles

2- Les protections intérieures mobiles

Stores extérieures, claustras, panneaux coulissants..etc, elles sont utilisées en fonction des besoins, elles permettent d'éviter le rayonnement direct sur une personne. Les

⁹⁹ Liebard, A. et De Herde, A. « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable », Editions Observ'ER, Paris. 2005

¹⁰⁰ Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement «assurer une bonne protection solaire, recommandation pratique », in guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, n°ENE13 ; Belgique. 2007

protections intérieures laissent en effet pénétrer le soleil dans la pièce, bénéficiant ainsi des apports solaires en hiver, mais elles ne sont pas très efficaces en été, puisque ce rayonnement solaire se transforme après en chaleur

3-La protection végétale

Par la végétation (arbre à feuille caduque, plantes autour du bâtiment) on peut se protéger des rayonnements solaires et leur feuillage persistant interceptent le rayonnement solaire et les empêchent

d'atteindre les façades. De plus elle se comporte comme humidificateur réduisant la température de l'air par évaporation. En hiver, ce type d'arbre perd leur feuillage et



Terrasse avec Pergolas en Hiver

Terrasse avec Pergolas en été

Photos II.5 : La végétation à feuillage caduc comme protection solaire

laisse pénétrer le rayonnement solaire.(voir Photos II.5)

II.1.1.1.6. La Ventilation Naturelle

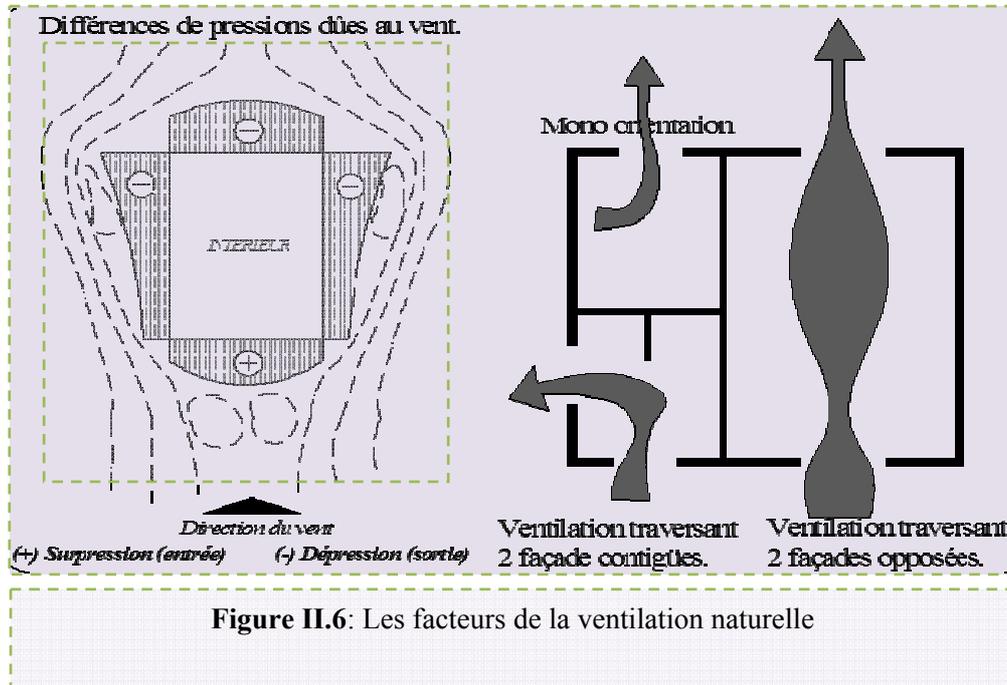
Dans la littérature, la ventilation naturelle est définie comme étant le mouvement d'air qui s'effectue à travers un espace sans l'influence d'appareillage mécanique. Les écoulements d'air naturels reposent sur les effets du vent et les variations de la densité de l'air dus aux différences de températures, elle est considéré comme principe de rafraîchissement passif.

La ventilation est intéressante car d'une part, elle peut apporter de la fraîcheur si l'air extérieur est plus froid que l'air intérieur ; d'autre part, elle permet un mouvement d'air qui joue sur le confort thermique car il accroît les échanges thermiques entre le corps et l'air ambiant par convection et par évaporation de la sueur. La ventilation a également un rôle hygiénique vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur.

Selon Gandemer G¹⁰¹, l'air se déplace grâce aux différences de pression qui existent entre les façades et grâce à la différence de masse volumique de l'air en fonction de sa température (figure II.6) . Mais le débit est très mal contrôlé car il dépend du vent, des conditions climatiques, de la saison et peut conduire à une sous-ventilation ou au contraire

¹⁰¹ Gandemer, Guyot. « Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti », CSTB, 1976

à une sur ventilation. Néanmoins, Pour assurer une ventilation naturelle efficace, la conception du bâtiment doit prendre en considération les phénomènes physiques d'écoulement d'air et la position des ouvertures en façade.



II.1.1.1.6.1. Stratégies de la ventilation naturelle

Il existe de nombreux types de modes de ventilation naturelle dans les bâtiments, les trois principaux sont :

1. La ventilation traversante
2. La ventilation de simple exposition,
3. La ventilation par tirage thermique.

1. Ventilation naturelle traversante

La prise en compte de la position des ouvertures par rapport au vent est importante dans la création du déplacement d'air.

La ventilation traversante dans un local doit réunir deux conditions: La première est que le local comporte deux ouvertures, et la deuxième est que celles-ci soient sur deux façades opposées du local. La différence de pression entre le côté sous le vent du

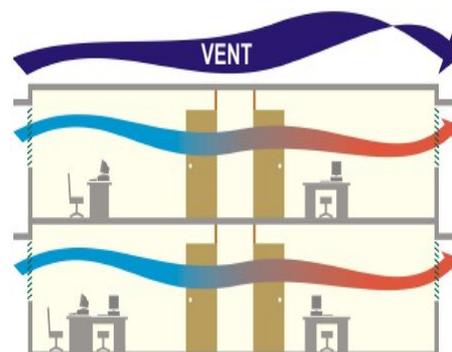


Figure II.7 : Ventilation traversante

bâtiment et le côté face au vent va entraîner des écoulements d'air d'une ouverture à l'autre

Givoni B, estime que la meilleure condition de ventilation transversale est obtenue lorsque le flux d'air change de direction à l'intérieur de l'espace en se déplaçant de l'entrée vers la sortie¹⁰².

2. Ventilation par une seule façade

C'est le mode de ventilation naturelle le plus simple, il consiste en l'aération d'un espace sur une seule façade, permettant à l'air extérieur d'accéder et à l'air intérieur de sortir par la même ouverture, ou par une autre ouverture située sur le même mur de façade.

Les fenêtres doivent être hautes, ou être munies d'ouvertures en bas et en haut de la façade, pour favoriser l'établissement d'un tirage thermique qui permettra à l'air extérieur plus frais d'entrer par les entrées basses, et à l'air intérieur de s'extraire par les orifices hauts.

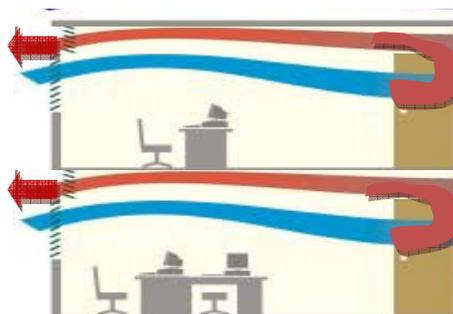


Figure II.8 : Ventilation unilatérale

2. Ventilation naturelle par tirage d'air (effet de cheminée)

La ventilation par tirage thermique est parfois utilisée quand la ventilation traversante n'est pas possible et quand la ventilation par exposition simple n'est pas suffisante. 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

L'effet cheminée, particulièrement efficace en hiver et les nuits d'été, est le mouvement ascensionnel de l'air intérieur dans un conduit, du fait qu'il est plus chaud et donc plus léger que l'air extérieur. Ce mouvement induit une entrée d'air frais dans le bas du bâtiment ou du conduit et une sortie de l'air chaud par le haut..

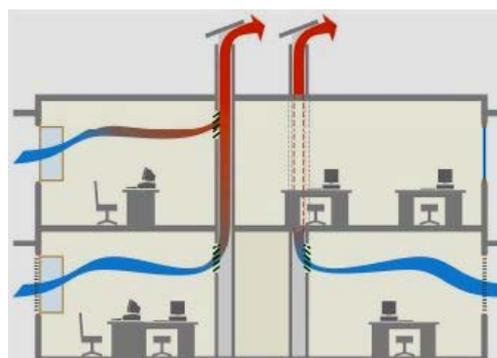


Figure II.9 : Ventilation par effet de cheminée

Un effet cheminé peut se réaliser à l'échelle d'une fenêtre, ou d'un bâtiment entier¹⁰³, ce procédé dépend de la hauteur de la « cheminée » et de la différence de température.

¹⁰² Givoni .B .,« L'homme, l'architecture et le climat » Edition Le Moniteur, Paris 1978 p 285.

¹⁰³ Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, permettre une ventilation intensive recommandation pratique, ENE 07, février 2007,

Pour mettre en œuvre les systèmes de ces différents types de ventilation, Yasmine Mansouri, propose un cadre conceptuel et opère une classification des procédés selon les aspects morphologiques (espace de transition, cheminée de ventilation, conduits de ventilation, ventilation par ouvertures). Méthodologiquement, elle mentionne ¹⁰⁴:

- ✓ L'intégration de la ventilation naturelle dans le processus de conception architecturale ;
- ✓ Que chaque typologie de la ventilation naturelle permettra à l'architecte une identification de l'organisation spatiale.

II.1.1.2. Les bases de conception de détail

Pour assurer une bonne qualité thermique d'un environnement intérieur, sans faire appel à des technologies complexes, on peut intervenir sur les performances thermiques des matériaux de l'enveloppe pour assurer ; l'inertie thermique du bâtiment et l'isolation thermique de l'enveloppe.

II.1.1.2.1. Matériaux de construction et leurs performances thermiques

Les matériaux reçoivent différemment le rayonnement selon leur degré de transparence ou d'opacité, leur couleur ou leur texture de surface. Mais ils ont aussi des caractéristiques thermiques particulières tenant à leur structure et à leur masse qui leur permettent de gérer différemment les apports caloriques. Ces caractéristiques thermiques seront prises en compte dans la conception des parois d'un bâtiment bioclimatique, qui auront pour mission première selon les cas de capter, de stocker, de transmettre et/ou de conserver les calories. Ces caractéristiques thermiques des matériaux sont de deux ordres :

❖ *Les caractéristiques statiques* : comment tel matériau se comporte-t-il en présence d'un flux thermique indépendamment du temps de réaction, ce sont la conductivité et la capacité thermique ;

❖ *Les caractéristiques dynamiques* : à quelle vitesse tel matériau gère –t-il le flux thermique ? ce sont la diffusivité et l'effusivité. Dérivées des caractéristiques précédentes, elles font en plus intervenir le facteur temps.

En conception bioclimatique, les transferts thermiques qui nous intéressent, ceux issus des événements climatiques extérieurs et ceux des apports intérieurs, sont variables dans le

¹⁰⁴ Mansouri, Y. « Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés, proposition d'une méthodologie de conception », Thèse de Doctorat, Université de Nantes. France.2003.

temps, voire rythmiques. Pour bénéficier au mieux de cette rythmicité, la prise en compte des caractéristiques dynamiques des matériaux est essentielle.

1- La conductivité thermique (λ)

La conductivité thermique est la propriété qu'ont les matériaux de transmettre la chaleur par conduction. Symbolisée par le coefficient λ (lambda), elle est exprimée en watt par mètre Celsius ($W/m^{\circ}C$).

La conductivité thermique propre à chaque matériau permet de quantifier le pouvoir isolant des parois, c'est-à-dire leur aptitude à s'opposer au passage des calories contenues dans l'air. Plus la conductivité thermique d'un matériau est grande, plus ce matériau sera conducteur et plus la conductivité est faible, plus il sera isolant.

2- La capacité thermique (ρC)

La capacité thermique d'un matériau désigne son aptitude à stocker de la chaleur. Symbolisée ρC , elle est exprimée en watt heure par mètre cube Kelvin ($Wh/m^3.K$)

Plus la capacité thermique d'un matériau est grande, plus la quantité de chaleur à lui apporter pour élever sa température est importante. Autrement dit, plus grande est sa capacité de stockage des calories avant que sa température ne s'élève.

3-La diffusivité thermique (a)

La diffusivité thermique d'un matériau exprime son aptitude à transmettre rapidement une variation de température. Elle croît avec la conductivité et décroît avec la capacité thermique, elle s'exprime en mètre carré par heure (m^2/h)

Plus la diffusivité est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau : le temps entre le moment où elle atteint l'autre face (déphasage) s'en trouve augmenté.

4-L'effusivité thermique (b)

À la différence de la diffusivité thermique qui décrit la rapidité d'un déplacement des calories à travers la masse d'un matériau, l'effusivité décrit la rapidité avec laquelle un matériau absorbe les calories. Symbolisée b (quelque fois E_f), elle s'exprime en Watt racine carré d'heure par mètre carré Kelvin ($W.h^{1/2}/m^2.K$) Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe de l'énergie sans se réchauffer notablement. Au contraire, plus elle est faible, plus vite le matériau se réchauffe.

II.1.1.2.2.vitrages et propriétés thermiques

Les baies vitrées et leurs distributions sur l'enveloppe sont des paramètres essentiels lors de la conception d'un bâtiment. Leur premier rôle est d'assurer le confort visuel et thermique des occupants et de gérer les apports solaires en toute saison. Par conséquent, l'évaluation des aspects positifs et négatifs de la paroi transparente, exige une grande attention à plusieurs éléments; comme le type de vitrage, la position, l'orientation et le type de protection solaire associée.....etc.

Compte tenu de ses effets sur l'éclairage naturel et son potentiel sur les apports solaires, les vitrages se caractérisent par trois facteurs thermiques, à savoir¹⁰⁵ :

-Le facteur solaire (g). Le coefficient de transmission énergétique, dit « facteur solaire», représente le pourcentage d'énergie solaire incidente, transmise au travers d'une paroi vitrée à l'intérieur d'un local; plus basse sera la quantité, moins il aura d'effet de serre, plus grand sera le confort d'été.

-le facteur thermique (U): Le coefficient de transmission thermique exprime la quantité de chaleur traversant un mètre carré de vitrage par degré de différence entre la température intérieure et extérieure. Plus le coefficient est bas, meilleure est l'isolation thermique du vitrage.

-le facteur lumineux (TI): Le coefficient de transmission lumineuse quantifie le taux de lumière qui entre dans le bâtiment au travers du vitrage.

Lorsque l'énergie solaire est interceptée par une paroi vitrée, une partie est réfléchiée vers l'extérieur, une partie est transmise à l'intérieur et enfin une partie du rayonnement est absorbée par le vitrage, telle qu'illustrées dans la figure II.12 ci-dessous.

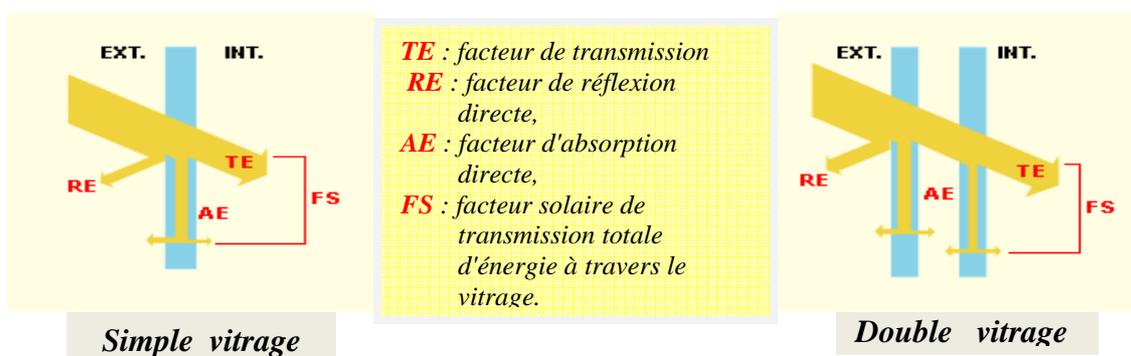


Figure II.12 : Les facteurs énergétiques

¹⁰⁵ <http://www.vitragevir.fr>

La nature du vitrage a une influence sur la transmission énergétique du rayonnement solaire selon les caractéristiques suivantes :

1-*Les vitrages clairs* sont connus pour leur haute capacité à laisser pénétrer la lumière et le rayonnement solaire

2-*Les vitrages absorbants* : ils sont teintés et permettent au verre de diminuer la fraction transmise du rayonnement solaire au profit de la fraction absorbée. Ils réduisent sensiblement la lumière et l'énergie transmise.

3-*Les vitrages réfléchissants* sont caractérisés par la présence d'une très fine couche métallique réfléchissante et transparente, qui accroît la part du rayonnement solaire réfléchi et diminue donc la fraction transmise. Ils sont surtout utilisés en bâtiment tertiaire, Leur objectif est de limiter l'éblouissement et les surchauffes en été (donc réduire les éventuelles consommations de climatisation).

II.1.1.2.3. L'inertie thermique du bâtiment

Lorsque les rayons du soleil frappent une paroi opaque, une partie de l'énergie rayonnée est absorbée, le reste est réfléchi. Un flux de chaleur s'établit alors entre la face externe et la face interne de la paroi. La chaleur, qui se transmet par onde de l'extérieur à l'intérieur, se propage avec un certain déphasage et subit un amortissement. Le maximum de température atteint sur la face extérieure n'est pas immédiatement ressenti sur la face intérieure de la paroi.

La notion d'inertie exprime une "résistance" propre à un changement d'état ou de régime, donc à des phénomènes dynamiques. Ce changement d'état peut être provoqué soit par des variations de la température extérieure, ou par des variations de flux dissipées à l'intérieur du bâtiment. Elle désigne l'ensemble de caractéristiques thermo physiques d'un bâtiment qui le font résister à la variation des flux d'énergie (ou de chaleur) qui s'exercent sur lui. Elle est conditionnée par la capacité thermique du matériau, qui exprime sa faculté d'absorber et à stocker de l'énergie. Ainsi, une construction à forte inertie thermique permet de conserver une température stable et de se réchauffer ou de se refroidir très lentement¹⁰⁶, alors que les constructions à faible inertie, comme nous le constatons dans la

¹⁰⁶Collection technique CIMBETON « Béton et confort thermique » revue technique du centre d'information su le ciment et ses applications, n° B 40, France. 2007

figure II.13¹⁰⁷, suivent sans amortissement ni retard les fluctuations de la température extérieure. Une inertie suffisante génère du confort et une économie d'énergie

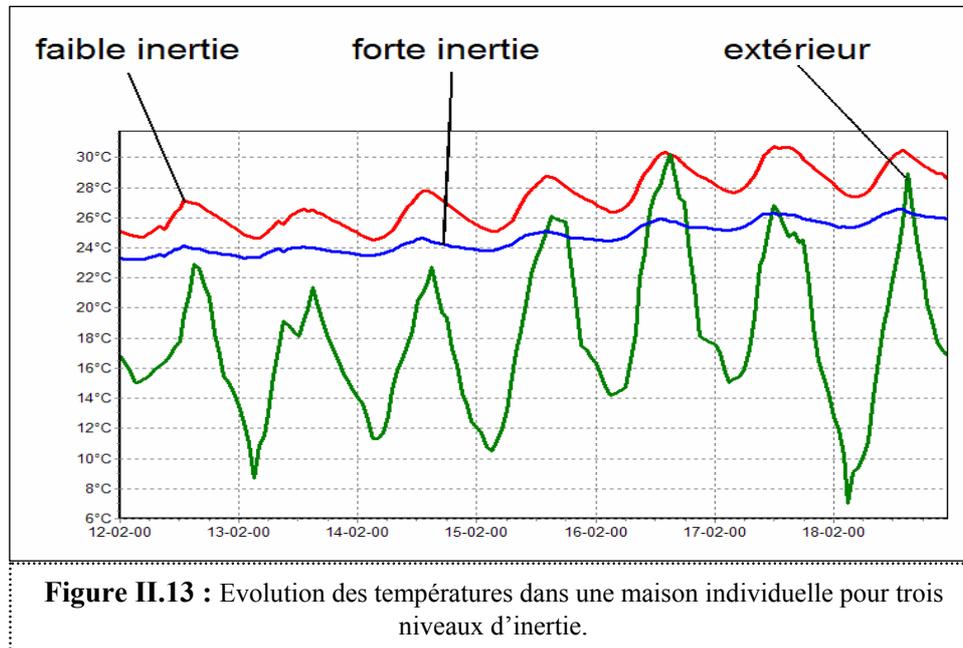


Figure II.13 : Evolution des températures dans une maison individuelle pour trois niveaux d'inertie.

D'après Liebard A « l'inertie thermique est une notion qui recouvre à la fois l'accumulation de chaleur et sa restitution, avec un déphasage dépendant des caractéristiques physiques, dimensionnelles et d'environnement de la paroi de stockage »¹⁰⁸. La vitesse de stockage ou de déstockage de la chaleur est déterminée par deux autres grandeurs qui sont la diffusivité et l'effusivité.

En effet, l'enjeu principal consiste à limiter l'inconfort dû aux fortes variations de températures dans les bâtiments en 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 parois et les vitrages en hiver.

II.1.1.2.4. L'isolation thermique de l'enveloppe

Au plan architectural, si le concept de compacité règle les problèmes de déperditions thermiques, l'avènement de l'isolant comme matériau, libère l'architecture de la contrainte de la forme, plus les niveaux d'isolation thermiques sont poussés, plus l'architecte peut jouer librement avec l'enveloppe sans pour autant provoquer des consommations ou des déperditions excessives.

¹⁰⁷ Peuportier, B. et Thiers, S. « Des éco-techniques à l'éco-conception » actes de journée thématique sur l'efficacité énergétique des bâtiments, tenus à Toulouse le 21 Mars 2006.

¹⁰⁸ Liebard, A. et De Herde, A.(2005) Op . cit

En effet une maison chauffée perd sans arrêt une partie de sa chaleur, à travers son enveloppe, comme le montre la figure II.15¹⁰⁹. Isoler, consistera donc à réduire ces déperditions.

L'isolation thermique est la propriété que possède un matériau de construction pour diminuer le transfert de chaleur entre deux ambiances. Elle permet à la fois de réduire les consommations d'énergie de chauffage ou de climatisation (limite les déperditions en hiver et les apports de chaleur en été), et d'accroître le confort (maintien des températures et l'hygrométrie aux niveaux de confort d'été comme d'hiver et règle le problème de parois froides en hiver ou chaudes en été). Comme l'indique l'allure de la courbe de variation de température sur la figure II.16¹¹⁰, pour assurer un confort aux occupants dans le cas où température intérieure est plus confortable que l'extérieur.

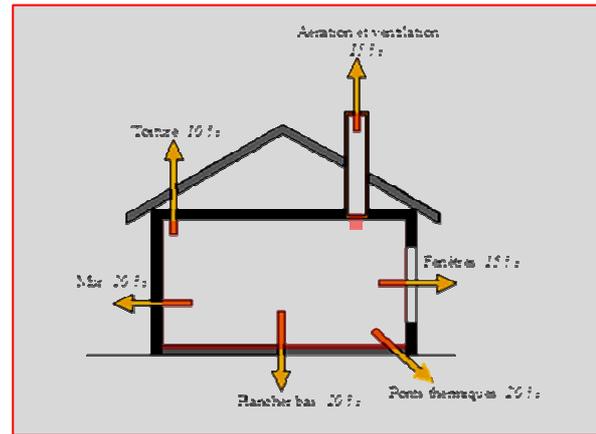


Figure II.15: Répartition moyenne des déperditions dans une maison individuelle neuve.

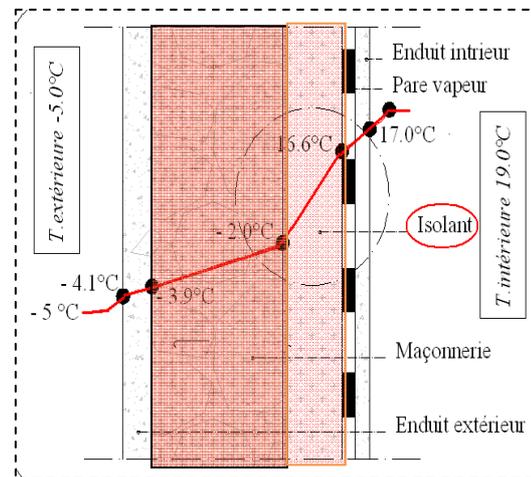


Figure II.16 : Variation de la température dans une paroi isolée.

Deux possibilités s'offrent au concepteur et réalisateur pour isoler une paroi¹¹¹ :

- ✓ **L'isolation par l'intérieur** consiste à isoler un bâtiment de l'intérieur en apposant un isolant derrière une cloison maçonnée ou une ossature, procédé le plus utilisé par les constructeurs à cause de sa facilité de mise en œuvre. Son inconvénient est qu'il annule l'inertie thermique de la paroi isolée et n'évite pas les ponts thermiques sur la maçonnerie ;

¹⁰⁹ Chabi Mohammed., « étude bioclimatique du logement social-participatif de la vallée du M'zab : cas du ksar de Tafilet » mémoire de magistère, université de Tizi-Ouzou, juin 2009

¹¹⁰ Ibid, p 164

¹¹¹ Ibid., p 169

✓ *L'isolation par l'extérieur* consiste à installer l'isolant sur la surface extérieure du mur. C'est souvent la solution la plus coûteuse mais aussi la plus performante. Elle constitue la meilleure isolation pour le confort d'été et d'hiver, car elle permet de conserver l'inertie thermique forte des murs intérieurs et supprime les ponts thermiques.

Un bon isolant est évidemment un mauvais conducteur de la chaleur. En général les matériaux les plus légers sont de meilleurs isolants. Plus le matériau est dense, plus les atomes sont proches les uns des autres, ce qui signifie que le transfert d'énergie d'un atome à un autre est plus facile. Ainsi les gaz sont de meilleurs isolants que les liquides qui sont meilleurs que les solides.

❖ *Les différents types d'isolants*

Les isolants sont, le plus souvent, constitués d'une carcasse solide emprisonnant des cellules d'air (l'air immobile étant l'un des meilleurs isolants). Outre la faible conductivité, d'autres qualités sont à rechercher dans un isolant comme¹¹² : une bonne résistance mécanique, la neutralité vis-à-vis des matériaux qui l'entourent, l'ininflammabilité et la résistance aux attaques des rongeurs.

De nombreux produits isolants existent aujourd'hui, aussi bien au niveau de leur composant (laines minérales, laines végétales, isolants minces,..) que de leur conditionnement (vrac, panneaux, rouleaux,..) et de leur épaisseur. Comme le montre les photos II.1¹¹³



Fibre de bois en panneau



Laine de verre en rouleau



Laine de roche panneau rigide.

Photos II.1 : Matériaux isolants

¹¹² Belakhowsky, S. « Déperditions calorifiques et isolation thermique des habitations » Editions Techniques et vulgarisation, Paris. 1978

¹¹³ Langlais, C. et Klarsfeld, S. « Isolation thermique à température ambiante. Propriétés » Techniques de l'ingénieur. Document n° C 3 371. France.

On distingue plusieurs types d'isolants, présents sur le marché sous différentes formes :

- matériaux minéraux : la laine de verre, la laine de roche,
- matériaux fibreux organiques: cellulose, chanvre, mousse organique (le polystyrène expansé ou extrudé)
- mousse inorganique : mousse de verres, vermiculite, la perlite, béton cellulaire,
- matériaux ligneux : liège, bois léger, paille agglomérée,

Les isolants sont caractérisés par leurs coefficient de conductivité thermique noté λ et dont l'unité est le $W/m^{\circ}C$ (.Tableau II.2)¹¹⁴ Ce coefficient représente le flux de chaleur (en Watt) que traverse 1 mètre de matériau homogène, pour un écart de température de $1^{\circ}C$ entre les deux côtés de la paroi. Plus λ est petit, plus le matériau est isolant. La résistance thermique d'une paroi, notée R, est sa capacité à s'opposer au transfert de chaleur. Plus elle est élevée, moins la maison perd de chaleur et donc plus il y a économie d'énergie

Isolant	Conductivité λ (W/m °C)	Isolant	Conductivité λ (W/m °C)
Laine de roche	0.038 – 0.047	Polystyrène expansé	0.036 – 0.058
Laine de verre	0.037 – 0.051	Polystyrène extrudé	0.029 – 0.036
Laine de silice	0.03 – 0.04	Mousse rigide de	
Fibres de bois	0.06 – 0.067	polyuréthane	0.033
Fibres de poly stère	0.05	Perlite	0.035 – 0.045
Laine de mouton	0.041	Vermiculite	0.058
Béton cellulaire	0.16 – 0.33	Liège	0.044 – 0.049
		Aérogel de silice	0.005 0.017

Tableau II.2 : Valeur du coefficient de conductivité thermique des principaux isolants

Les isolants, de par leur effet réducteur de la consommation d'énergie, participent par définition à la préservation de l'environnement et des ressources naturelles. Les isolants écologiques présentent un meilleur écobilan que les isolants minéraux ou synthétiques qui dominent le marché. En valorisant des déchets dans le domaine du bâtiment, des recherches¹¹⁵ sont même arrivées, à travers leurs valeurs expérimentales sur les propriétés isolantes d'un matériau, élaboré à base de grignon d'olives (déchet issu de l'industrie de transformation d'olives) et de cellulose (issue de la récupération de papier et de carton), a des résultats, très intéressante concernant les propriétés isolantes et écologique de ce

¹¹⁴ Mazria, E. (2005) Op. cit, 2005, p 276.

¹¹⁵ M. Dahli et R. Toubal. «Matériau isolant thermique à base de déchets ménagers et oléicoles». In Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°2 ,2010

matériau. Ainsi, l'isolation thermique est triplement intéressante, en termes de protection de l'environnement, de confort et d'économies d'énergie.

II.2. Les stratégies bioclimatiques pour améliorer le confort thermique

Fondée sur des choix judicieux de la forme du bâtiment, de son orientation en fonction des particularités du site (climat, ensoleillement, vents dominants, topographie...etc.), de la disposition des espaces, des matériaux utilisés....., l'architecture bioclimatique est une conception qui vise l'utilisation des éléments favorables du milieu pour la satisfaction du confort et du bien-être de l'homme.

En été comme en hiver, l'architecture bioclimatique a développé des stratégies passives, profitant des aspects favorables de l'environnement, pour créer une ambiance intérieure confortable, deux stratégies résument l'approche bioclimatique du confort thermique.

II.2.1. Système de chauffage solaire passif. (Confort d'hiver)

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

Les principes de la stratégie de chaud (ou systèmes de chauffage solaire passif) 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 II.17)

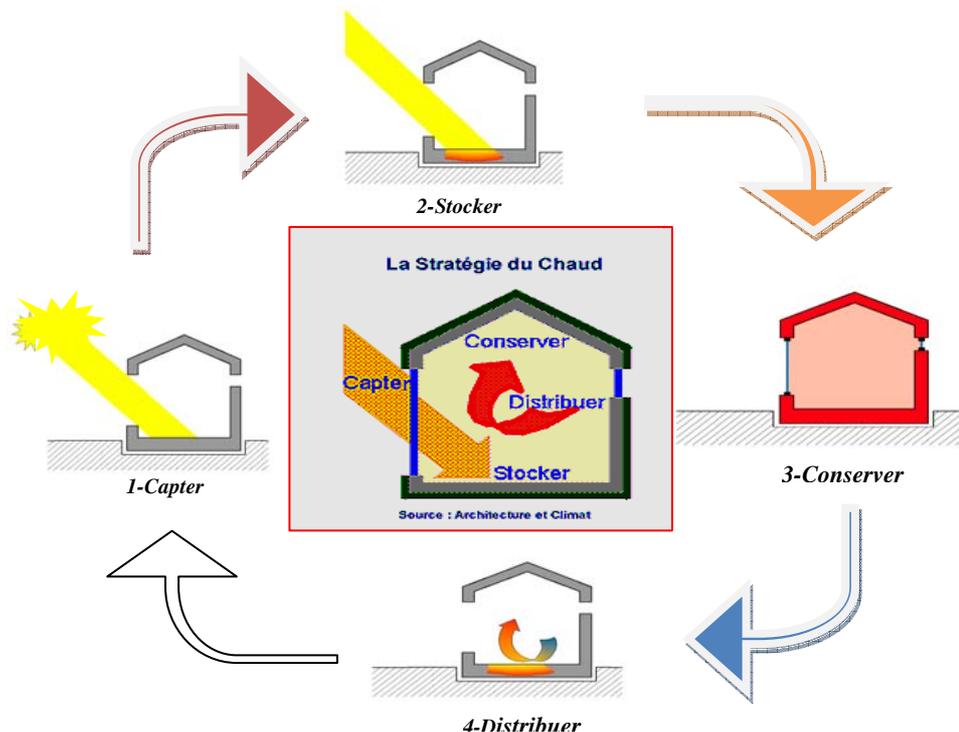


Figure II.17 : Concepts de la stratégie du chaud

II.2.2. Système de rafraîchissement passif (confort d'été)

Contrairement à l'hiver, les apports gratuits sont indésirables en saison chaude et contribuent à augmenter les besoins de rafraîchissement. La stratégie de refroidissement naturel répond au confort d'été. Il s'agit de se protéger du rayonnement solaire et des apports de chaleur, de minimiser les apports internes, de dissiper la chaleur en excès et enfin de refroidir naturellement. (Figure II.18)

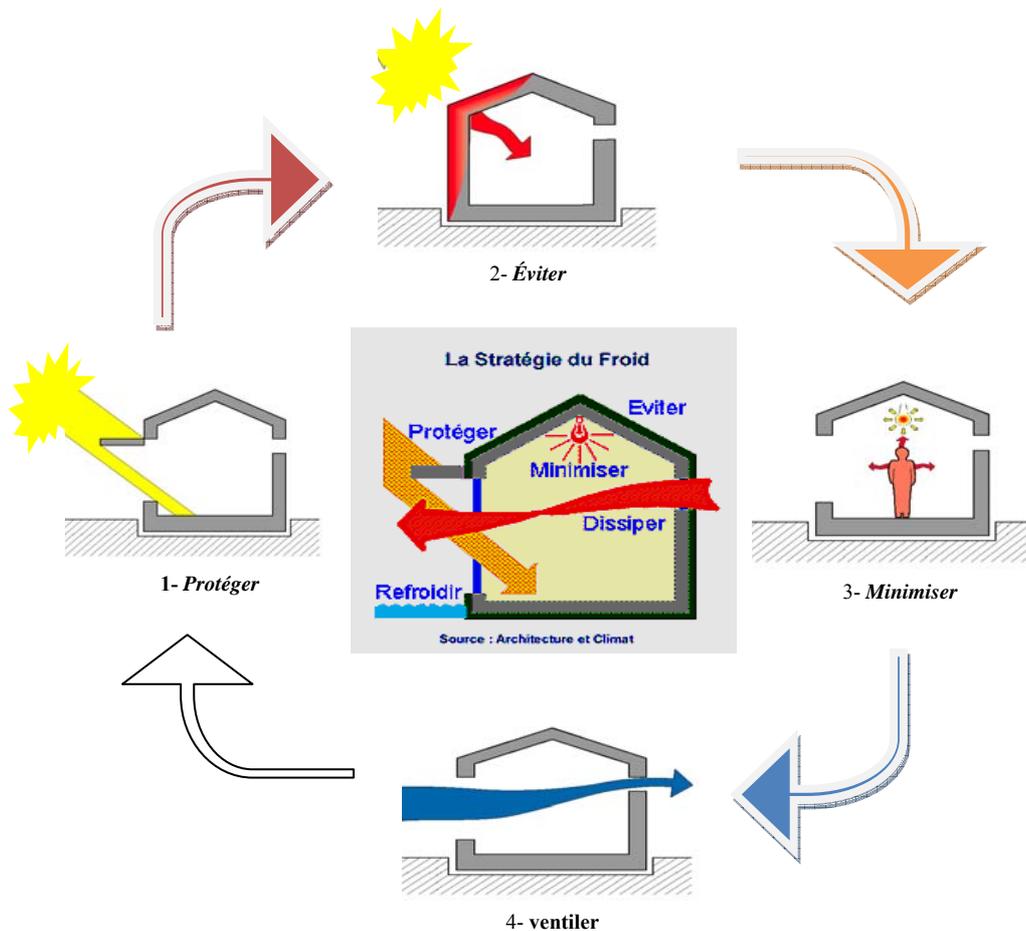


Figure II.18 : Concepts de la stratégie du froid

CONCLUSION

Tout concepteur a besoin de connaître le climat du site où il doit construire ; c'est-à-dire le régime de température et de l'humidité de l'air, l'ensoleillement, le régime et la nature des vents.¹¹⁶. Ces paramètres climatiques avec le soleil constituent des éléments essentiels à considérer lors de toute phase en amont de la conception architecturale.

A cet effet l'architecture bioclimatique insiste sur l'optimisation de la relation qui existe entre le bâtiment et le climat en vue de créer des ambiances « confortables » par des moyens spécifiquement architecturaux, pour exploiter les effets bénéfiques de ce climat (captage du soleil en hiver et la ventilation nocturne en été) et en offrant une protection contre ces effets négatifs (trop de soleil en été et exposition aux vents dominants en hiver).

Selon De Herde, l'architecture bioclimatique apparaît comme l'une des solutions pour réduire les consommations énergétiques et donc les émissions de gaz à effet de serre en profitant au maximum des apports bénéfiques de l'environnement et plus particulièrement du soleil comme source d'énergie inépuisable¹¹⁷.

L'espoir suscité par cette nouvelle prise de conscience par les architectes, était de voir enfin l'aspect climatique et l'enveloppe du bâtiment, reconnu et intégré comme partie intégrante dans le processus de la conception architecturale. L'intérêt du « bioclimatique » va donc du plaisir d'utiliser un espace à l'économie de l'énergie, ce qui est en fait un élément fondamental de l'art de l'architecture¹¹⁸ . Construire des bâtiments bioclimatiques, confortables, adaptés aux usagers et performants en énergie, reflète les tendances actuelles de l'architecture contemporaine.

L'architecture bioclimatique est une conception qui consiste à rechercher une adéquation entre la conception de l'enveloppe habitée, le climat et l'environnement dans lequel le bâtiment s'implante.

¹¹⁶ 4 - Lavigne, Pierre., « Architecture climatique - une contribution au développement durable », ,EDISUD .1994

¹¹⁷ De Herde, A et Liebard,A. « Guide de l'architecture bioclimatique ,T4, systèmes solaires », l'observatoire des énergies renouvelables, France. 2002

¹¹⁸.Izard J.L., «Archi bio» - Edition Parenthèses, paris. 1979

TROISIÈME CHAPITRE
Energie et efficacité énergétique

Introduction

La production de l'énergie sous toutes ses formes occupe de nos jours les débats économiques et politiques. Sa production est stratégique pour le développement d'une nation. L'énergie est un produit vital, elle est utilisée dans l'activité humaine sous différentes formes notamment mécanique, thermique, chimique, électrique et nucléaire, permettant à chacune des utilisations différentes. Considérée aussi, comme un bien social, l'énergie nous fait vivre et assure notre bien être. Le bâtiment avec ses différents secteurs, le secteur primaire, secondaire et tertiaire utilisent cette énergie pour répondre à leurs multiples besoins et confort (éclairage, cuisson, , chauffage, climatisation, etc.).

III.1. Ressources énergétiques

III.1.1. L'énergie primaire

On entend par énergie primaire 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 fossiles, les énergies nucléaires et les énergies renouvelables.

III.1.2. L'énergie finale

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 produire, les stocker et les distribuer, c'est en fait l'énergie qui arrive chez le consommateur et qui lui est facturée.

La chaîne énergétique reliant l'énergie primaire (énergie disponible dans la nature avant toute transformation) et l'énergie finale est présentée par la Figure III.1¹²¹

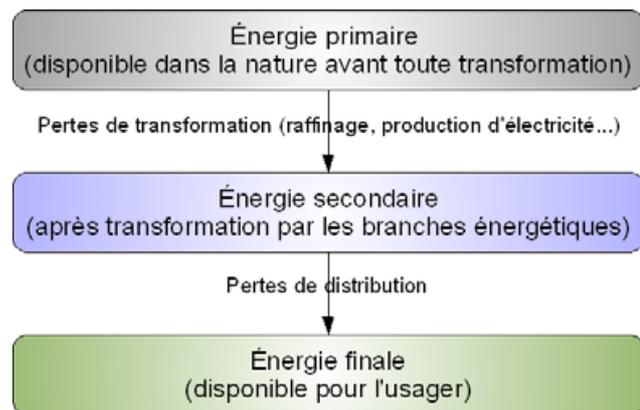


Figure III.1 : Chaîne énergétique

¹²¹ Grignon-Masse, L, « Développement d'une méthodologie d'analyse coût-bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liés au confort d'été : cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine. ». Thèse de Doctorat, l'École nationale supérieure des mines de Paris, 2010, p305

III.2. L'énergie et le développement durable

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 architecturale, à la construction, et à l'exploitation des bâtiments, permet d'augmenter le bien-être des populations, de réduire la facture énergétique et de garantir un environnement de qualité pour l'humanité.

Le développement ne doit plus exister au détriment de la nature mais en accord avec elle, comme le dit Shobhakar D, « Ce n'est pas le développement qui doit être durable, c'est l'humanité et la nature ». ¹²²

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 par le développement énergétique durable qui peut être défini comme l'art de concilier deux exigences¹²³ :

- ✓ La satisfaction des besoins énergétiques actuels, liés au confort et au développement économique.
- ✓ Le respect de l'environnement et la préservation des ressources et de la capacité au « bien-être énergétique » pour les générations futures.

Un développement énergétique durable implique donc trois priorités ¹²⁴

- Mener une politique active pour une économie d'énergie ;
- Développer l'utilisation des énergies renouvelables ;
- Rechercher de nouvelles sources d'énergie permettant une plus grande efficacité et une indépendance optimale des pays

Partant des principes du développement durable, l'architecture devra concilier trois mondes différents, celui de l'économie, celui de l'écologie et celui du social. Le bâtiment devra donc continuer à assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, de plus il devra faire en sorte que son impact sur l'environnement extérieur soit minimisé. On parle alors du « bâtiment durable » ou

¹²² Shobhakar D., « Comment infléchir les émissions de CO2 dans quatre mégapoles d'Asie » in La Revue Durable, « Vivre ensemble en mégapole », n° 14.2005

¹²³ Despretz, H. « Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments. Définitions. Usages. Consommations », revue technique de l'ingénieur, no BE9020, vol 4.2004

¹²⁴ Ibid.

« le bâtiment vert » ou bien « le bâtiment à haute qualité environnemental », d'où l'aspect énergétique demeure une préoccupation centrale, ce qui nous amène à nous intéresser au bâtiment performant, voir le « bâtiment à bas profil énergétique » qui repose sur deux grands leviers qui améliorent son efficacité énergétique¹²⁵, qui sont :

1. L'efficacité énergétique dans le bâtiment, qui se réalise à travers ; le choix des matériaux, l'inertie de l'enveloppe, l'isolation et l'architecture bioclimatique
2. Le recours aux énergies renouvelables.

III.2.1. Le recours aux énergies renouvelables pour un développement durable

Par opposition à « l'énergie fossile » qui est une énergie de stock, constituée de gisements épuisables de combustibles fossiles (pétrole, charbon ; gaz, uranium), l'énergie renouvelable appelée communément « énergie verte » est une source d'énergie qui est régénérée ou renouvelée naturellement selon un cycle relativement court à l'échelle humaine et dont les caractéristiques sont les suivantes¹²⁶:

- ✓ Elles sont inépuisables, non polluantes et gratuites
- ✓ Elles sont exploitables sans produire de déchets, ni d'émissions polluantes;
- ✓ Elles contribuent ainsi à la lutte et à la réduction de l'effet de serre.

Les cinq ressources d'énergie renouvelables sont¹²⁷:

1- *L'énergie solaire*, 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).

2- *L'énergie hydraulique*, obtenue à partir de la force mécanique des chutes d'eau.

3- *L'énergie éolienne* qu'on tire de la force du vent qui circule des hautes vers les basses pressions de l'atmosphère terrestre.

4- *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.

¹²⁵ Morillon,R . « L'intégration de l'efficacité énergétique et du développement urbain durable dans le bâtiments », Thèse de master en Génie urbain, Université Marne la vallée. 2005

¹²⁶ Morillon,R . (2005) .op cit

¹²⁷ Chatelet, A.,et Al « Architecture climatique, concepts et dispositifs » Tome 2, Editions EDISUD, France., 1998, p159

5- *La géothermie*, qui exploite le flux de chaleur qui provient des couches profondes de la terre.

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 réchauffement climatique.

III.3. Efficacité énergétique dans le bâtiment

L'efficacité énergétique se réfère à la réduction de la consommation d'énergie sans toutefois provoquer une diminution du niveau de confort ou de qualité de service dans les bâtiments. Selon Thierry Salomon¹²⁸, elle correspond à réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service, soit, mieux utiliser l'énergie à qualité de vie constante

Le rapport final de la « comparaison internationale bâtiment et énergie » initié par PREBAT¹²⁹ note qu'en construction neuve ou en réhabilitation, un bâtiment efficace énergétiquement est avant tout un concept d'ensemble saisissant dans un même processus l'architecture, le climat, l'enveloppe et les équipements¹³⁰.

III.3.1. Classification des bâtiments a efficacités énergétiques

La conception des bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe qui nécessite une approche particulière. En effet, les choix techniques et architecturaux retenus pour ce genre de conception influent de manière très importante sur le comportement énergétique du bâtiment. Ainsi, la forme du bâtiment, sa compacité, son orientation, ont des conséquences significatives sur sa performance énergétique, de mauvais choix peuvent entraîner des défaillances difficilement prévisibles dont l'impact sur la consommation énergétique du bâtiment n'est souvent découvert que lors de son exploitation.

Suivant leurs niveaux de performances énergétiques, les bâtiments sont classés en trois familles¹³¹ : bâtiments performants, bâtiments très performants et bâtiments zéro énergie ou à énergie positive.

¹²⁸ Salomon, T. et Bedel, S. « La maison des [méga, watts, Le guide malin de l'énergie chez soi. » Edition. Terre vivante.2004. p. 11.

¹²⁹ PREBAT : Programme de Recherche et d'Expérimentation sur l'Energie dans le Bâtiment.

¹³⁰ PREBAT, ADEME et CSTB. Comparaison internationale bâtiment et énergie. Rapport final. Décembre 2007. p. A19.

¹³¹ Chlela.F Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie. Thèse de doctorat. Université de La Rochelle. 2008. p. 3.

Il existe une multitude d'opérations (programmes de recherche, labels, réalisations), pour chaque famille, ces opérations sont fréquemment basées sur la définition de concepts de bâtiments qui définissent à la fois un niveau de performance à atteindre et des exemples de solutions permettant d'atteindre ce niveau. Elles partent d'une même analyse du bilan énergétique orientée par la triade : réduire les besoins énergétiques, utiliser des énergies renouvelables et produire le complément d'énergie de façon efficace¹³².

III.3.1.1. Bâtiments performants « basse énergie »

Les bâtiments performants, souvent appelés bâtiments basse énergie (à basse consommation), existent à plusieurs milliers d'exemplaires. Ils se caractérisent principalement par une conception architecturale bioclimatique, une bonne isolation thermique, des fenêtres performantes, un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait, parfois associé à un puit climatique, un système de génération performant (pompe à chaleur, chaudière bois, chaudière à condensation...) et une attention particulière est portée à la perméabilité à l'air et aux ponts thermiques.

Ce premier niveau de performance peut être atteint par l'optimisation de l'isolation, la réduction des ponts thermiques et l'accroissement des apports passifs. Ce concept ne comprend a priori aucun moyen de production local d'énergie, sans toutefois l'exclure.¹³³

Les opérations les plus connues de ce type de bâtiments sont les labels Suisse MINERGIE et MINERGIE-ECO.

III.3.1.2. Bâtiments très performants « très basse énergie »

Ce bâtiment très faiblement consommateur d'énergie ne nécessite pas de systèmes de chauffage ou de rafraîchissement actifs : les apports passifs solaires et internes et les systèmes de ventilation suffisent à maintenir une ambiance intérieure confortable toute l'année. Il s'agit en général de bâtiments passifs dont le concept a été défini par le Dr. Wolfgang Feist de l'institut de recherche allemand Passivhaus. Ils sont définis comme étant des bâtiments dans lesquels l'ambiance intérieure est confortable tant en hiver qu'en été, sans devoir faire appel à aucun conventionnel de régulation de température, ni de chauffage, ni de refroidissement.

Cet objectif peut être atteint grâce à une forte isolation thermique, une forte réduction de ponts thermiques et une très bonne étanchéité à l'air. De plus, les déperditions par ventilation

¹³² Chlela.F Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie. Thèse de doctorat. Université de La Rochelle. 2008. p. 3.

¹³³ Thiers,S . « bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive », Thèse de Doctorat , Ecole Nationale Supérieure Des Mines De Paris. 2008

sont réduites à travers un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait.

III.3.1.3 Bâtiments à énergie positive « zéro énergie »

Il est défini comme étant un bâtiment qui produit autant ou plus d'énergie qu'il n'en consomme, Il est doté de moyens de production d'énergie locaux, ce bâtiment est raccordé à un réseau de distribution d'électricité vers lequel il peut exporter le surplus de sa production électrique¹³⁴. Ces bâtiments sont la combinaison de bâtiments basse énergie ou passifs avec des systèmes d'énergies renouvelables tels que les toits solaires photovoltaïques. Ce type de bâtiment est particulièrement adapté aux sites isolés ou insulaires car il évite les coûts de raccordement aux divers réseaux.¹³⁵

III.4. Le contexte énergétique et la consommation mondiale

Toutes les activités humaines, et notamment celles qui concourent au développement économique et social, font appel à l'énergie, sauf que, la consommation mondiale d'énergie est restée très longtemps stable lorsque l'homme n'utilisait l'énergie que pour sa survie et ses besoins alimentaires. Néanmoins à partir de 1850, la révolution industrielle a provoqué une augmentation brutale des besoins en énergie

Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la consommation mondiale d'énergie va augmenter de 50 % entre 2004 et 2030¹³⁶, pour accompagner la croissance démographique et économique, le taux de consommation diffère d'un pays à un autre, il est déterminé par les conditions climatiques, le taux de croissance économique et le développement technologique¹³⁷

La figure III.2¹³⁸, montre la consommation

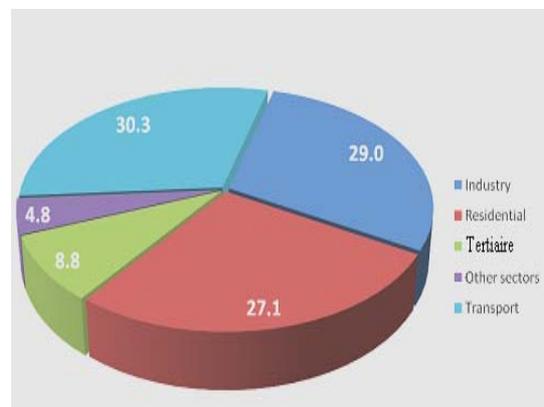


Figure III.2 : consommation énergétique dans différents secteurs économiques

¹³⁴ Maugard, A. Millet, J.-R. Quenard, D. « Vers des bâtiments à énergie positive ».Présentation du CSTB.2000

¹³⁵ Thiers,S.,« bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Des Mines De Paris. 2008

¹³⁶ AIE, (2008), op.cit.

¹³⁷ Santamouris, M . Demosthenes et Asimakopoulos,N . (2001) «Energy and Climate in the Urban Built Environment» ,James and James edition Ltd ,412p.

¹³⁸ AIE, (2008),op,cit

énergétique dans différents secteurs économiques dont la part la plus importante est réservée pour le secteur du bâtiment qui consomme environ 40% de l'énergie finale¹³⁹.

III.4.1. La consommation énergétique des différents secteurs en Algérie

La forte demande actuelle de consommation énergétique en Algérie est due principalement à l'augmentation du niveau de vie de la population et du confort qui en découle, ainsi qu'à la croissance des activités industrielles.

D'après l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'énergie (APRUE), dans son rapport sur la consommation énergétique finale de l'Algérie, pour l'année 2005, la consommation finale de secteur du bâtiment est évaluée à 7047 ktep¹⁴⁰, soit 40 % de la consommation finale par rapport aux secteurs de l'industrie et celui des transports, cette consommation a triplé durant les trois dernières décennies et il est prévu sa multiplication par le même facteur d'ici les horizons 2025¹⁴¹.

La figure III.3¹⁴² suivante illustre la répartition de cette consommation entre les différents secteurs de l'économie

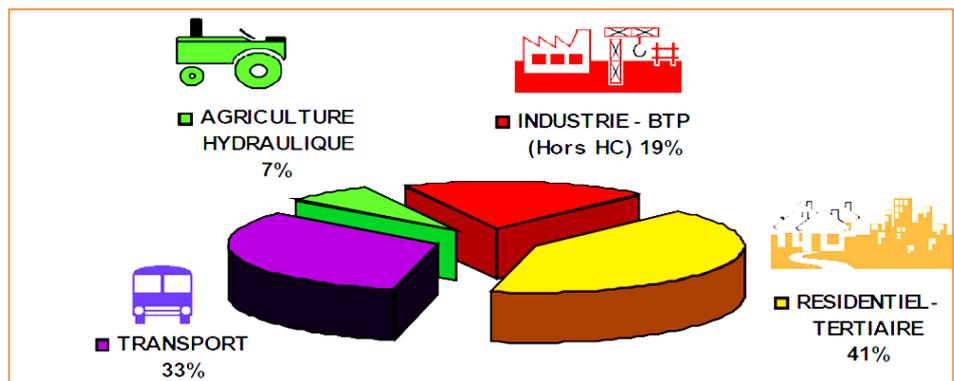


Figure III.3: Répartition de la consommation finale par secteur d'activité en 2005

La lecture de ces données démontre

l'importance, souvent méconnue, de la consommation d'énergie dans les deux secteurs, le résidentiel et le tertiaire, qui représente près de la moitié de la consommation d'énergie finale en Algérie.

En étudiant ces graphes, la consommation importante du gaz et de l'électricité dans le bâtiment revient essentiellement à l'utilisation intense du chauffage en hiver et de la climatisation en été pour assurer un meilleur confort thermique.

¹³⁹ AIE, (2008),op.cit.

¹⁴⁰ APRUE. (2007) .op.cit. 12p.

¹⁴¹ MHU . « La revue de l'habitat » , revue d'information du ministère de l'habitat et de l'urbanisme N° 03-Mars 2009, Alger, 74p.

¹⁴² APRUE. (2007) .op.cit. 12p.

III.4.1.2. Consommation d'énergie dans le Secteur public en Algérie

D'après APRUE, entre 2000 et 2005 la consommation finale du secteur a progressé annuellement de 6% (Figure III.4). Ce sont l'électricité et les produits gazeux qui ont contribué à cette évolution. En ce qui concerne l'analyse par usage de consommation, il est à noter que l'éclairage et la climatisation totalisent 90% de la consommation de l'électricité, et Le chauffage et la cuisson représentent 60% de la consommation du gaz naturel¹⁴³. Une forte demande en électricité est donc, à prévoir en raison des perspectives de développement de ce secteur

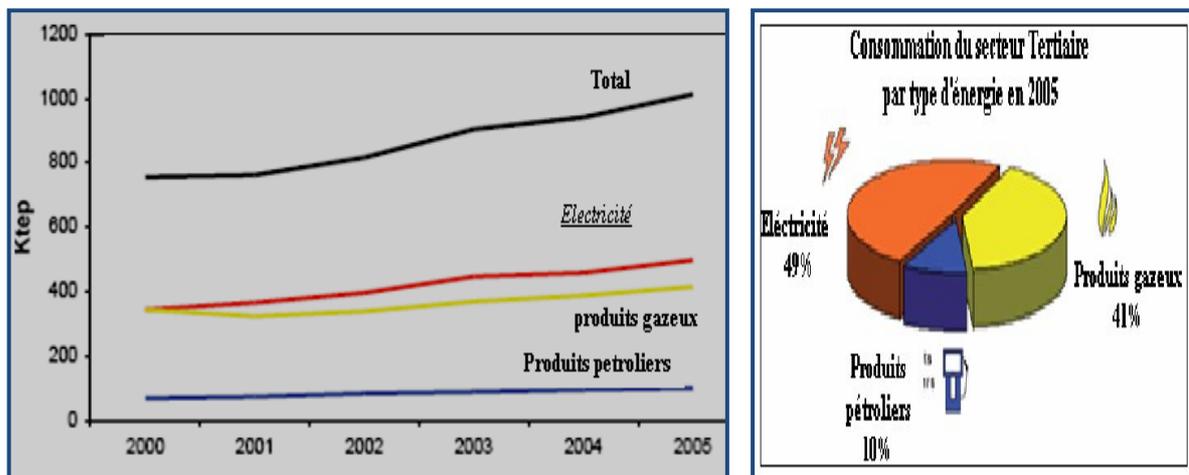


Figure III.4 : Evolution de la Consommation énergétique du Secteur public

Comme le montre le Tableau III.5¹⁴⁴,

la consommation énergétique du secteur public se répartit comme suit : commerce : 39%, administration centrale 19%, tourisme : 8%, santé : 12%, éducation : 8% éclairage public 5%, autres : 5%.

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

Tableau III.5: Consommation d'énergie par branche d'activité.

¹⁴³ MHU . « La revue de l'habitat » , revue d'information du ministère de l'habitat et de l'urbanisme N° 03-Mars 2009, Alger, 74p

¹⁴⁴ APRUE. (2007) .op.cit. p12

III.5. Confort thermique et utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment public

Les bâtiments réalisés de nos jours ne prennent généralement pas en considération le facteur climatique. Ce sont des bâtiments standards qu'on réalise à n'importe quel endroit 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. 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'énergies considérables.

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. .

III.5.1 Les bâtiments publics en Algérie

Le bâtiment peut tout d'abord être construit pour deux usages distincts :

- ✓ **A usage résidentiel**, bâtiment d'habitation, maison individuelle ou logement collectif.
- ✓ **A usage public**, le bâtiment sera donc occupé par les activités du secteur tertiaire (commerces, bureaux, santé, enseignement, infrastructures collectives destinées aux sports, aux loisirs, aux transports), cafés/hôtels/restaurants/commerces et généralement tous les établissements destinés à recevoir du public. La vocation d'un bâtiment public est avant tout, d'offrir un service public et d'accueillir des personnes, utilisateurs et usagers.

L'Algérie connaît depuis une décennie un développement intense et soutenu de la construction des bâtiments publics, initiés par les promoteurs privés et publics. Le nombre de bâtiments publics 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 d'activités confondus. Les réalisations annuelles sont en progression constante, passant d'un total de 332 projets en 1999 à un chiffre de 693 projets réalisés pour l'année 2008¹⁴⁵.

¹⁴⁵ *La Revue de l'Habitat*. (Revue d'information du Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme N° 03 - Mars 2009, p 35

Les principaux secteurs ayant bénéficié de ces réalisations sont dans un ordre dégressif comme suit : l'éducation nationale (2 149 projets entre 1999 et 2008), l'enseignement supérieur (854 projets), la jeunesse et les sports (659 projets), et les structures administratives (584 projets). Le secteur de la santé a, pour sa part, bénéficié de la réalisation de 325 projets sur l'ensemble de la période (Tableau III.6¹⁴⁶).

SECTEUR	ANNEE										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 III.6 : Les équipements publics réalisés durant les dix dernières années

Il faut signaler encor que le programme 2010-2014 prévoit la construction de nouveaux projets pour le secteur public, qui consistent en la réalisation de presque 5000 écoles, collèges et lycées, la construction de 172 hôpitaux, de 80 stades, de 160 salles polyvalentes et de 80 mosquées.¹⁴⁷

III.5.2. Utilisation de l'énergie pour le confort des bâtiments publics

Un bâtiment public doit répondre aux exigences qui sont liées à sa destination, 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, etc. Certaines de ces exigences ne sont pas discutables comme le taux d'oxyde de carbone dans l'air que l'on respire et celles relatives au confort thermique¹⁴⁸.

¹⁴⁶ Ministère de l'habitat, 2009

¹⁴⁷ *La Revue de l'Habitat*. (Revue d'information du Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme N° 03 - Mars 2009, p 35

¹⁴⁸ Weckstein, M., Salagnac, J.L.,(2006).op .cit

La pratique de la conception architecturale est parfois à l'origine d'une augmentation des besoins de refroidissement et de chauffage dans les bâtiments, l'orientation du bâtiment, la multiplication des surfaces vitrées ou encore une faible inertie, sont des facteurs fortement susceptibles d'entraîner l'installation de systèmes de climatisation et de chauffage. D'autre part, l'accroissement important de l'usage d'équipements électriques (bureautique et éclairage notamment) a contribué à l'augmentation des apports internes et donc des besoins de refroidissement.

III.5.2.1. Le chauffage des bâtiments

De nos jours, les usagers des bâtiments publics exigent un meilleur confort en hiver, qui demande l'utilisation de techniques de chauffage de plus en plus performantes pour maîtriser une température intérieure de confort. Le niveau de température requis sera fonction, du taux d'occupation et de l'activité des occupants.

L'évolution principale du chauffage fut le remplacement progressif des combustibles solides, le bois et le charbon, par des combustibles liquides, le fioul puis le gaz naturel, plus facile à stocker et à distribuer, le chauffage central par circulation d'eau chaude est le procédé de chauffage le plus utilisé, avec un système de distribution efficace de chaleur émise en partie par rayonnement.

Ce système de chauffage, consiste à distribuer de la chaleur dans un ou plusieurs locaux au moyen d'appareils multiples reliés à une source unique de chaleur et la chaudière à gaz est la source, la plus employée dans les bâtiments publics. le procédé peut être vu comme un ensemble de trois sous-systèmes ; La production (la chaudière), la distribution (les canalisations qui permettent de distribuer l'eau chaude vers les différents corps de chauffe) et l'émission (corps de chauffe : radiateurs) comme le montre la figure III.5¹⁴⁹.

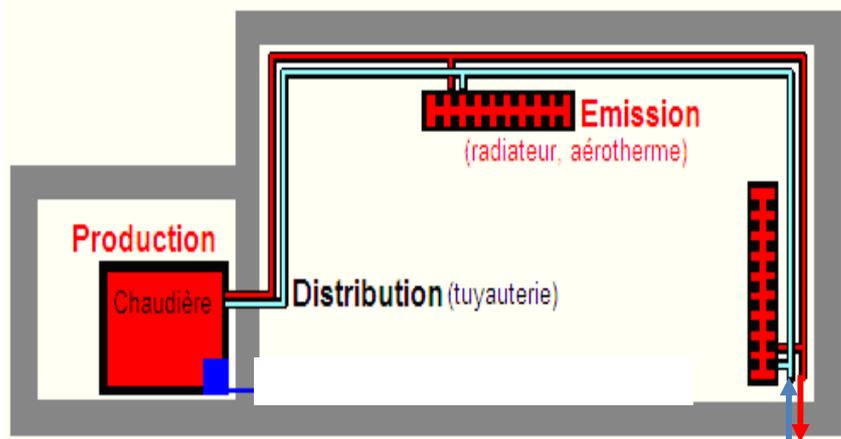
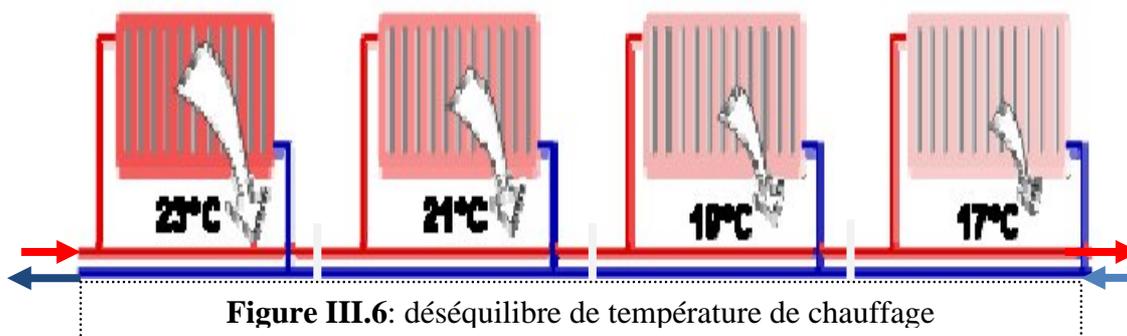


Figure III.5: Système de chauffage des bâtiments

¹⁴⁹ www.energieplus-lesite.be

Le principe de fonctionnement du chauffage à eau chaude dans les bâtiments est simple puisqu'il suffit d'accroître la production de chaleur pour chauffer les espaces intérieurs. En réalité, ce n'est pas aussi évident car une même production de chaleur concerne généralement des locaux et des bâtiments aux besoins énergétiques différents.

L'inconvénient de ce type de chauffage, est la difficulté de l'équilibrage de la température de chauffage, c'est à dire de l'adaptation de la quantité de chaleur délivrée aux différents locaux en fonction de leurs usages, de leurs tailles, de leurs isolations et de leurs expositions. Il arrive fréquemment que le circuit d'eau de chauffage soit mal équilibré ; les radiateurs qui se trouvent en bout de circuit sont alors trop peu alimentés en eau chaude et ne sont plus suffisamment chauffés, On constatera donc fréquemment un déséquilibre de température de chauffage, certains locaux sont mal chauffés et d'autres surchauffés ,comme le montre la figure III.6¹⁵⁰



Une grande partie des locaux du secteur public n'est utilisée qu'une dizaine d'heures par jour. Par ailleurs, si l'on tient compte des jours fériés, des week-ends et des vacances, le taux d'occupation ne dépasse pas 30%. Il est donc possible de réaliser d'importantes économies d'énergie en chauffant uniquement lorsque cela est nécessaire¹⁵¹.

Une installation de chauffage doit donc, comporter par local desservi, un ou plusieurs dispositifs d'arrêt manuel et de réglage automatique de la fourniture de chaleur en fonction de la température intérieure. En agissant localement, la régulation de la température permet d'abaisser la température intérieure en période d'inoccupation tout en maintenant la consigne désirée pendant la période d'occupation et elle limite notamment les surchauffes en prenant en compte les apports gratuits (occupants, apports solaires, éclairage...)¹⁵².

Les consommations d'énergie pour le chauffage d'un bâtiment à l'autre dépendent de

¹⁵⁰ www.energieplus-lesite.be

¹⁵¹ Visier, J.C. et Bicard, C. Pratique de l'intermittence du chauffage dans les locaux à occupation discontinue. Cahiers du CSTB, octobre 1988, livraison 293, cahier 2279, p. 66.

¹⁵² Dutartre, N. La réglementation de la régulation et de la gestion de l'énergie. Promoclim, tome 22, n°4. 1991. p 214.

facteurs liés au site et au type d'établissement (le climat, destination du bâtiment,.. etc) ; liés aux bâtiments et à leurs équipements (qualité de l'isolation, bon fonctionnement de la ventilation, type qualité et âge de l'installation) et liés aux usagers (habitude des occupants, sexe, âge,...etc.)¹⁵³.

III.5.2.2. La climatisation des bâtiments

La climatisation moderne a été inventée par Willis Carrier en 1911¹⁵⁴, elle consiste en la maîtrise, de façon volontaire, des caractéristiques du climat et de l'atmosphère qui règne dans un espace afin de rendre celui-ci plus agréable aux occupants ou plus adapté aux travaux qui y sont effectués.

Aujourd'hui, la climatisation n'est plus un luxe. Elle est devenue l'équipement incontournable pour un meilleur confort au sein du bâtiment. Technique basée sur le traitement de l'air qui permet de le rafraîchir et de le filtrer mais aussi de le réchauffer pour certains modèles dits « réversibles » qui permet avec le même climatiseur d'obtenir en hiver un chauffage performant et économique.¹⁵⁵

La climatisation permet donc, de garantir un niveau de température et un niveau hygrométrique constant et confortable dans les locaux, quel que soit les conditions extérieures, elle permet d'améliorer la qualité des ambiances et les conditions de travail.

On peut trouver deux grandes familles de systèmes de climatisation : les systèmes centralisés ou semi-centralisés et les systèmes décentralisés

III.5.2.2.1 Les systèmes centralisés ou semi-centralisés

Les systèmes de climatisation centralisée sont composés :

- D'une unité de production de froid (peut également assurer le chauffage),
- Des conduits pour distribuer l'énergie frigorifique aux différents endroits climatisés et
- D'appareils de diffusion (unité intérieure).

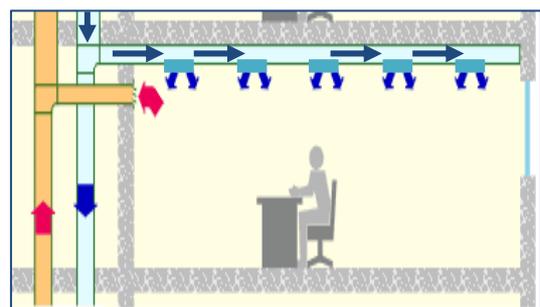


Figure III.7 : Les systèmes de climatisation centralisée

¹⁵³ ADEME, « Gestion énergétique dans les bâtiments publics », Guide méthodologique. 1999

¹⁵⁴ Mahmoudi, F. « climatisation, ventilation et désenfumage » in revue ,vies de villes,N°09,Alger ,mai 2008.p43

¹⁵⁵ Ngassa A., Ginda C., Bassereau J-F. & Truchot P., La climatisation aujourd'hui et les exigences en matière de confort, Actes du cinquième séminaire confère sur l'Innovation et la Conception de Produits, Paris, 8-9 Juillet 1998, p 124

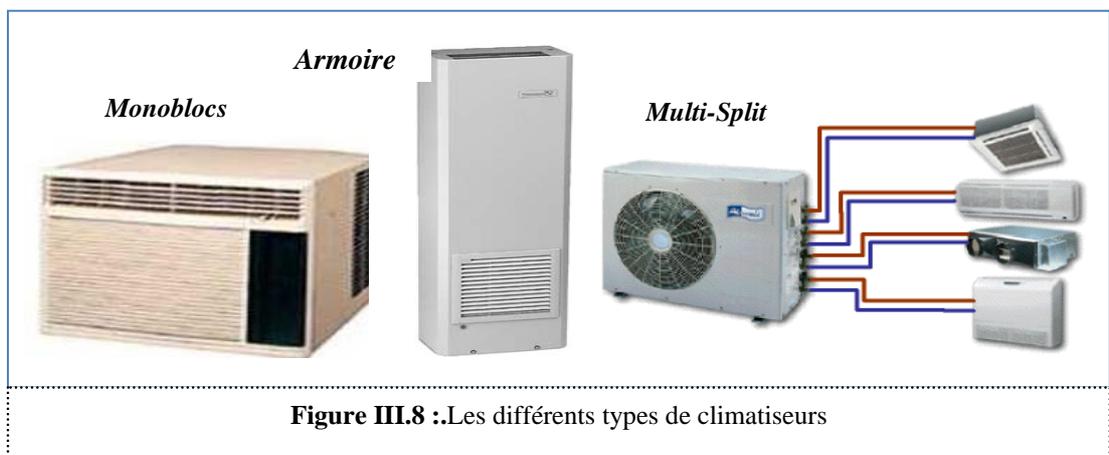
Ils offrent un contrôle complet du refroidissement, du chauffage, et de la ventilation. Ces systèmes sont employés dans les magasins, les restaurants, les cinémas, les théâtres et autres édifices publics pour le refroidissement et la déshumidification pendant les mois d'été, et pour le chauffage pendant l'hiver¹⁵⁶. De tels dispositifs, de par leur complexité, doivent généralement être installés lors de la construction du bâtiment. Ces dernières années, ils ont été progressivement automatisés dans un souci d'économie d'énergie.

III.5.2.2.2. Les systèmes décentralisés

C'est aujourd'hui le système de climatisation le plus répandu. Systèmes d'appareils de climatisation individuelle, ils sont utilisés pour le refroidissement (peuvent également assurer le chauffage) de la pièce dans laquelle ils sont installés. Il est adaptable à chaque situation répondant ainsi aux besoins de tous et facile à installer.

Il existe quatre principaux types de climatiseurs individuels, conçus pour le rafraîchissement, la déshumidification et la filtration de l'air.

- 1- Les climatiseurs « Monoblocs ».
- 2- Le climatiseur de type « Mono-Split »
- 3- Les climatiseurs de type « Multi-Split », ils sont identiques au type « Mono-Split », mais ils sont composés de plusieurs unités intérieures. Les climatiseurs Multi-Split permettant de climatiser plusieurs pièces à la fois à partir d'une seule unité extérieure. Ce système est aujourd'hui l'une des formes les plus avancées des climatiseurs. Les unités intérieures sont disponibles en plusieurs versions selon leur emplacement, console, plafonnier, cassette. (Figure III.8)



¹⁵⁶ chauffage, ventilation et climatisation." Microsoft® Encarta® 2009 [DVD]. Microsoft Corporation, 2008. Microsoft ® Encarta ® 2009.

- 4- Les climatiseurs de type « Armoire », ils ont les mêmes caractéristiques que les climatiseurs individuels, mais leur puissance frigorifique est généralement supérieure, ils sont conçus pour répondre aux impératifs de climatisation des grandes surfaces comme : les mosquées, les salles d'expositions, les magasins, les restaurants,etc

D'après Enright, W, la climatisation, à titre de mesure d'adaptation ou d'augmentation des niveaux de confort, ne constitue pas une mesure durable, compte tenu de l'état actuel des sources d'énergie. À moins de modifier les sources d'énergie, la climatisation ne sert qu'à empirer les problèmes de pollution atmosphérique et de bouleversement climatique¹⁵⁷.

Actuellement, l'Algérie a enregistré une utilisation massive des moyens de climatisation au sud et même au nord du pays dans le secteur résidentiel et tertiaire, ayant pour objectif la réduction de la surchauffe. Le recours systématique à ces installations n'est pas fait pour arranger la facture énergétique encore moins l'esthétique de l'enveloppe extérieure du bâtiment, comme le montre la photo III.1.



Photos III.1 : Bâtiment du rectorat de l'université de Tizi- Ouzou

¹⁵⁷ Enright, W. *Changement d'habitudes, changement climatique*. Institut canadien de la santé infantile, Ottawa. Canada ,2001

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 peut citer ¹⁵⁸ :

- ❖ Une conception inadaptée des bâtiments (architecture standardisée) ;
- ❖ l'augmentation des exigences en matière de confort;
- ❖ l'augmentation forte de taux des surfaces vitrées dans les bâtiments modernes pour des raisons architecturales avec absence de protections solaires extérieures;
- ❖ L'emploi d'un très grand nombre d'équipements électriques (ordinateurs, imprimantes, scanner, éclairage, ...etc.) qui augmente les apports internes pour qu'ils constituent l'élément majeur des charges de rafraîchissement (pour les nouveaux bâtiments isolés et équipés de protections solaires).

III.6. Maîtrise de l'énergie et le contexte réglementaire en Algérie

En 1986, l'Algérie, pays exportateur de pétrole et de gaz naturel, subit de plein fouet le contrechoc pétrolier : les prix du pétrole baissent et provoquent une diminution des rentrées de devises pour le financement de l'activité économique. Dans ce contexte, le pays prend conscience de la nécessité de définir une politique d'efficacité énergétique.

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

- La loi 09-99 du 28 Juillet 1999, relative à la maîtrise d'énergie¹⁵⁹ est une loi cadre, elle traduit un des objectifs fondamentaux de la politique énergétique nationale, à savoir la gestion rationnelle de la demande d'énergie et fixe de nombreux aspects liés à la maîtrise de l'énergie dans le domaine de la construction.

- La loi 04-09 du 14 Août 2004 relatives à la promotion des énergies renouvelable dans le cadre de développement durable¹⁶⁰.

- Le décret exécutif 04-149 du 19 Mai 2004 fixant les modalités d'élaboration du Programme national de maîtrise de l'énergie¹⁶¹.

¹⁵⁸ Filfli. Sila « Optimisation bâtiments système pour minimiser les consommations dues a la climatisation » Thèse de doctorat, École des Mines de Paris, décembre 2006, p24

¹⁵⁹ JORA, 1999 : Journal officiel de la république Algérienne n° 51 du 02/08/1999

¹⁶⁰ JORA, 2004 ,journal officiel de la république Algérienne n° 52 du 18/08/2004

¹⁶¹ JORA, 2004 ;journal officiel de la république Algérienne n° 32 du 23/05/2004

- Arrêté interministériel du 29 novembre 2008 définissant la classification d'efficacité énergétique des appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique¹⁶².

En deçà, des lois concernant la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment, la réglementation Algérienne s'est enrichie de documents techniques réglementaires, les DTRC initiés par le ministère de l'habitat et mis en œuvre par le CNERIB¹⁶³. Ces documents qui sont destinés uniquement aux bâtiments à usage d'habitation, mentionnent entre autre les exigences réglementaires que doivent satisfaire leurs enveloppes à savoir :

- Le DTR.C 3-2 qui établit les règles de calcul des déperditions calorifiques d'hiver pour les bâtiments à usage d'habitation ; il vise la limitation de la consommation énergétique relative au chauffage des locaux à travers le calcul des déperditions thermiques.

- Le DTR.C 3-4 relatif aux règles de calcul des apports calorifiques d'été pour les bâtiments ; il vise la limitation de la consommation énergétique relative à la climatisation des locaux,

- Le DTR.C 3-31 relatif à la ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation, fournit les principes généraux qu'il y a lieu d'adopter lors de la conception des installations de ventilation naturelle.

La finalité de cette réglementation est le renforcement de la performance énergétique globale du bâtiment et sa mise en application permettra d'après l'APRU,¹⁶⁴ de réduire les besoins calorifiques de nouveaux logements de l'ordre de 30 à 40% pour les besoins en chauffage et en climatisation.

Malgré cet arsenal juridique important, Il faut reconnaître qu'actuellement, il n'existe aucune volonté politique pour prendre en charge la surconsommation énergétique dans nos bâtiments. Les bâtiments publics en Algérie, ne sont pas encore dotés, d'une réglementation thermique spécifique, l'application de la réglementation thermique détaillée dans les différents documents techniques réglementaires (DTR.C3-2, DTR.C 3-2 et DTR. C3-31) pour les bâtiments à usage d'habitation n'est pas obligatoire, c'est pour ces raisons que la quasi-totalité des bureaux d'études en architecture n'ont pas une copie de cette réglementation.

¹⁶² JORA, 2009 :journal officiel de la république Algérienne n° 12du 12/02/2009

¹⁶³ Centre National d' Études et Recherches Intégrées du Bâtiment crée par decret n° 85-235 du 25 Août 1985

¹⁶⁴ kamel Dali, « mise en application de la réglementation thermique des bâtiments » la lettre de l'APRU, bulletin trimestriel de n° 10 septembre 2006,p8

La mise en place d'une réglementation thermique et énergétique des bâtiments neufs et des mécanismes de contrôle devient par conséquent une nécessité étant donnée les perspectives énergétiques futures du pays et les enjeux qui sont en premier lieu économiques, et ce pour réduire la facture énergétique et réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Conclusion

Le bâtiment est considéré comme un secteur économique clé, fortement consommateur d'énergie et émetteur de gaz à effet de serre. On constate que la climatisation et le chauffage consomment une portion non négligeable en matière d'énergie. Pour une meilleure efficacité énergétique des bâtiments, l'exploitation rationnelle et le remplacement progressif des sources d'énergie traditionnelles par des énergies renouvelables, doivent figurer parmi les objectifs de toute politique énergétique viable.

Ainsi, la prise en compte du facteur thermique lors de la conception de bâtiments est à l'heure actuelle un défi qu'il est indispensable de mener afin de trouver le juste compromis entre le confort thermique et les dépenses énergétiques. Un bâtiment performant sur le plan thermique permettra d'atteindre trois objectifs : la protection de l'environnement extérieur, des économies d'énergie, ainsi que l'amélioration du confort thermique.

Afin d'assurer le confort thermique et de réduire les besoins énergétiques dans le bâtiment public en Algérie, on peut intervenir 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 et à la climatisation des bâtiments en vue de réaliser un meilleur confort thermique.*
- ✓ *L'amélioration des performances et du rendement des équipements énergétiques.*
- ✓ *Le choix des sources d'énergie par le recours à l'utilisation des énergies renouvelables.*
- ✓ *La mise en place d'une réglementation thermique pour les bâtiments publics.*

QUATRIÈME CHAPITRE

*Présentation du cas d'étude
Et méthodologie de recherche*

Introduction

Dans le but de cerner les principaux problèmes du confort thermique dans le bâtiment public, nous avons choisis comme cas d'étude, le bâtiment du département d'architecture de Tizi-Ouzou, à analyser sur le plan bioclimatique pour comprendre son rapport avec le climat. Le volet pratique de ce travail, consiste en une investigation sur terrain, basée sur l'usage de deux outils de recherche qui sont ; les mesures in situ à l'aide d'instrumentation technique et l'enquête par questionnaire qui s'appuie sur la perception que les individus ont d'une situation et leur réaction face à celle-ci.

Pour ce qui est du premier outil de recherche, nous avons effectué une campagne de mesures des niveaux de températures, d'humidités relatives et des températures de surfaces à l'intérieur et à l'extérieur des quatre salles d'atelier choisi ,avec des orientation différents durant toute une journée en saisons hivernale et estivale .

Il s'agit, en fait, de recueillir des informations sur le confort thermique et les besoins des occupants dans un bâtiment public représentatif.

IV.1.Présentation de la région de Tizi-ouzou

IV.1.1. Situation géographique

A une latitude de $36^{\circ}42$ au Nord, une longitude de $04^{\circ}03$ à l'Est et une altitude de 188 m, la ville de Tizi-Ouzou est située au Nord de l'Algérie (figure IV.1), à 100 km à l'est de la capitale d'Alger, à 125 km à l'ouest de Béjaïa, à 40 km du massif du Djurdjura et à 30 km au Nord des côtes méditerranéennes. Cette région est encadrée entre deux anciens massifs : le Belloua à 650 m d'altitude au nord et le vieux massif de Hasnaoua à 600 m d'altitude au Sud.



Figure IV.1:Situation de la ville de Tizi-Ouzou

IV.2. Le climat de la ville de Tizi-Ouzou

La région de Tizi-Ouzou se situe dans la zone du climat méditerranéen. Elle présente un climat caractérisé par un hiver frais et pluvieux et un été chaud et humide.

En raison des massifs montagneux qui entourent la ville, il peut parfois neiger en hiver. En été, la chaleur peut être suffocante car l'air marin se heurte au relief montagneux qui l'empêche d'atteindre la ville.

Toutefois la réalisation du barrage de Taksebt au niveau de la wilaya a fait que l'humidité à augmenté considérablement ces dernières années.

Les conditions climatiques d'un lieu peuvent être scindées en contraintes dont on désire se protéger et en avantages qu'on désire exploiter. L'architecture bioclimatique a pour objet la recherche d'une synthèse harmonieuse entre la vocation du bâtiment, le confort des occupants et la prise en compte de ces conditions. C'est pour ces raisons qu'il faut bien évaluer le climat du site d'implantation du projet avant toute conception architecturale.

IV.2.1 Données climatiques de la région de Tizi-Ouzou

Afin de mieux caractériser le climat de la ville de Tizi-Ouzou, il est utile d'analyser les différents paramètres qui le constituent, en interprétant les données météorologiques qui s'étalent sur une période de dix ans, relative à la période (2001-2010)¹⁶⁷.

IV.2.1.1. Rayonnement solaire et la durée d'insolation

A partir des données climatiques recueillies au niveau de la station météorologique de Boukhalfa relatives à la durée d'ensoleillement de la ville de Tizi-Ouzou pour la période 2001-2010 (figure IV.2), le mois de janvier présente une durée d'ensoleillement la moins importante (en moyenne 144 heures), tandis que le mois de juillet est le mois le plus ensoleillé de l'année (en moyenne 320 heures). Nous constatons également que le nombre d'heures d'ensoleillement au cours de l'année est très important, soit 2675,6 heures en moyenne par an, ou bien 112 jours par an : ce qui représente à peu près le tiers de l'année.

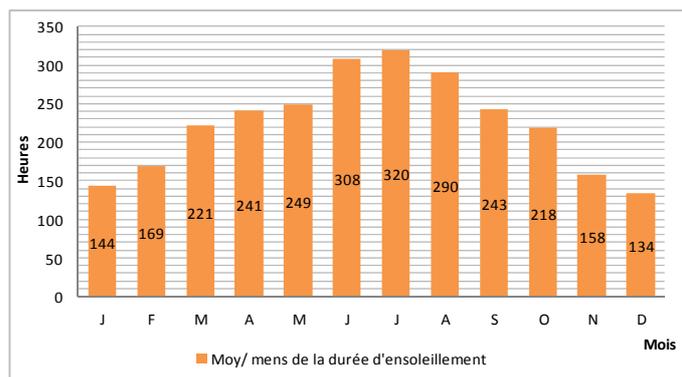


Figure IV.2 : Durée mensuelles d'insolation à Tizi-ouizou

¹⁶⁷Source: Station O.N.M (Office National Météorologique) de Boukhalfa, Tizi-Ouzou

Ainsi, la durée d'ensoleillement enregistrée, nous indique l'importance du rayonnement solaire direct dans la région de Tizi-ouzou. Cette présence marquée tout au long de l'année (environ 112 jours par an) doit être prise en considération lors de la conception d'un projet architectural afin d'empêcher d'éventuels problèmes de surchauffe et ce, en prévoyant des protections solaires par exemple. Aussi cette énergie solaire peut être considéré comme source d'énergie gratuite pour un chauffage solaire passif en hiver. (Voir chapitre II, confort d'hiver)

IV.2.1.2. Les températures

Les données recueillies et représentées par des graphes de températures moyennes mensuelles, pour la période de 2001 à 2010, font ressortir les caractéristiques suivantes :

- Une décroissance de température rapide d'Août (28,85°C) à décembre (12,10°C),
- Une croissance modérée et régulière de janvier (10,7°C) à Août (28,85°C)
- Les mois les plus froids sont : Janvier, février, mars, novembre et décembre avec des températures moyennes mensuelles minimales de 6,4°C en janvier et 7,8°C en décembre
- Les mois les plus chauds : Juin, juillet, août et septembre avec une température moyenne maximale de 36°C en Juillet et de 35,8°C en Août.

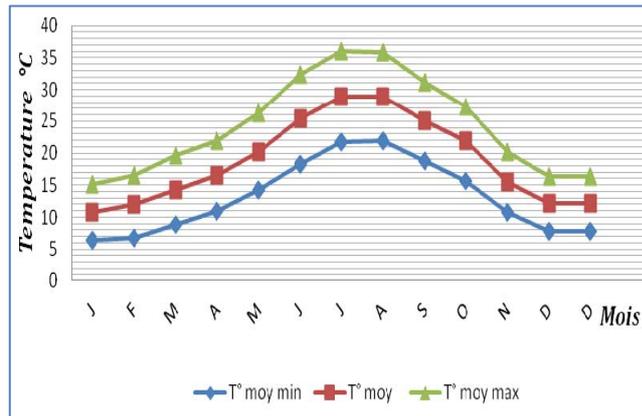


Figure IV.3: Valeur des températures moyennes mensuelles, pour la période de 2001/2011. Source:

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.2.1.3. Les précipitations

La répartition annuelle des précipitations à Tizi-ouzou (figure IV.4) est marquée par une période courte de sécheresse dans le mois de Juillet et août, durant laquelle les précipitations sont très faibles et souvent

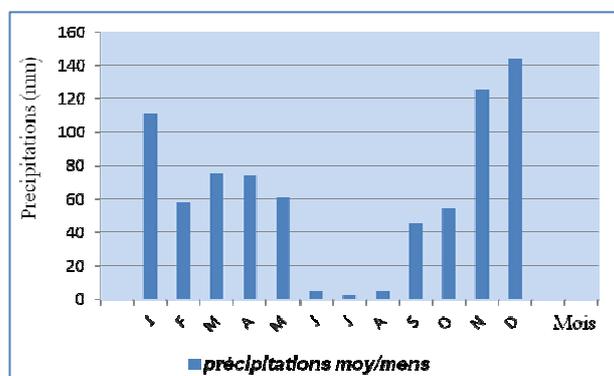


Figure IV.4: Valeur des précipitations moyennes mensuelles de 2001/2010. Source: O.N.M

sous forme d'orage.

La période pluvieuse s'étend du mois de novembre au mois d'avril. Le mois de décembre étant le mois le plus pluvieux avec une quantité moyenne de 145,6 mm et le mois de juillet est le plus sec avec une valeur moyenne de 2,45 mm. Le total des précipitations annuelles est de 760,9 mm

IV.2.1.4 L'humidité

La valeur moyenne de l'humidité dépasse les 50% pour tous les mois de l'année et varie entre un maximum de 94 % au mois de Décembre, Janvier, Février et un minimum de 77 % au mois de Juillet.

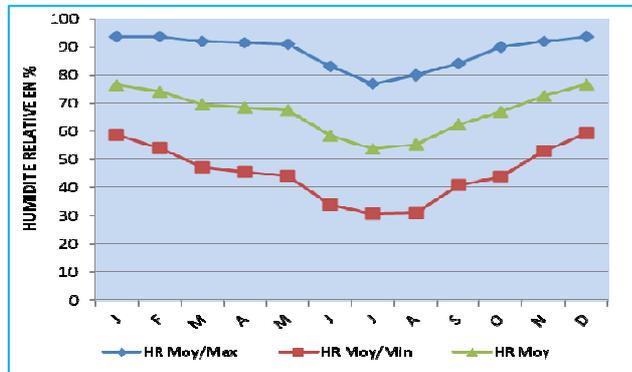


Figure IV.5: Valeur de l'humidité moyenne mensuelle, minimale et maximale, Source : O.N.M.

La valeur moyenne maximale de l'humidité pendant ces dix dernières années est atteinte au mois de Décembre, Janvier et Février avec une valeur 94%.

a valeur moyenne minimale de l'humidité pendant la période de 2001 à 2010 est atteinte au mois de Juillet avec une valeur 29.40 %.

IV.2.1.5. Le Vent

Les vents qui prédominent à Tizi-Ouzou sont de direction Ouest en hiver et Ouest-Nord-Ouest en été, 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. Elles sont plus élevées durant les mois chauds que durant les mois froids et varient entre 1,3 et 2,3 m/s, avec une moyenne annuelle de 1,7 m/s. C'est un vent considéré comme faible



Figure IV.6: vitesse des vents moyenne mensuelle Source : ONM

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.

IV.2.1.6. Conclusion de l'analyse climatique

A partir de l'analyse climatique 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 obligatoirement 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 par rapport à la durée d'insolation de la ville de Tizi-Ouzou.

La région de Tizi-Ouzou est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré avec une saison hivernale froide relativement humide et une saison estivale chaude mais moins humide avec des radiations solaires intenses et une température de l'air extrêmement élevée.

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 pour l'été et les mois de décembre ou janvier pour l'hiver.

IV.3. 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 (Tableau IV.1). L'exploitation du diagramme psychométrique de Givoni fait ressortir des recommandations conformes au climat de la région.

Température °C	Janv	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
<i>T° Moy/mens max.</i>	15.3	16.4	19.7	21.4	26.2	32.4	36.0	35.8	31.2	27.4	20.2	16.3
<i>T° Moy/mens min.</i>	6.4	6.7	8.8	10.9	14.3	18.3	21.7	21.8	18.7	15.7	10.8	7.8
Humidité %												
<i>HR, Moy/mens max</i>	93.7	93.5	92.3	92.9	90.7	82.8	77.1	79.3	84.7	89.6	92.6	94.0
<i>HR Moy/mens min</i>	59.3	52.9	48.4	47.5	45.0	33.6	29.4	30.6	38.7	42.8	51.6	59.4

Tableau IV.1: Données climatiques de la ville de Tizi-Ouzou, période 2001 à 2010,
Source : ONM ,station de Boukhalfa (Tizi-Ouzou)

IV.3.1. Application de la méthode de Givoni

Comme nous l'avons développé au premier chapitre, le Principe d'élaboration du diagramme de Givoni revient à représenter le climat mois par mois par deux points sur un diagramme, chaque mois est représenté par un segment qui représente une journée type du mois (Figure IV.7). Le point de gauche du segment ($T^{\circ}\text{min}$, HR_{max}) représente la moyenne des températures nuit et le point de droite ($T^{\circ}\text{max}$, HR_{min}) représente le jour¹⁶⁸.

L'utilisation du diagramme bioclimatique permet de savoir si l'espace considéré se trouve dans la zone de confort (zone bleu sur le diagramme) ou hors de cette zone pour chercher quels aménagements à apporter pour retrouver le confort (circulation d'air, chauffage, humidification, rafraîchissement par évaporation, action de la masse thermique...)

Le diagramme psychométrique permettra de déterminer :

- La zone de confort ;
- La zone de surchauffe ;
- La zone de sous chauffe

V.3.1.1. Lecture du diagramme

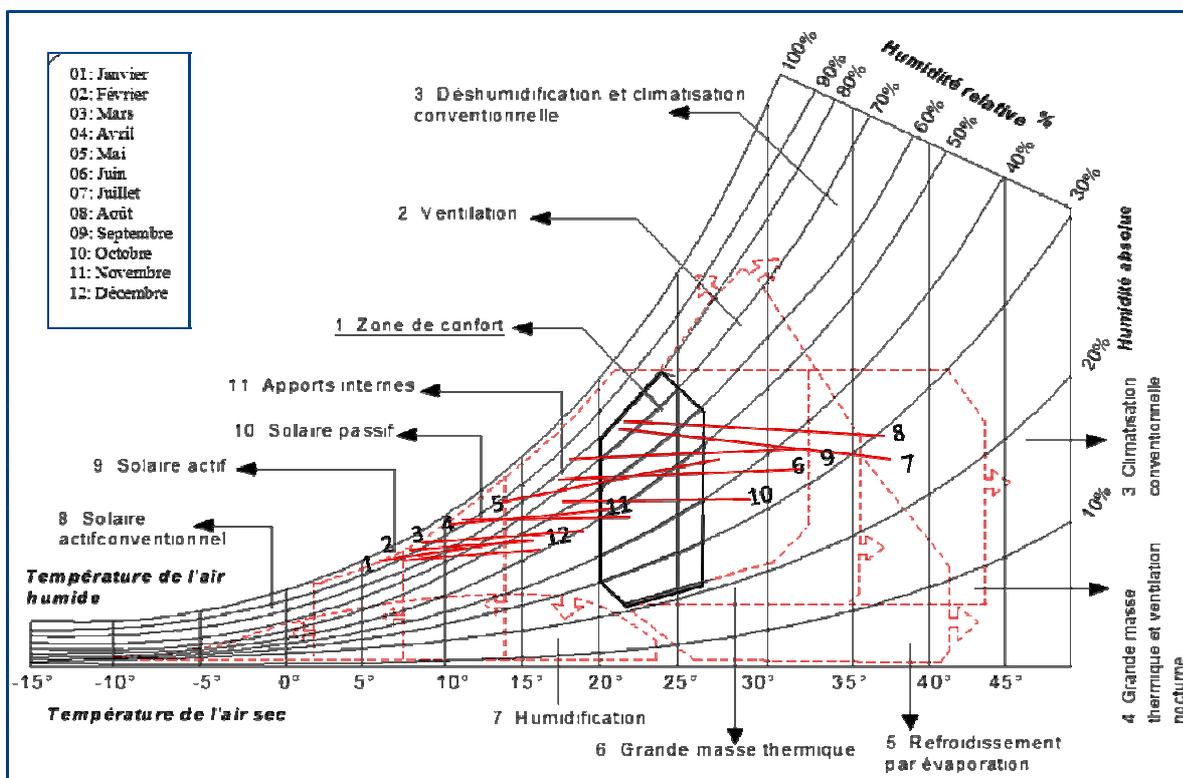


Figure IV.7: Diagramme bioclimatique de la ville de Tizi Ouzou

¹⁶⁸ Ould-Hennia, A. « Choix climatiques et construction, zones arides et semi-arides : la maison à cour de Boussaâda ». Thèse de doctorat, école polytechnique Fédérale de Lausanne, suisse, 2003, p180

La lecture du diagramme de Givoni permet d'établir les recommandations suivantes pour la ville de Tizi-Ouzou :

- un système actif est nécessaire les mois de Décembre, Janvier et Février (nuit).
- un système passif (utilisation de l'énergie solaire sans utilisation d'équipements spécifiques, la chaleur est captée, stockée et restituée, via ses ouvertures et les murs) est nécessaire les mois de Novembre (nuit), Décembre, Janvier et Février (jour), Mars et Avril (nuit).
- Les gains internes suffisent pour atteindre le confort, donc le chauffage n'est pas nécessaire durant le mois d'Octobre (nuit), Novembre (jour), Avril (jour) et Mai (nuit).
- Période de confort durant laquelle ni le chauffage ni la ventilation ne sont nécessaires: Mai (jour), Juin (nuit), Octobre (jour), et Septembre (nuit).
- Pendant la période d'été, qui correspond aux mois de Juin (jour), Juillet, Août, Septembre (jour), on a recours à la masse thermique et au refroidissement par évaporation, associé à une ventilation nocturne, ce sont les stratégies recommandées pour la zone de surchauffe afin de réintégrer le confort d'été.

IV.3.2. Application de la méthode de Mahoney

Carl Mahoney a développé une méthode de traitement des données climatiques très simple, ce sont une série de tableaux de référence d'architecture utilisées comme guide pour obtenir des bâtiments confortables, adapté aux conditions climatiques, ces tables sont constituées d'une suite de 6 tableaux¹⁶⁹. 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.

Tableau de Mahoney

<i>Location</i>	<i>TAMDA (Tizi-Ouzou)</i>
<i>Longitude</i>	<i>4°11 E</i>
<i>Latitude</i>	<i>36°42 N</i>
<i>Altitude</i>	<i>188m</i>

¹⁶⁹ Ould-Hennia, A. « Choix climatiques et construction, zones arides et semi-arides : la maison à cour de Boussaâda ». Thèse de doctorat, école polytechnique Fédérale de Lausanne, suisse, 2003

Tableau de Mahoney

Location	TAMDA (Tizi-Ouzou)
Longitude	4°11 E
Latitude	36°42 N
Altitude	188m

Température de l'air en °C

Température (C°)	Jan.	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Dec
Moy. mensuelle .max	15.3	16.4	19.7	21.4	26.2	32.4	36.0	35.8	31.2	27.4	20.2	16.3
Moy . mensuelle .min	6.4	6.7	8.8	10.9	14.3	18.3	21.7	21.8	18.7	15.7	10.8	7.8
L'écart mensuel	8.9	9.7	10.9	10.5	11.9	14.1	14.3	14	12.5	11.7	9.4	8.5
$AMT = (T_{max} + T_{min}) / 2$ $AMR = T_{max} - T_{min}$								$T^{\circ} max = 36$ $T^{\circ} min = 6.4$		$AMT = 21.2$ $AMR = 29.6$		

Humidité relative

Humidité (%)	Jan.	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec
.Moy men /max	93.7	93.5	92.3	92.9	90.7	82.8	77.1	79.3	84.7	89.6	92.6	94.0
HR Moy men min	59.3	52.9	48.4	47.5	45.0	33.6	29.4	30.6	38.7	42.8	51.6	59.4
Moyenne mensuelle	76.5	73.2	70.3	70.2	67.8	58.2	53.2	54.9	61.7	66.2	72.1	76.7
Groupe d'humidité	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4
									Groupe d'humidité		Humidité relative	
									1		HR < 30 %	
									2		HR : 30 -50%	
									3		HR : 50 -70%	
									4		HR > 70%	

Précipitation et vents

	Jan.	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec
Précipitation (mm)	110.8	58.1	74.9	73.5	60.4	4.8	2.6	4.8	45.9	54.4	125.6	143.7
Vitesse des vents m/s	1.2	1.3	1.6	1.8	1.8	2.2	2.1	2.0	1.5	1.2	1.3	1.4

Limites de confort

Groupe d'humidité	AMT > 20°C				AMT 15-20°C				AMT < 15 °C			
	Confort jour		Confort nuit		Confort jour		Confort nuit		Confort jour		Confort nuit	
	Min	Max										
1	26	34	17	25	23	32	14	23	21	30	12	21
2	25	31	17	24	22	30	14	22	20	27	12	20
3	23	29	17	23	21	28	14	21	19	26	12	19
4	22	27	17	21	20	25	14	20	18	24	12	18

Diagnostic de température en °C

	Jan.	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec
Groupe d'humidité	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4
T° Moy/ men max	15.3	16.4	19.7	21.4	26.2	32.4	36.0	35.8	31.2	27.4	20.2	16.3
Confort du jour / T° max	27	27	27	27	29	29	29	29	29	29	27	27
Confort du jour / T° min	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	22	22
Stress du jour	C	C	C	C	O	H	H	H	H	O	C	C
T° moy/ men min	6.4	6.7	8.8	10.9	14.3	18.3	21.7	21.8	18.7	15.7	10.8	7.8
confort de nuit / T° max	21	21	21	21	23	23	23	23	23	23	21	21
Confort de nuit / T° min	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
Avec : O : confort, C : froid, H : chaud												

Signification :

	Indicateur	confort thermique		Précipitation	Groupe d'humidité	Ecart mensuel
		Jour	Nuit			
Mouvement d'air essentiel	H1	H			4	
		H			2, 3	<10 °C
Mouvement d'air désirable	H2				4	
Protection contre les pluies	H3			>200 mm		
Capacité thermique	A1				1, 2, 3	>10 °C
Dormir à l'extérieur	A2		H		1, 2	
		H	O		1, 2	>10 °C
Protection contre le froid	A3	C				

Indicateurs :

	Jan.	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Humide													
H1													00
H2	+	+	+	+							+	+	06
H3													00
Aride													
A1					+	+	+	+	+	+			06
A2													00
A3	+	+	+	+	+					+	+	+	08

❖ **Les recommandations spécifiques:**

Indicateurs					
H1	H2	H3	A1	A2	A3
00	06	00	06	00	08

						<i>Plan de masse</i>		
			0-10			+	1	Bâtiments orientés nord-sud (le long de l'axe est-ouest)
			11.12		5-12			
				0-4				

						<i>Espacement entre bâtiments</i>		
11.12							3	Grands espacement entre les bâtiments
2-10							4	Idem avec protection contre les vents
0.1						+	5	Plan compact

						<i>Circulation d'air</i>				
3-12							+	7	Circulation d'air intermittente	
1.2			0-5			6				Circulation d'air permanent
			6-12			8				Circulation d'air inutile
0	2-12									
	0.1									

						<i>Ouvertures</i>		
			0-1		0		9	Larges ouvertures des façades Nord et Sud (40 – 80 %)
			11.12		0.1		10	Petites ouvertures (10 - 20 %)
N'importe qu'elle Autres conditions						+	11	Moyenne ouvertures (20 - 40 %)

						<i>Murs</i>		
			0-2				12	Murs légers
			3-12			+	13	Murs massives

						<i>Toitures</i>		
			0-5				14	Toitures légères et isolante
			6-12			+	15	Toiture lourde

						<i>Dormir a l'extérieur</i>		
				2-12			16	dormir en plein air la nuit

						<i>Protection contre la pluie</i>		
		3-12					17	protection contre la pluie

❖ **Recommandations de détails :**

Indicateur total					
H1	H2	H3	A1	A2	A3
00	06	00	06	00	08

Dimensions des ouvertures								
			0 -1		0	1	Grande ouvertures (40 à 80%) des façades Nord et Sud	
					1-12			
			2 -5			2	Ouvertures moyennes (25 à 40 %)	
			6 -10			+	3	Petites ouvertures (15 à 25 %)
			11.12		0-3		4	Très petites ouvertures (10 à 20 %)
					4-12		5	Ouvertures moyennes (25 à 40 %)

Position des ouvertures								
3-12						6	Ouverture au Nord et au Sud.	
			0 -5					
1- 2			6-12			+	7	Ouverture au Nord et au Sud. Avec des ouvertures pour les murs intérieurs.
0	2-12							

Protection des fenêtres							
					0-2	8	Exclure les apports directs
		2-12				9	Créer des protections contre la pluie

Murs et planchers								
			0-2			10	Murs légers, faible capacité thermique	
			3-12			+	11	Murs lourds, déphasage au delà de 8h

Toitures								
10.12			0-2			12	Toitures légers	
			3-12					
			0-5			13	Toitures légères et isolante	
0-9			6-12			+	14	Toitures lourdes, déphasage au delà de 8h

Traitement des surfaces extérieures							
				1-12		15	Espaces extérieurs nécessaires pour dormir
		1-12				16	Drainage adéquat des eaux pluviales

Par l'application de la méthode de Mahoney sur la ville de Tizi-Ouzou sous la latitude 36° 42 Nord, on aboutit à un certain nombre de recommandations nécessaires à la réalisation du confort hygrothermique dans le bâtiment, variant du général (implantation, orientation...) jusqu'au détail (dimension des ouvertures).

IV.3.2.1.Synthèse des recommandations spécifiques:

- ✓ favoriser l'orientation nord-sud afin de diminuer l'exposition des façades Est et Ouest au rayonnement solaire bas, dont il est difficile de se protéger;
- ✓ conception compacte des constructions pour limiter les surfaces déperditives et pour une exposition solaire minimale de l'enveloppe ;
- ✓ En raison de l'humidité de la saison chaude, il est nécessaire de favoriser les mouvements d'air ;
- ✓ Prévoir des ouvertures moyennes (20% à 40%) sur la façade sud, pour profiter des apports du soleil bas pendant la saison froide;
- ✓ Prévoir des murs extérieurs et intérieurs massiques dans le but de retarder la transmission de la température des surfaces extérieures vers les surfaces intérieures ;
- ✓ Opter pour des toitures lourdes avec un temps de déphasage de 8 heures.

IV.3.2.2.Synthèse des recommandations de détail :

- ❖ Petites ouvertures de 15 à 25% de la surface de la façade ;
- ❖ Les ouvertures doivent être positionnées au Nord et au Sud, en ajoutant des ouvertures au niveau des murs intérieurs ;
- ❖ Murs et planchers lourds avec un temps de déphasage de 8h ;
- ❖ Toitures lourdes, avec un temps de déphasage de 8h

Les recommandations à satisfaire pour les espaces intérieurs, s'avèrent conformes à une région climatique où les éléments principaux à prendre en considération sont le rayonnement solaire et la température de l'air.

IV.3.2.3. Conclusion de l'analyse bioclimatique

Le diagramme bioclimatique permet de situer les actions possibles pour créer une situation favorable au confort. La connaissance des systèmes de chauffage et de refroidissement passifs possibles pour chaque mois, permet un bon déroulement des activités professionnelles sans gaspillage d'énergie et sans que la facture énergétique ne soit trop élevée.

Pour Tizi-Ouzou le chauffage passif est recommandé pour les six mois de l'année (novembre, décembre, janvier, février, mars et avril), ceci sera atteint par une bonne pénétration du rayonnement solaire de la façade sud, le choix rigoureux des matériaux, la compacité de l'enveloppe avec des toitures bien isolées pour limiter les déperditions. Pendant la saison chaude, les besoins en refroidissement sont aussi importants que les besoins de chauffage passif en hiver. Un rafraîchissement passif est nécessaire : plan compact, une inertie thermique pour les murs dans le but de retarder la transmission de la température des surfaces extérieures vers les surfaces intérieures, recourir à une ventilation naturelle efficace,

IV.4. Enquête sur la situation des bâtiments publics à Tizi-Ouzou

IV.4.1. Objectifs

Afin de définir la typologie des bâtiments publics à Tizi-Ouzou, nous avons réalisé une première enquête sur le terrain, qui nous a permis d'avoir des informations sur les caractéristiques constructives des bâtiments (les systèmes constructifs, composition des murs, les types de vitrage et les surfaces vitrées,..... etc.).

La deuxième enquête concerne les cahiers des charges des concours d'architecture portant sur la réglementation des marchés publics.

IV.4.2. Méthodologie

L'enquête s'est déroulée en juin 2011, et a concerné l'analyse de permis de construire des bâtiments publics délivrés depuis 10 ans et leurs cahiers des charges. Nous avons ensuite complété cette analyse statistique par des entretiens avec des personnes travaillant dans les services de la D.L.E.P de la wilaya (ingénieurs en génie civil, architectes,..... etc.).

IV.4.3. Analyse des résultats

Les résultats obtenus après notre enquête sont comme suit :

-Un grand nombre d'équipements publics sont construits en utilisant le même système constructif (structure poteaux, poutres) et quelque soit leurs usages ;

-Utilisation de la brique comme matériaux de construction pour les murs extérieurs et intérieurs ;

- Utilisation du simple vitrage pour les fenêtres ;

- Absence de protection solaire extérieure au niveau des baies vitrées ;

- Les matériaux d'isolation sont très peu utilisés et se limitent à l'isolation des toitures.

Concernant les cahiers de charges des bâtiments publics, établie en conformité aux dispositions de l'article 51 du décret présidentiel n° 10.236 du 07 octobre 2010 portant réglementation des marchés publics¹⁷⁰, qui décrit précisément les critères d'évaluation et le système de notation des offres pour l'étude architecturale des bâtiments publics dont les critères de notation recensés pour l'évaluation architecturale sont¹⁷¹:

Evaluation architecturale (notée sur 45 Points)

<i>a)-Partie architectural du projet (effort de recherche)</i>	<u>20 Points</u>
- Créativité et originalité dans la conception	10 points
- Volumétrie et originalité dans la conception	07 points
-Traitement des façades	03 points
<i>b)-Fonctionnalité du projet</i>	10 points
<i>c)-Respect du programme</i>	03 points
<i>d)-Intégration du projet au site et à l'environnement immédiat</i>	03 points
<i>e) -Aménagement des espaces extérieurs</i>	03 points
<i>f)-Économie du projet</i>	05 Points
<i>g)-Qualité du rendu</i>	01 Points

Après analyse des critères d'évaluation des concours d'architecture, on constate que le cahier des charges des concours ne fait pas référence à l'aspect thermique du projet et ne le considère pas comme critères de sélection et de notation.

Sur la base de ce qui précède, nous prenant un cas d'étude représentatif, c'est le bâtiment du département d'architecture de Tizi-Ouzou sur lequel nous baserons nos recherches.

IV.5. Présentation du bâtiment cas d'étude

Nous avons choisi pour cette étude, le bâtiment du département d'architecture de Tizi-Ouzou, construit en 2007 à Tamda, situé à 15 kilomètres à l'Est du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou, le département fait partie du nouveau pôle technologique de l'université de Tizi-Ouzou, composé de 15 000 places pédagogiques.

Le bâtiment est caractérisé par une forme radiale organisé autour d'un espace central, avec une aile linéaire de type barre réservé aux salles pédagogiques. L'entrée au département, invite de part sa forme, les étudiants à explorer l'intérieur par l'espace central d'accueil,

¹⁷⁰ DLEP; Direction du logement et des équipements publics de TIZI-OUZOU

¹⁷¹ DLEP; Direction du logement et des équipements publics de TIZI-OUZOU

considéré comme espace de regroupement, d'exposition et de détente. Les amphithéâtres sont organisés autour de cet espace, avec des dégagements pour rejoindre les salles de TD et les ateliers, qui sont agencés de façon linéaire de part et d'autre d'un couloir, pour finir avec les locaux de l'administration. Les éléments porteurs du projet seront réalisés en systèmes poteaux-poutres, qui sont une caractéristique générale de la majorité des bâtiments publics à Tizi-Ouzou et une couverture en toiture terrasse, non isolée, elle est simplement recouverte d'une étanchéité et de gravillons¹⁷².

Le choix d'un bâtiment d'enseignement 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, densément utilisés la journée. Cependant, la différence de ces bâtiments d'enseignements et les autres bâtiments publics ; c'est que les locaux pédagogiques (salles de cours, ateliers.....etc.) ne sont pas climatisés où des niveaux élevés de l'éclairage et de la ventilation sont exigés et le rayonnement direct du soleil avec son intensité représente la source principale d'inconfort thermique en été.

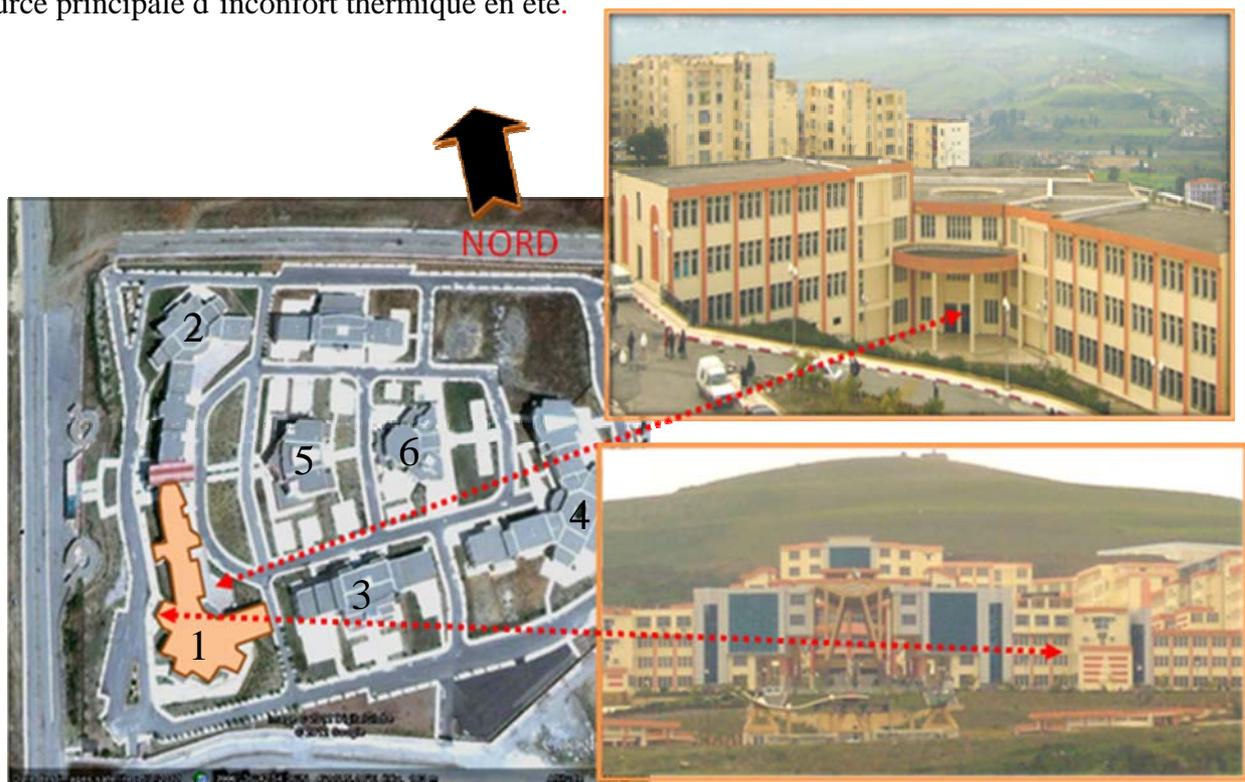


Figure IV.8 : Situation du bâtiment cas d'étude dans son contexte immédiat

Legende :

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1-Departement d'architecture | 4-Departement d'agronomie |
| 2-département de psychologie | 5-Bibliothèque centrale |
| 3-Departement de sociologie | 6-Administration |

¹⁷² BERHTO. Devis descriptif, réalisation de 2000 places pédagogiques a Tamda, 2005

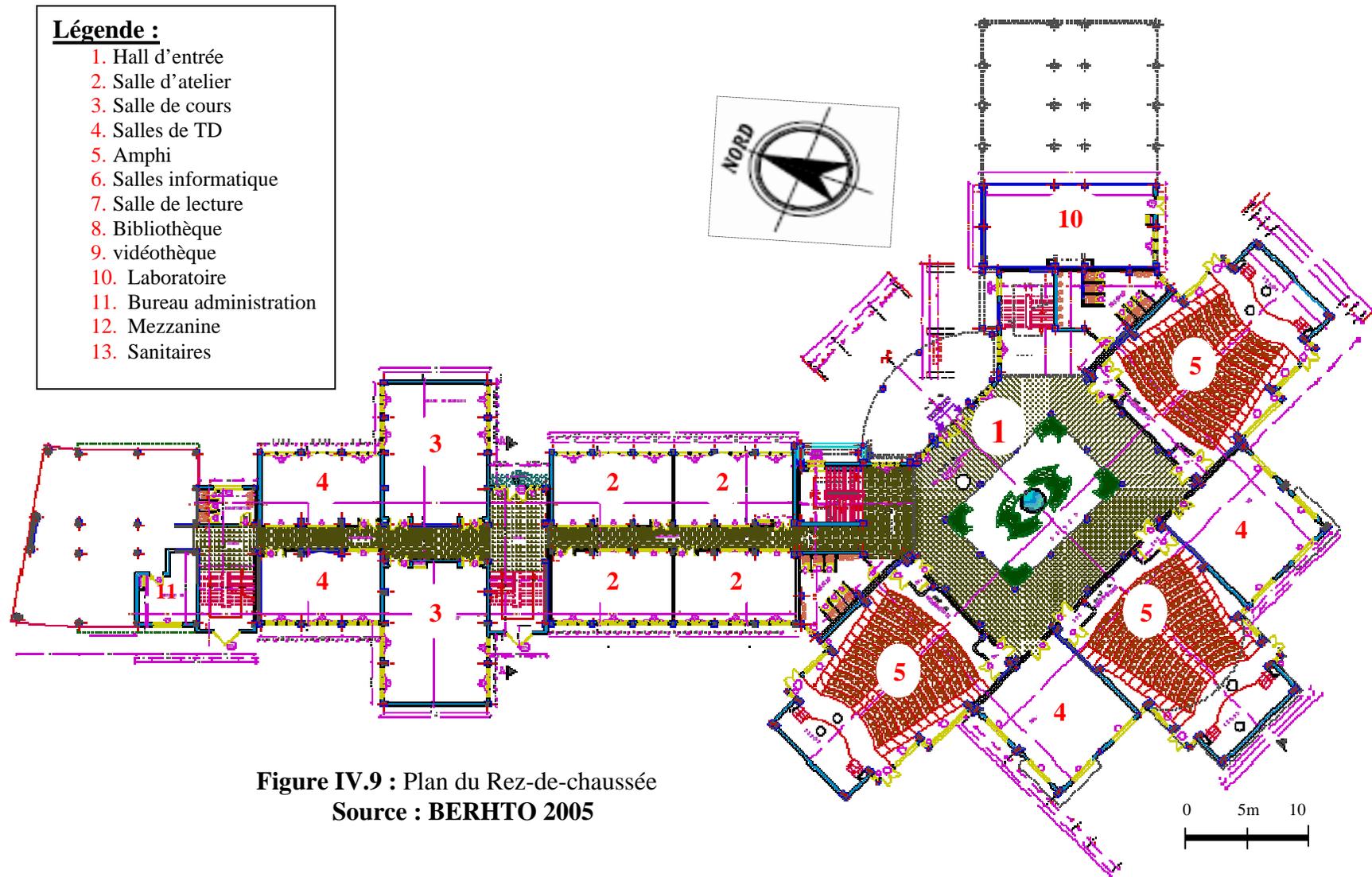
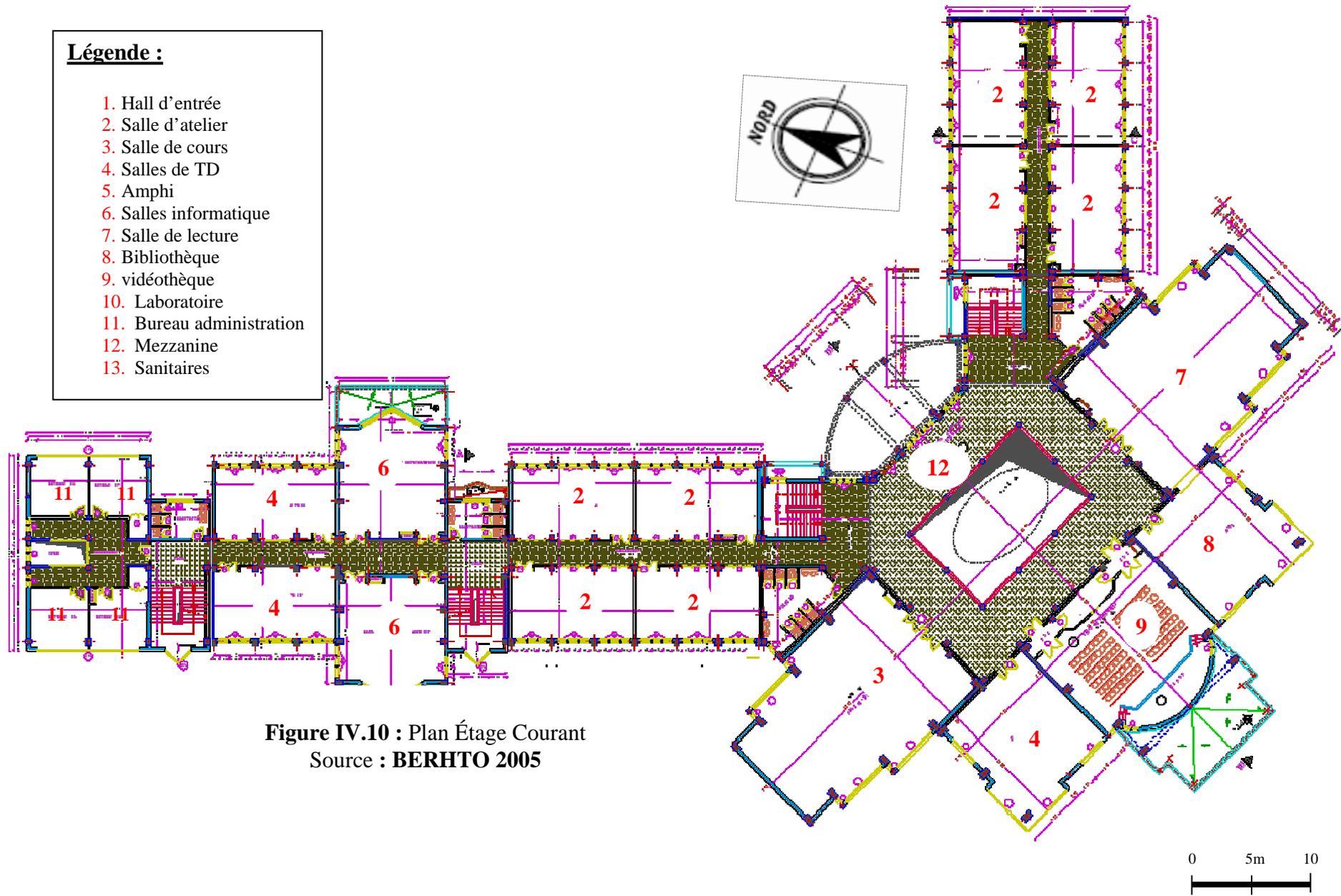


Figure IV.9 : Plan du Rez-de-chaussée
Source : BERHTO 2005



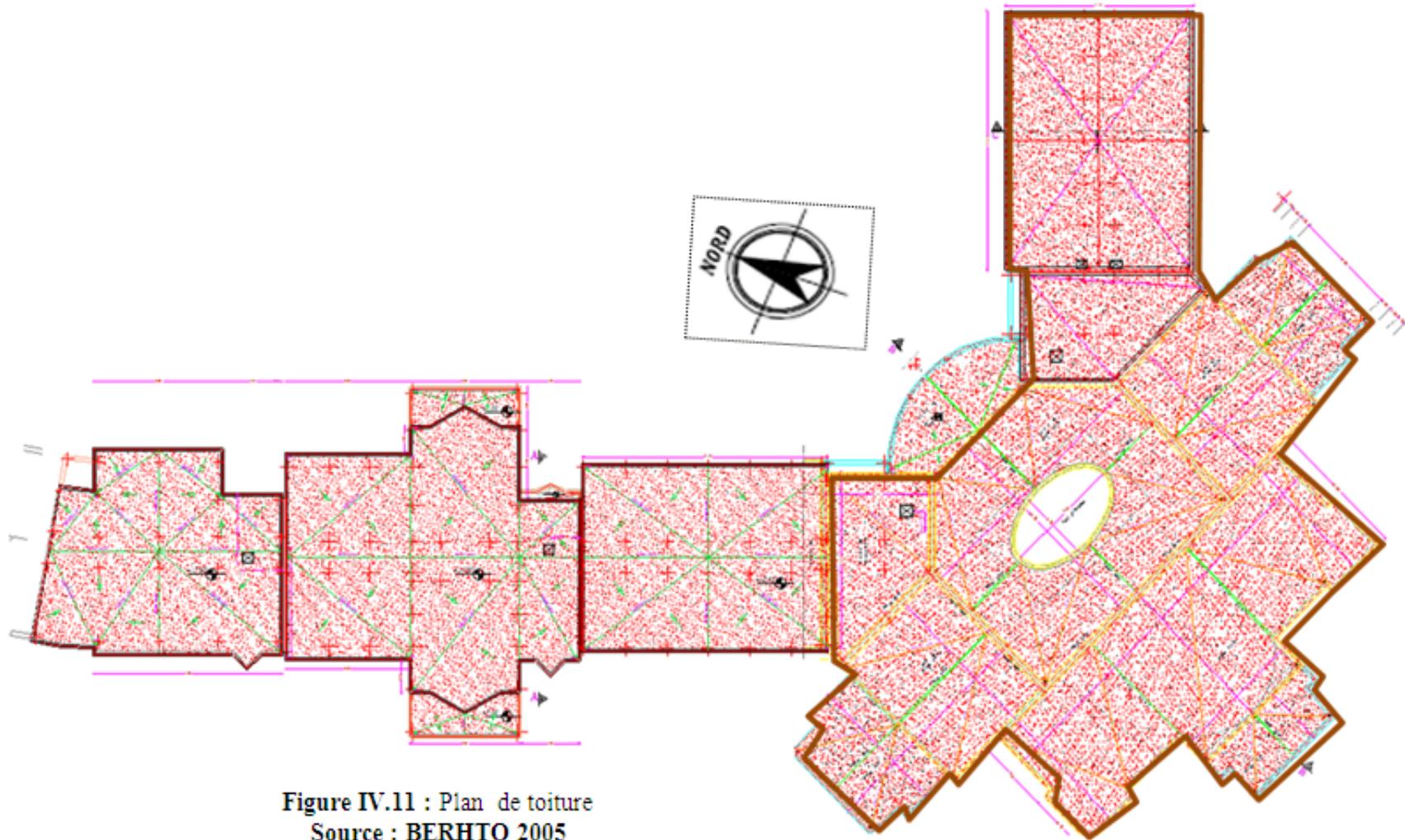


Figure IV.11 : Plan de toiture
Source : BERHTO 2005



Photos IV.1 : Façade Ouest



Photos IV.2 : Façade Est



Photos IV.3 : Façade Nord

V.5.1. Caractéristiques constructives du projet

D'après le devis descriptive du projet¹⁷³, les caractéristiques constructives du projet se résument par :

- ✓ 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 de 10 cm, Le revêtement extérieur est en enduit de ciment et en plâtre pour l'intérieur (photos IV.1) ;
- ✓ Les murs intérieurs : construits en simple cloison de briques de 10 cm d'épaisseur avec un enduit en plâtre ;
- ✓ Les planchers : sont réalisés en poutrelles et hourdis avec dalles de répartition coulées sur place, le revêtement des sols est en carrelage sur sable ;
- ✓ La toiture : c'est une toiture terrasse en poutrelles et hourdis ;
- ✓ Le vitrage : le vitrage utilisé est un vitrage simple et clair de 4 mm d'épaisseur pour les fenêtres des locaux pédagogique et en double vitrage pour les murs rideaux au niveau de L'administration et les cages d'escaliers.



Photo IV.1 : Bibliothèque en construction (Tamda)

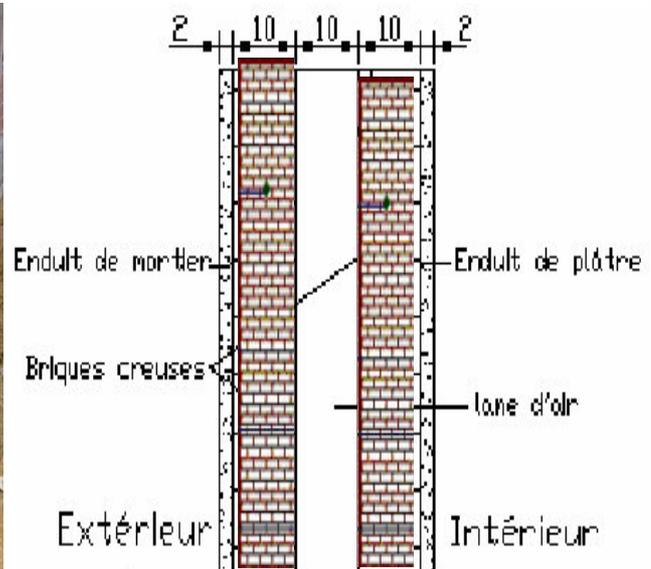


Figure IV.9 : Composition des murs extérieurs
Source : BERHTO

¹⁷³ BERHTO ; devis descriptive des travaux ,2005

IV.5.2. Composition des façades

Les façades du bâtiment sont identiques dans leur composition et traitement pour les différentes orientations, elles ne sont pas dotées de protection solaires, ni extérieure ni intérieure. (Photos IV.10). La façade de chaque atelier se compose de neuf éléments de fenêtres (de taille 85 cm x 210 cm pour chaque élément), la surface totale des ouvertures occupent un pourcentage de 60 % de la surface de la façade exposée. A noter que l'une des recommandations de

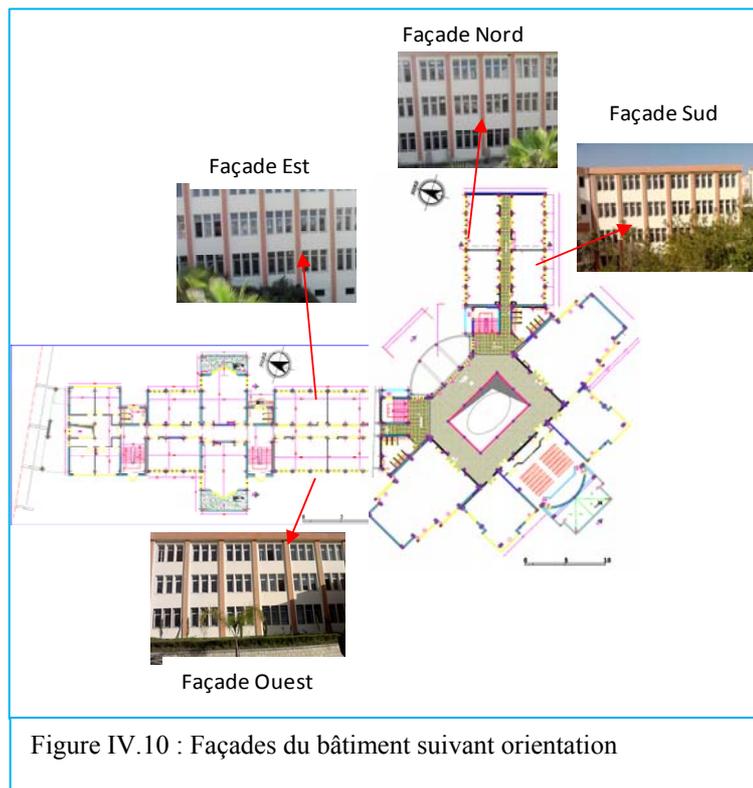


Figure IV.10 : Façades du bâtiment suivant orientation

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. Le vitrage utilisé est un vitrage simple clair de 3 mm d'épaisseur, qui permet des apports solaires importants en été et même en hiver.

IV.6. Étude expérimentale sur le confort thermique

Les premières évaluations des environnements de travail 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 publics (écoles, bibliothèques, universités, hôpitaux,..... etc.) , particulièrement aux USA¹⁷⁴. 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

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

¹⁷⁴ Fischer G. N. Vischer J., «'évaluation des environnements de travail : la méthode diagnostique », collection Management, Ed de Boeck université, Montréal, 1997

IV.6.1. Confort thermique dans les environnements d'enseignement

Dans les bâtiments d'enseignement, le confort thermique constitue une condition essentielle à la qualité des espaces d'enseignement, étant donné son impact positif sur les processus des études et d'apprentissage, l'analyse des plages de températures optimales pour le processus éducatif constitue un des sujets de recherche depuis quelques décennies, spécialement à partir des années soixante-dix. Harner¹⁷⁵ a conclu que la meilleure plage de températures pour la lecture était de 20-23 °C et conclu aussi que l'augmentation de la température et l'humidité accroissent l'inconfort des élèves et affecte l'accomplissement, la performance et le temps d'attention.

Plus récemment, Zeiler et Boxem¹⁷⁶ résument que des changements modérés dans la température ambiante, même dans la zone de confort, affectent les capacités des étudiants à réaliser des tâches mentales exigeant la concentration. En général des températures chaudes ont tendance à réduire la performance, tandis que les températures plus froides réduisent l'habileté manuelle et la vitesse d'exécution des tâches.

Les conclusions présentées par ces différents auteurs fournissent une justification claire et convaincante de l'importance des conditions du confort thermique dans les espaces éducatifs et soulignent son impact sur les processus des études.

IV.6.1.1. Équipements de confort et dispositifs de contrôle

Une grande partie des locaux du secteur public n'est utilisée qu'une dizaine d'heures par jour. En comptant en plus les jours fériés, les week-ends et les vacances, le taux d'occupation ne dépasse pas 30 %¹⁷⁷, il en est de même pour les locaux d'enseignement où les horaires de travail sont connus. Assurer le confort thermique dans ces locaux n'a d'intérêt que si les espaces sont occupés, il devient donc important d'assurer les conditions de confort thermique lorsque cela s'avère nécessaire.

La plupart des bâtiments d'enseignement ont une occupation intermittente. Maintenir la température de confort de chauffage pendant les périodes où certains locaux sont inoccupés conduit à un gaspillage d'énergie. Afin d'éviter cela, l'utilisation d'une température de consigne plus basse est imposée pendant les périodes d'inoccupation pour réduire la

¹⁷⁵ Harner, D. (1974). effects of thermal environment on learning skills. the educational facility planner, cite in Esteban Emilio Montenegro Iturra ,(2011) op cit

¹⁷⁶ Zeiler W. et G. Boxem. (2009). Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. Building and Environment, cite par Esteban Emilio Montenegro Iturra (2011) op cit

¹⁷⁷ G. Fraise. La régulation thermique des bâtiments tertiaires : application de la logique floue à la régulation centrale du chauffage en régime intermittent. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 1997.

consommation énergétique, ou même l'arrêt du poste de chauffage pendant les périodes d'inoccupation devient une nécessité¹⁷⁸.

La pratique de l'intermittence du contrôle thermique dans les bâtiments à occupation discontinuée est ainsi un des moyens les plus efficaces pour réaliser des économies d'énergie importantes.

IV.6.1.2. Dispositifs pour le confort d'été

Les salles de cours et les ateliers du département d'architecture de Tamda ne sont pas dotés de système de climatisation mécanique, mis à part l'administration et les locaux d'informatiques.

IV.6.1.3. Dispositifs pour le confort d'hiver

Le confort d'hiver est assuré par un système de chauffage à circulation d'eau chaude avec radiateur, le système est très courant, notamment dans les locaux d'enseignement. Chaque espace est doté d'un nombre de radiateurs suivant leurs surfaces qui permet de relever la température pendant la saison froide pour assurer le confort.

L'inconvénient de ce type de chauffage, est la difficulté de l'équilibrage de la température de chauffage, c'est à dire de l'adaptation de la quantité de chaleur délivrée aux différentes salles en fonction de leurs usages, de leurs tailles, de leurs isolations et de leurs expositions. Il arrive fréquemment que le circuit d'eau de chauffage soit mal équilibré. Les radiateurs qui se trouvent en bout de circuit sont alors trop peu alimentés en eau chaude et les locaux concernés ne sont plus suffisamment chauffés. On constatera donc fréquemment un déséquilibre de température de chauffage, certaines salles sont mal chauffées et d'autres surchauffées.

Concernant notre cas d'étude (le département d'architecture), chaque atelier et classe est doté de deux radiateurs de quatorze éléments (Figure IV.12), la mise en marche de la chaufferie s'étend du mois de Novembre au mois d'Avril.



Figure IV .12 : chauffage utilisé dans les ateliers

¹⁷⁸ Moroşan, Petru-Daniel ; « commande prédictive distribuée, approches appliquées à la régulation thermique des bâtiments » thèse de doctorat, université de Grenoble, 2011

IV.6.2. Description de la méthodologie utilisée

Afin de couvrir une grande variété des conditions d'ambiance thermique, nous avons choisi de procéder à une enquête dans quatre salles d'atelier. Le choix de ces salles tient à plusieurs raisons. D'abord ce sont des ateliers essentiellement occupés pendant toute la journée par le même groupe d'étudiants, ce qui nous donnera une meilleure évaluation de l'ambiance thermique pendant une journée de travail. De plus, les orientations sont différentes d'un atelier à un autre, ce qui constitue une donnée importante vu son impact sur le confort thermique de ces espaces.

Quant aux critères de choix des échantillons, il repose sur plusieurs paramètres qui sont :

- L'absence de masques environnementaux pouvant réduire le rayonnement solaire ;
- Le choix d'un étage intermédiaire (1er étage) pour tous les ateliers ;
- Ateliers identiques sur le plan : des caractéristiques dimensionnelles (forme rectangle de surface $6 \times 10,30 = 61,80 \text{ m}^2$), matériaux de construction et de la couleurs des murs extérieurs, favorisant ainsi l'étude comparative.

Aussi, Nous avons choisi de procéder à une enquête transversale de niveau II (voir chapitre I) qui correspond, à l'évaluation subjective de l'ambiance thermique par l'étudiant à l'aide d'échelles de jugements subjectifs (vote de perception, vote d'évaluation et vote de préférence, voir questionnaire d'enquête) et aux mesures des grandeurs physiques de l'ambiance thermique de chaque atelier (température de l'air, humidité de l'air).

IV.6.2.1. Campagne de mesure

Au cours de la journée de mesure, des relevés de mesures physiques comme la température ambiante, l'humidité ont été effectuées. Ces valeurs vont être confrontées à l'opinion des utilisateurs et usagers du bâtiment grâce à des questionnaires distribués pendant cette journée. De plus les températures des surfaces intérieures et extérieures des parois ont été mesurées pour analyser les caractéristiques thermiques de l'enveloppe.

Les mesures sont déroulées simultanément pendant deux périodes ; les plus défavorables de l'année: le mois de janvier pour les mesures d'hiver et le mois de juillet pour les mesures d'été

IV.6.2.1.1. Indicateurs objectifs de l'étude : Les mesures physiques

Ces mesures visent à quantifier l'environnement intérieur global et en particulier l'ambiance thermique des espaces de travail.

IV.6.2.1.1.1. Description des instruments de mesures

L'acquisition des données était faite à partir d'un certain nombre de matériel emprunté ou fabriqué. (Photos IV.2)

✘ Mesure de l'humidité relative de l'air

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 deux thermomètres se nomme «psychromètre » (Figure IV.12), la méthode de mesure est la suivante :

1. Le thermomètre sec indique la température de l'air.
2. 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'évaporeront 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.

En effet, connaissant la température sèche et la température humide, l'humidité relative de l'air se déduit à l'aide du diagramme psychrométrique (Figure IV.13), le point rouge sur le

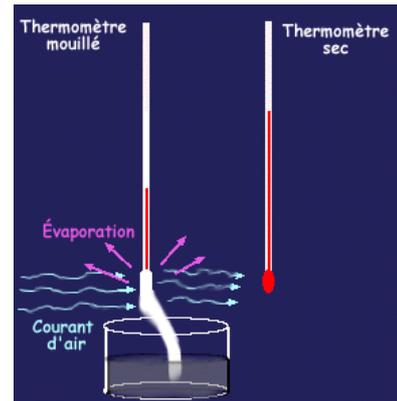


Figure IV.12: Le psychromètre



Photo IV.2 : psychromètre utilisé pour les mesures

diagramme représente l'intersection de la température sèche et la température humide donnant ainsi l'humidité et les autres caractéristiques de l'air (Humidité, T° de rosée.....).

Le point rouge sur le diagramme représente l'intersection de la température sèche de 28°C, et la température humide de 25,6°C, le diagramme nous donne une humidité relative de l'air de 83%.

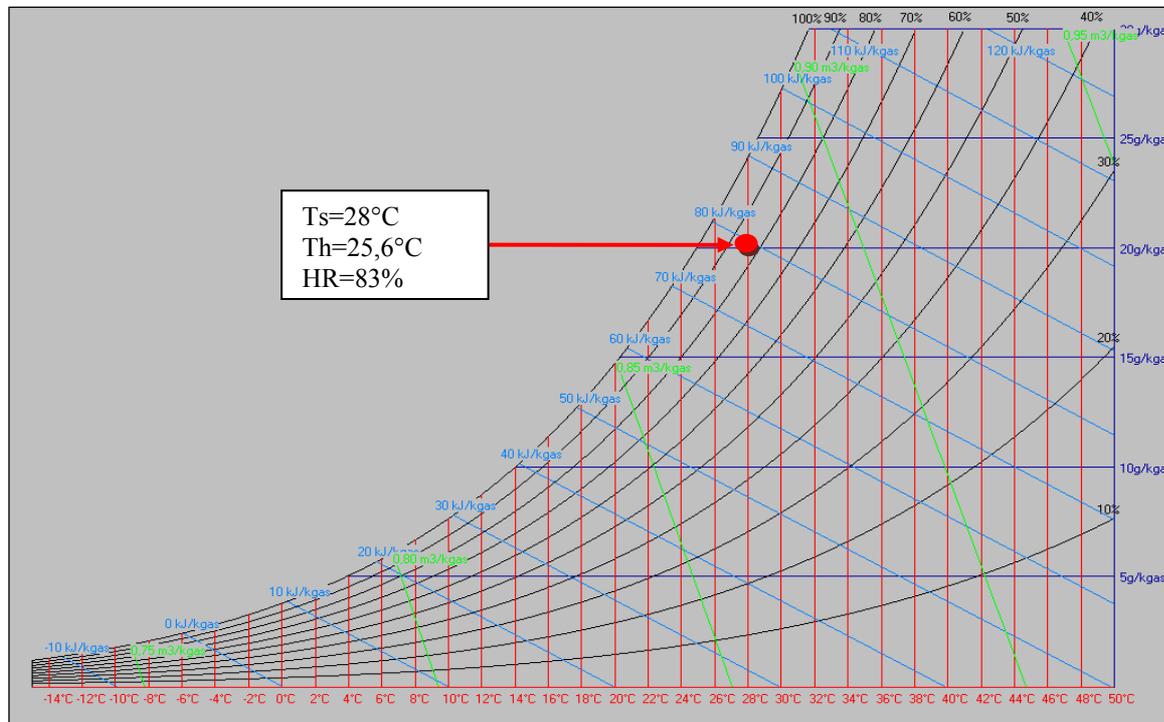


Figure IV.13 : Mesure de l'humidité relative à partir du diagramme psychométrique

✘ Mesure des températures de l'air

Les températures de l'air sont prises à l'aide d'un appareil de mesure « Testo » (tableau IV.2) toutes les heures pendant la même journée du 2 juillet 2010 pour la période d'été et la journée du 5 janvier 2010 pour la période froide. Durant le jour d'investigation le psychromètre a été posé sur une table, Les prises des températures (sèches et humides) se sont effectuées au centre des salles d'atelier à une hauteur de 1.20 m (figure IV.14)

✘ Mesure des températures de surface

En ce qui concerne les températures de surface des parois intérieures et extérieures, elles sont prises pendant la journée du 2 Juillet 2010 en utilisant le Thermomètre infrarouge (tableau IV.2) et en respectant les repères indiqués auparavant sur les faces intérieur et extérieurs de chaque atelier (figure IV.14), ces mesures nous permettrons de voir si le bâtiment possède une forte ou une faible inertie thermique

Type d'appareils	Illustrations	Types de mesures
Testo		<ul style="list-style-type: none"> Permet de mesurer la Température de l'air
Thermomètres infrarouge	 	<ul style="list-style-type: none"> Permet de mesurer les températures extérieures et intérieures des surfaces des façades, sans contact

Tableau IV.2: Matériels utilisés lors de la campagne de mesure

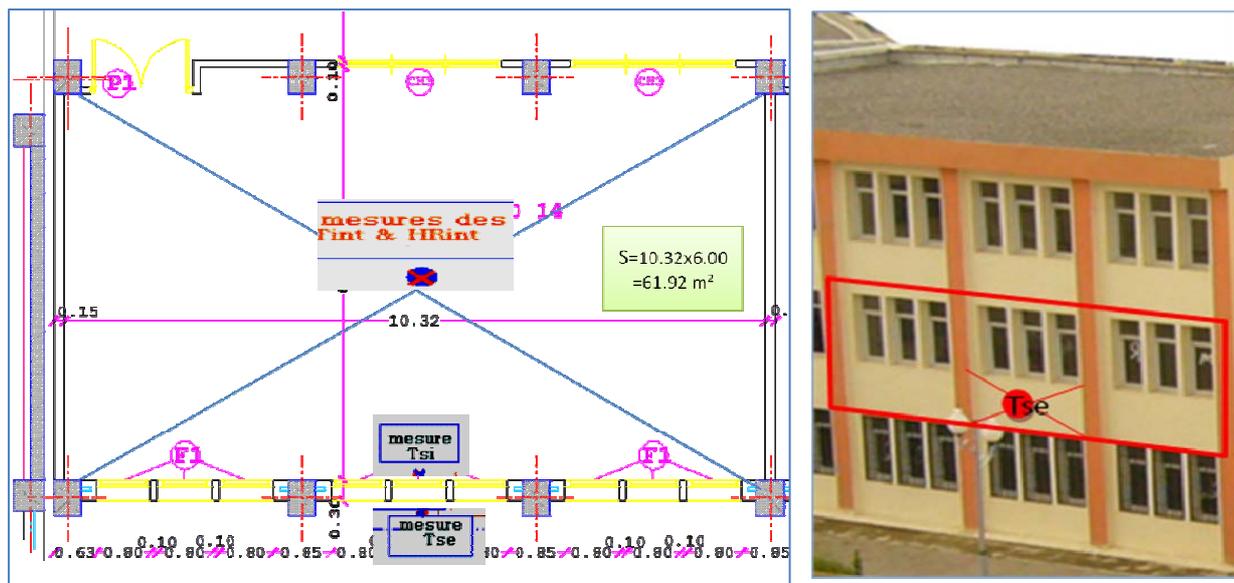


Figure IV.14 : Position des appareils de mesures au niveau du plan et de la façade

IV.6.2.1.2. Les indicateurs subjectifs de l'étude

IV.6.2.1.2.1. L'enquête

Les enquêtes in situ visent à explorer le confort thermique auprès des utilisateurs sur leurs lieux de vie ou de travail habituels à travers leurs réponses perceptives et affectives.

Ces enquêtes permettent de collecter les réponses de sensation thermique des occupants qui se trouvent dans des situations réelles de la vie quotidienne. Nous nous attendons donc à

ce que les personnes interrogées effleurent les problèmes rencontrés dans leur lieu de travail ainsi que leurs attentes et leurs besoins.

V.6.2.1.2.2. Le questionnaire

Les questionnaires constituent un élément important de l'étude in situ. Ils sont distribués aux participants au moment des mesures et leur permettent d'évaluer l'état thermique personnel ainsi que la qualité de l'environnement intérieur du bâtiment sur des échelles prédéfinies. 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'analyse¹⁷⁹.

Une fois ces étapes 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.

Après avoir cerné 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 nécessite 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- Contrôle personnel sur l'ambiance ; Cette partie vise à définir les différents moyens utilisés par l'occupant afin de remédier aux problèmes d'inconfort ;

4- Sensation thermique personnel ; Les étudiants sont invités à noter leurs impressions sur l'ambiance qui les entoure.

Concrètement nous cherchons à répondre à travers ce questionnaire aux questions suivantes :

- ✓ Quels sont les facteurs d'inconfort et quel est le comportement des occupants face à cet inconfort ?

¹⁷⁹ Bilocq F., « Conception et évaluation de questionnaire », in « Enquêtes et sondages, modèles, applications, nouvelles approches », Brossier et Dussaix éditeurs scientifiques, Dunod, France. 1999

- ✓ Quels sont les différents systèmes de régulations utilisés (chauffage, climatisation ou ventilation) pour assurer un meilleur confort et quels sont les modes d'utilisation?
- ✓ Comment les occupants jugent ils leur confort dans leurs espaces de travail ?

Les réponses recueillies par cette enquête servent à qualifier l'environnement thermique des espaces intérieurs du bâtiment du point de vu des occupants.

Le questionnaire à été distribué à 150 étudiants des ateliers d'architecture de 2ème et 3ème année dont 92 étudiantes et 58 étudiants.

Conclusion

En architecture, l'influence du climat sur le confort dans le bâtiment nécessite l'identification des variables climatiques caractérisant la région étudiée. 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.

A partir de l'analyse climatique et bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou, il a été déduit que les radiations solaires sont très importantes et la température de l'air est extrêmement élevée sur une longue période de l'année. Donc, le confort thermique d'été dépend de la réduction de l'énergie transmise et absorbée à travers les parois vitrées en particulier et l'enveloppe en général. Pour réaliser cela, les principes de base appliqués sont tout à fait simples ; l'isolation de l'enveloppe du bâtiment, l'inertie thermique des murs, les protections solaires et la ventilation naturelle.

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 et lumineuses modulent la perception des lieux et influencent les activités qui s'y déroulent ainsi que le sentiment de confort des usagers. Pour évaluer le confort thermique de notre cas d'étude, Il convient donc de mettre en place des méthodes d'évaluation des ambiances intérieures du bâtiment 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 et environnement.

CINQUIÈME CHAPITRE

*Analyse et interprétation des
données d'enquête et des résultats
expérimentaux*

Introduction.

Ce chapitre est structuré en deux parties, la première partie concerne les résultats de l'enquête effectuée auprès de la communauté universitaire afin de déterminer leurs degrés de confort thermique dans leurs espaces de travail. La deuxième partie, consiste en l'interprétation des mesures prises à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment pour vérifier l'effet de l'orientation sur le comportement thermique de l'enveloppe du bâtiment.

Pour atteindre cet objectif, une campagne de mesures a été effectuée sur site, où quatre ateliers d'architecture représentatifs ont servi de support pour notre enquête. Les ateliers sélectionnés présentent les mêmes caractéristiques constructives et géométriques mais se différencient uniquement en termes d'orientation par rapport au soleil, les quatre orientations majeures retenues sont le Nord, l'Est, l'Ouest et le Sud.

V.1. Analyse et interprétation des données d'enquête

Le questionnaire a été soumis à 150 étudiants dont 58 étudiants et 92 étudiantes.

V.1.1. Évaluation affective du confort thermique (sensation et préférence thermique personnel)

❖ *Quel sont les facteurs les plus défavorables pour votre confort thermique? (température, humidité, courants d'air, autres)*

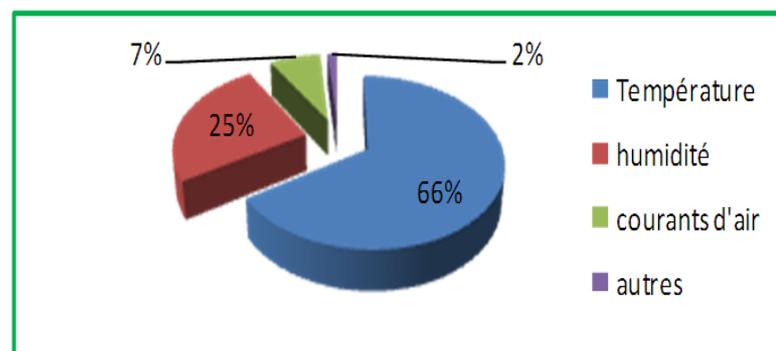


Figure V.1 : Facteurs du confort thermique

D'après le graphe, 66% des étudiants sont plus sensibles à la température qu'à l'humidité et les courants d'air, la température représente donc une variable très importante pour assurer le confort des étudiants

❖ précisez quelle sont pour vous, Les effets de la chaleur sur vos conditions de travail ? (Problèmes de concentration, Mauvaise humeur, fatigue, autres)

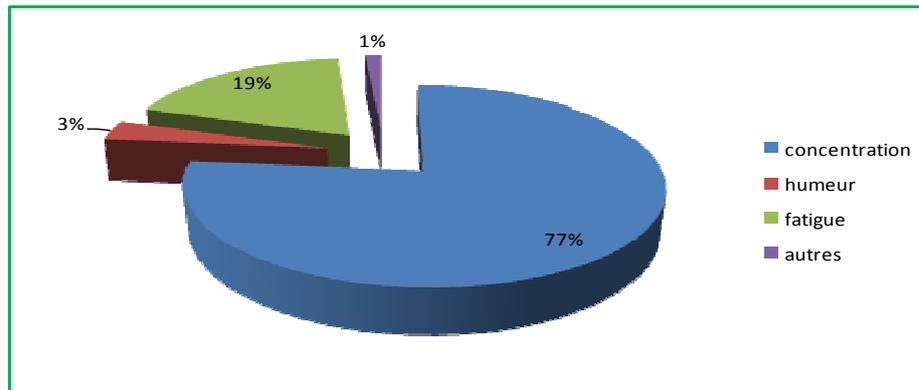


Figure V.2 : Les effets de la chaleur sur l'individu

Les problèmes de concentration sont cités en premier lieu, 77% des étudiants sont sensible a la chaleur et pensent qu'elle a un grand impact sur leurs concentration, le travail est plus difficile à réaliser lorsque la température est trop élevée. La chaleur occasionne encor un état de fatigue et de somnolence pour 19% d'étudiants. En effet, une corrélation existe entre la qualité des ambiances d'un bâtiment d'enseignement et la performance des élèves. Cependant, la capacité de supporter la chaleur varie selon l'état de santé général : en cas de fatigue, de maladie, les individus supportent moins facilement la chaleur

❖ Tenez-vous compte de la météo pour vous habiller le matin et qu'est ce qui influence le plus votre choix ? (la température, le risque de pluie, le vent et autres)

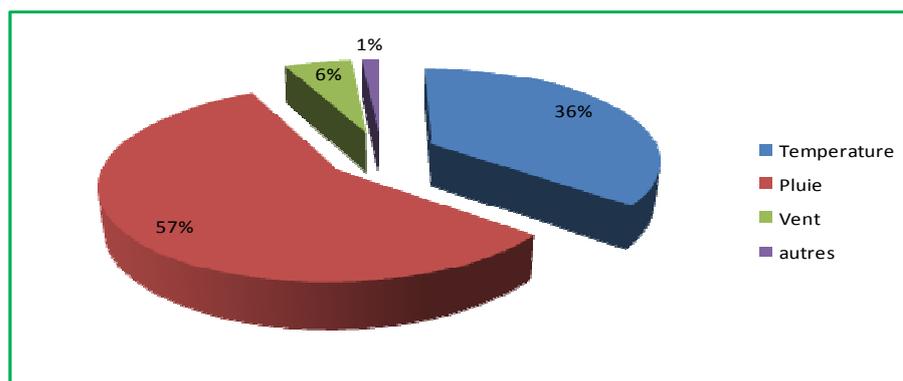


Figure V.3 : Adaptation aux conditions climatiques

L'habillement constitue un moyen important d'adaptation aux conditions climatiques. Dans le questionnaire, nous avons demandé aux étudiants s'ils prennent en compte les conditions météo pour s'habiller le matin. Près de 130 étudiants avaient répondu positif à la question, avec 57% pour le risque de pluie comme principal élément de météo considéré

pour la saison d'hiver et 36% pour la température .D'après Hollmuller, P¹⁸¹, les personnes adaptent ainsi leurs vêtements en fonction des conditions climatiques qu'ils prévoient à l'extérieur et modifient et ajustent leurs vêtements tout au long de l'année en fonction des conditions extérieures et des variations saisonnières.

V.1.2. Confort et ambiance thermique des Ateliers

Nous avons demandé aux étudiants de décrire l'ambiance de leurs ateliers pour la période d'été et d'hiver.

V.1.2.1. Confort d'hiver

❖ *La température d'une Journée d'hiver est une température ; très instable, instable, stable, légèrement stable.*

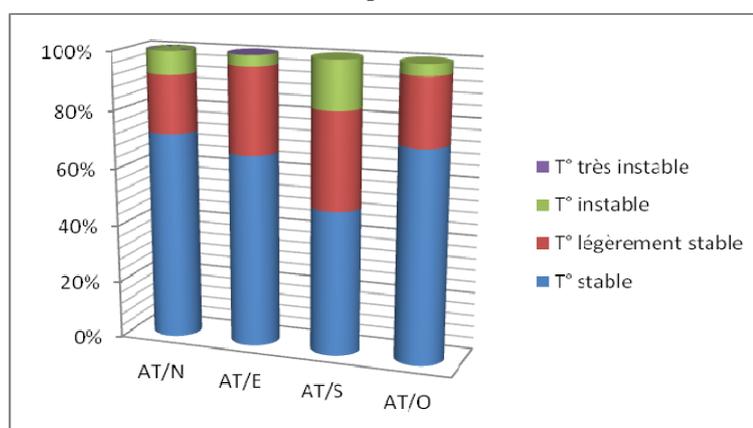


Figure V.4 : évaluation de la température sur une journée d'hiver

❖ *Comment trouvez- vous le confort thermique à l'intérieur de votre atelier ?* (Confortable, Légèrement inconfortable, Inconfortable, Très inconfortable)

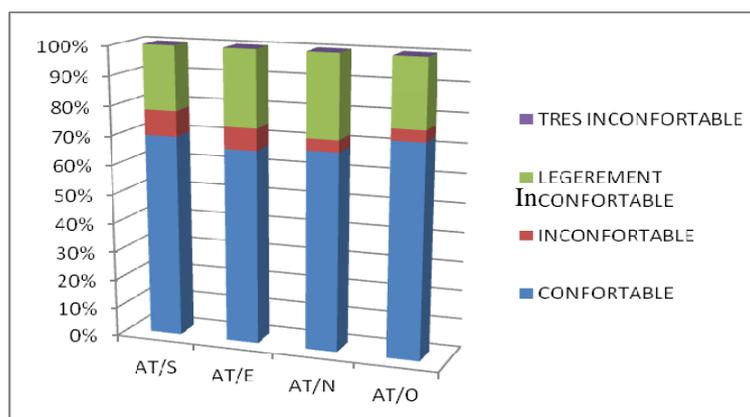


Figure V.5 : évaluation du confort thermique des ateliers

¹⁸¹ Hollmuller, P. « Habitat, Confort et Energie», Colloque du cycle de formation du CUEPE , Centre Universitaire d'Etude des problèmes de l'énergie, Université de Genève. 2003

Synthèse

Globalement, l'ensemble des étudiants des différents ateliers ressentent une température instable entre le début et la fin des journées, plus importante pour ceux qui sont dans l'atelier sud, 35% des étudiants ont signalés leurs inconforts vis-à-vis de cette instabilité.

Le problème du confort dans les ateliers en hiver est complexe, vu que les chauffages sont gérés de façon globale, c'est-à-dire que depuis le mois de novembre jusqu'à la fin du mois d'avril, les radiateurs restent allumés nuit et jour, ce qui provoque plus d'inconfort que de confort. Les occupants ont tendance à ouvrir les fenêtres en rentrant le matin, provoquant ainsi des courants d'air pour dégager la chaleur emmagasinée dans les ateliers fermés pendant la nuit.

Comme les usagers ne peuvent pas régler la température des radiateurs et en fonction des gains thermiques ; gains propres au nombre important des étudiants et les gains solaires suivant l'orientation, les ateliers observent des surchauffes même en hiver et les étudiants sont obligés d'ouvrir les fenêtres ou d'apporter quelque modification à leurs vêtements (enlever sa veste).

Lors de la journée de l'enquête (journée ensoleillée), l'après midi dans l'atelier sud, on a constaté que les fenêtres étaient ouvertes malgré le fonctionnement des radiateurs pour palier aux surchauffes dus aux apports solaires importants.

V.1.2.2. Confort d'été

❖ *La Température d'une Journée d'été est une température ; (très instable, instable, stable, légèrement stable.)*

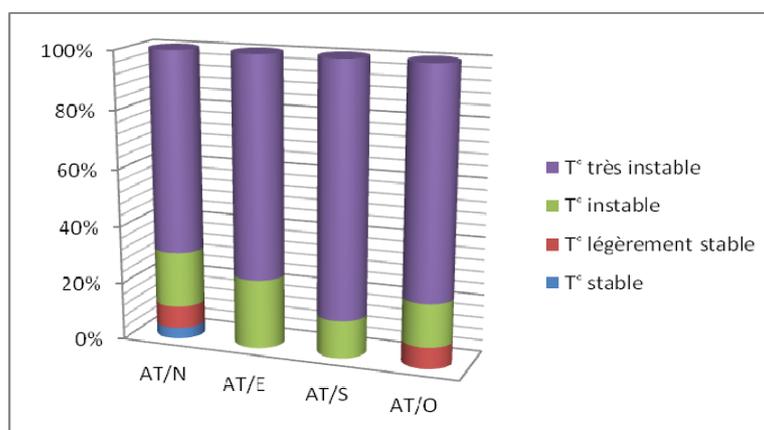


Figure V.6 : Evaluation de la température d'une journée d'été

❖ Comment trouvez-vous le confort thermique à l'intérieur de votre atelier ?
(confortable, légèrement inconfortable, inconfortable, très inconfortable)

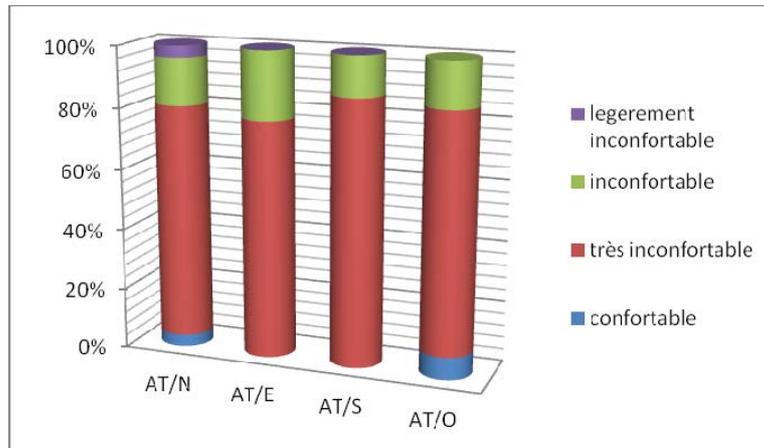


Figure V.7 : évaluation du confort thermique des ateliers

Synthèse

D'après le graphique V.6 ; Les changements de température sont donc perçus comme étant fort en été, environ 85% des étudiants ressentent une température instable entre le début et la fin de journée, l'instabilité est plus marquante pour les ateliers Est et Ouest et elle devient insupportable pour les journées très chaudes.

Concernant le confort dans les ateliers et sur la base du graphique V.7, on constate qu'environ 80% des étudiants des différents ateliers trouvent que l'ambiance thermique dans leurs espaces de travail est inconfortable. En effet, les étudiants observent des surchauffes dues à l'orientation des ateliers et à la surface très importante des vitrages, ce qui favorise les apports solaires et conduit à des élévations de température plus conséquentes sans oublier les apports internes. L'inconfort est plus ressenti pendant la saison d'été, car en hiver les occupants trouvent des solutions d'adaptation, tel que l'habillement, tandis qu'en été, sans la ventilation naturelle, il est plus difficile d'avoir un autre moyen de rafraîchissement.

V.1.3. Actions adaptatives pour améliorer le confort thermique des ateliers

L'adaptation par ajustement comportemental est la capacité d'un individu d'agir sur son environnement pour retrouver une situation de confort thermique. L'utilisateur est considéré comme acteur de son environnement, et implique certain contrôle sur celui-ci. Dans l'approche adaptative, le comportement est une manière de corriger une sensation d'inconfort thermique.

Pour améliorer leur confort thermique en été comme en hiver, les étudiants ont tendance soit à créer des courants d'air (ouvrir les fenêtres et les portes) ou adapter leur habillement (mettre des vêtements légers en été)

En hiver les étudiants ouvrent les portes et les fenêtres le matin pour évacuer la chaleur emmagasinée dans les ateliers fermés, puisque le chauffage reste allumé pendant toute la nuit, ce qui provoque des surchauffes. En été aussi, l'ouverture des fenêtres permet d'améliorer le confort thermique en évacuant la chaleur interne, mais on a tendance à les fermer surtout l'après midi quand l'air extérieur devient très chaud.

D'autres actions d'adaptation ont été recensées comme ;

1. Changer d'atelier en été pour les ateliers orientés Est –Ouest quand l'emploi du temps le permet.
2. Modifier les horaires de travail en été pour les ateliers orientés vers l'ouest (travailler journée pleine 8h30-14h30 au lieu de 9h-12h/13-16).

Conclusion

Les ateliers sont caractérisés d'une part par leur importante surface vitrée et de ce fait, par des apports solaires conséquents et d'autre part, par une forte densité d'occupation. L'ensemble de ces facteurs contribue à un des problèmes majeurs des espaces de travail : les surchauffes des salles et ce même en hiver.

Les résultats de l'enquête ont montré l'existence d'un inconfort pour les étudiants, lié à ce problème de surchauffe des ateliers dû ; à l'orientation, à la surface vitrée importante et à un manque de protections solaires pour la période d'été, au chauffage qui reste allumé pendant toute la saison pour la période d'hiver. L'inconfort est plus ressenti pendant la saison d'été, car en hiver les occupants trouvent des solutions d'adaptation.

V.2. Résultats expérimentaux: Présentation et interprétations des résultats

V.2.1. Etude de la variation de la température intérieure et extérieure

V.2.1.1. Période d'été

V.2.1.1.1. Atelier orienté vers le Nord

V.2.1.1.1. Atelier orienté vers le Nord

La lecture du graphe (figure V.8), fait sortir que les températures internes de l'atelier orienté Nord sont inférieures à la température externe, et que la courbe de températures intérieures suit la courbe des températures extérieures

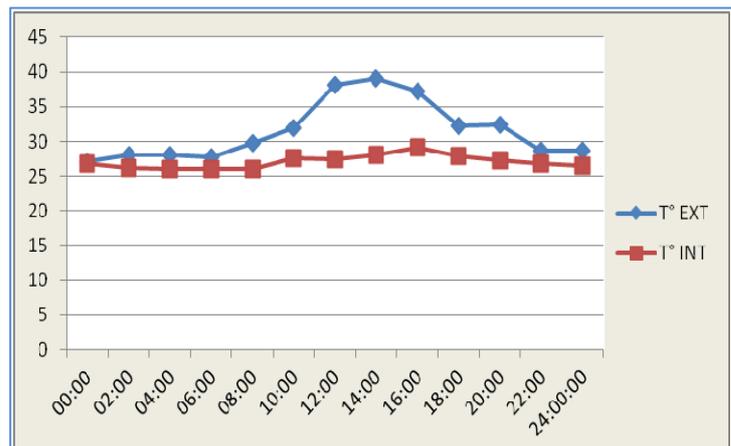


Figure V.8: Variation de la température intérieure et extérieure, Atelier /Nord, période d'été.

La température interne atteint sa valeur minimale de 26°C à 06 h, par contre la température extérieure atteint un minimum de 27 °C à 4h00 ; C'est-à-dire un déphasage de 2 heures.

La valeur maximale de la température intérieure est de 29.20°C. Cette dernière est atteinte à 16h00, alors que la température extérieure atteint son maximum de 39.10°C à 14h00.

Les fluctuations des températures intérieures ne sont pas très grandes, cela est dû d'une part à l'orientation de la paroi externe, qui ne reçoit pas les rayons solaires, d'autre part l'espace d'étude est maintenu fermé toute la journée.

V.2.1.1.2. Atelier orienté vers l' Est

L'analyse de l'atelier orienté vers l'Est montre que la température intérieure est toujours inférieure à la température externe. (Figure V.9). La température atteint la valeur minimale de 25.50 °C à 6h. Alors que la température extérieure, atteint la valeur minimale de 27° C à 4.00heures donc le temps du déphasage est toujours de 2 heures.

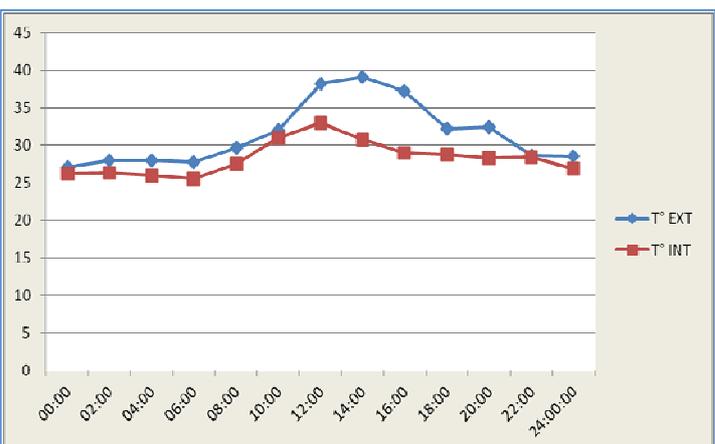


Figure V.9: Variation de la température intérieure et extérieure, Atelier /Est, période d'été.

D'autre part le maximum de la température intérieure est de 33° C enregistré à 12 h, cette augmentation s'explique par l'augmentation de la température extérieure qui atteint son maximum 39.10°C à 14.00 heures, et par la restitution de la chaleur emmagasinée par la paroi de la façade exposée « surface externe » aux rayons solaires du matin, en plus des gains solaires entrant par les fenêtres.

V.2.1.1.3. Atelier orienté vers le Sud

La comparaison des deux courbes de températures, la courbe des températures intérieures et la courbe des températures extérieures (figure V.10), fait ressortir que les températures intérieures et extérieures sont plus ou moins égales la nuit, et que les températures internes sont inférieures pendant la journée (de 8 heures à 18 heures).

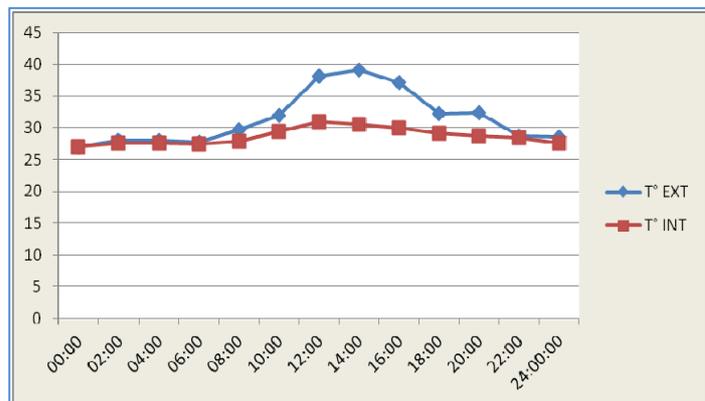


Figure V.10: Variation de la température intérieure et extérieure, Atelier /Sud, période d'été.

La température interne atteint sa valeur minimale de 26.8°C à 06 h, par contre la température extérieure atteint un minimum de 27 °C à 4h00 ; C'est-à-dire un déphasage de 2 heures.

La valeur maximale de la température intérieure est de 31°C. Cette dernière est atteinte à 12h00, alors que la température extérieure atteint son maximum de 39.10°C à 14h00.

Comme les parois externes ne sont pas exposées aux rayons directs du soleil, les fluctuations des températures intérieures ne sont pas très grandes.

La comparaison des deux courbes de températures, la courbe des températures intérieures et la courbe des températures extérieures (figure V.10), fait ressortir que les températures intérieures et extérieures sont plus ou moins égales la nuit, et que les températures internes sont inférieures pendant la journée (de 8 heures à 18 heures).

La température interne atteint sa valeur minimale de 26.8°C à 06 h, par contre la température extérieure atteint un minimum de 27 °C à 4h00 ; C'est-à-dire un déphasage de 2 heures. La valeur maximale de la température intérieure est de 31°C. Cette dernière est atteinte à 12h00, alors que la température extérieure atteint son maximum de 39.10°C à 14h00.

Comme les parois externes ne sont pas exposées aux rayons solaires, les fluctuations des températures intérieures ne sont pas très grandes.

V.2.1.1.4. Atelier orienté vers l'Ouest

La lecture du graphe de la Figure V.11, fait sortir que l'évolution de la courbe des températures à l'intérieur de l'atelier Ouest suit celle des températures extérieures. Ou elle atteint sa valeur maximale de 36.30°C à 16 h et sa valeur minimale de 25.30°C à 6 heures soit une amplitude de 10°C. La température de l'air extérieur présente une amplitude de 12.10°C.

A partir de 6.00 heures jusqu'à 14.00 heures la courbe de température intérieure évolue lentement où elle varie entre 25.30°C et 30°C avec une amplitude de 4.7°C. Sous l'effet de la radiation solaire direct et de l'inertie de la paroi exposé, cette température atteint sa valeur maximum de 35.20°C

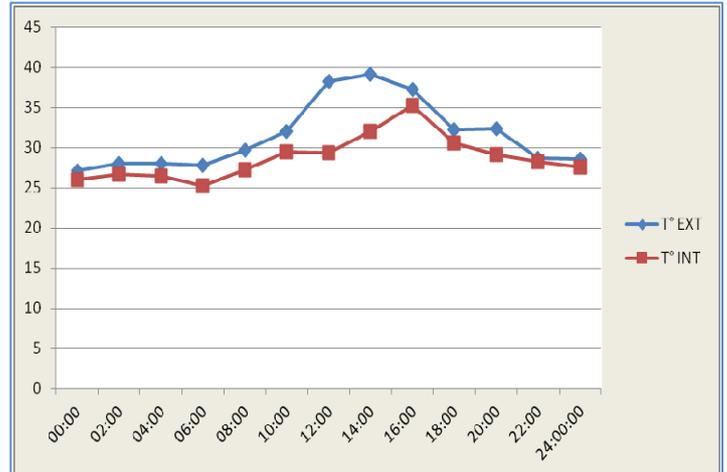


Figure V.11: Variation de la température intérieure et extérieure, Atelier /Ouest, période d'été.

à 16heures avec une amplitude de 5.20°C en un intervalle de 2heures

V.2.1.1.5. Comparaison des différentes orientations

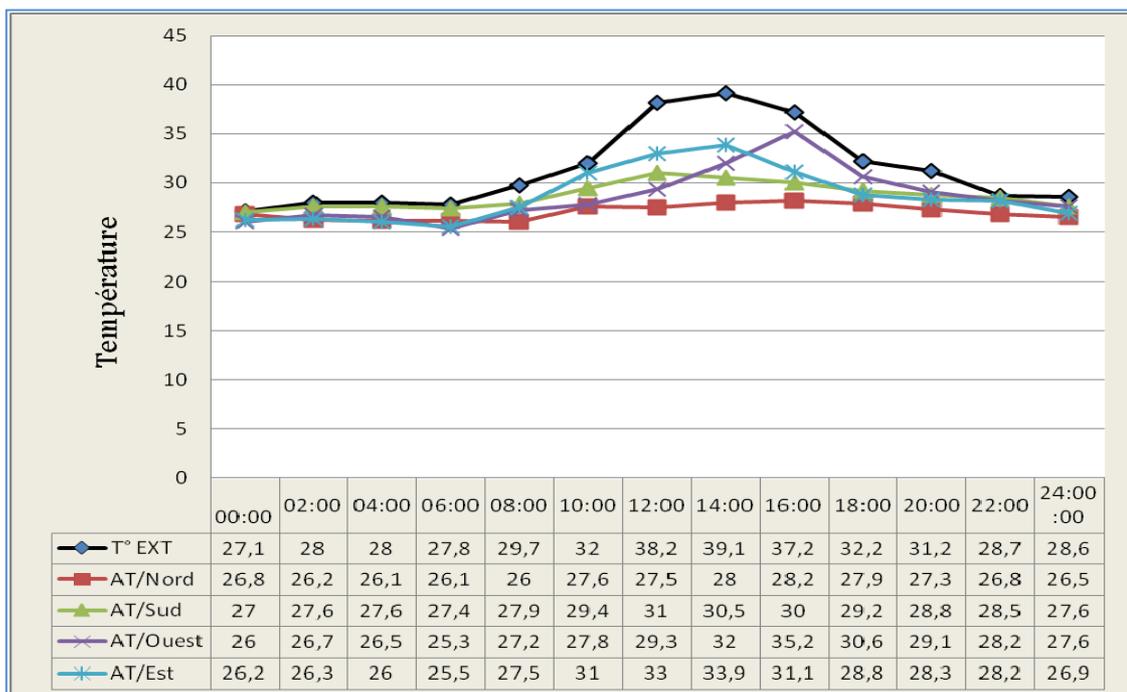


Figure V.12: Variation de la température intérieure des quatre ateliers

D'après la lecture de la Figure V.12, on peut déduire que les ateliers nord et sud présentent des températures intérieures basses homogènes avec une moyenne de 28°C. Alors que, les ateliers est et ouest présentent des fluctuations très importantes dans les températures interne. Cette variation de températures est marquée par deux périodes distinctes : une augmentation importante de températures ; le matin pour l'atelier est avec une température maximale de 33°C à midi et de 35.20°C à 16 heures l'après midi pour l'atelier ouest, pour la deuxième période. Cette différence s'explique par la durée d'ensoleillement et le degré d'exposition des façades.

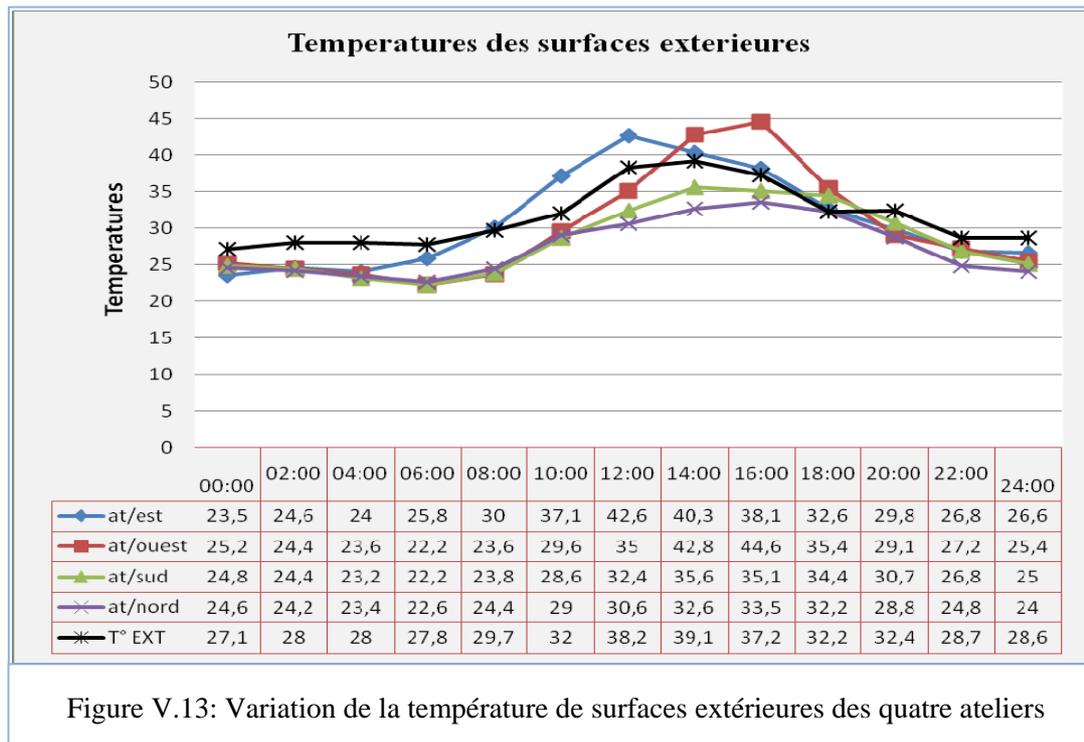
Conclusion

D'après l'analyse bioclimatique, la ville de Tizi-ouzou est caractérisée par des températures très élevées en été avec une moyenne maximale de 36°C. Lors de la journée de mesure, une température extérieure maximale de 39°C a été relevée, avec une température minimale intérieure de 27°C à 9 heures du matin pour les ateliers Nord et une maximale de 35,2°C à 16 heures pour les ateliers Ouest. En comparant nos résultats à la zone de confort (20°C au 27°C°) arrêté par Givoni (voir deuxième chapitre), nous pouvons conclure de l'existence d'un inconfort pendant les heures de cours et des risques de surchauffe très élevé des salles d'ateliers en période d'été.

On constate aussi dans notre étude que ; l'orientation Nord et sud reste les plus favorable durant la période estivale, pour la simple raison que leurs façades ne sont pas exposés aux radiations solaires directes, Cependant la façade Ouest est à éviter durant cette période surtout qu'elle reçoit l'intensité solaire la plus importante de l'après midi.

V.2.1.1.6. Les températures des surfaces

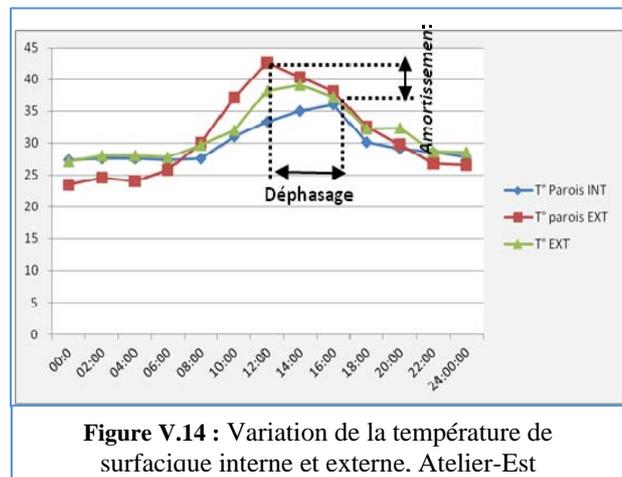
La température de l'air et celle de la surface externe de la paroi sont liées par le processus de rayonnement. L'émission et l'absorption du rayonnement jouent un rôle très important dans les échanges énergétiques qui se produisent à la surface extérieure des parois. Avec l'absence de protection solaire sur les différentes façades, le graphe de la Figure V.13 montre clairement l'influence de l'orientation sur la hausse de la température des surfaces externes des différents ateliers d'architecture du département. Celle-ci augmente au fur et à mesure en fonction du degré d'exposition de la façade aux radiations solaires. Elle enregistre les plus hautes valeurs l'après midi avec un maximum de 44,6°C atteint à 16h pour l'orientation ouest (Voir figure IV.13). Dépassant ainsi la température de l'air extérieur, qui est seulement de 37,2°C.



V.2.1.1.6.1. Comparaison des différentes températures de surfaces

Au lever du soleil, la façade Est exposée au rayonnement solaire du matin, les températures externes commencent à augmenter, où il se produit un gain de chaleur par absorption à travers la paroi.

L'allure de la courbe de températures de surfaces croît rapidement de 6.00heures jusqu'à 12.00 heures et cela en fonction du degré d'exposition de la façade aux radiations solaires, où elle enregistre la température maximale de 42.60°C à 12.00heures pour une température extérieure de 37.2 °C. D'après la lecture du graphe (Figure V.14), la température extérieure



diminue l'après midi alors que celle de la surface intérieure continue à augmenter pour atteindre sa maximale de 36 à 16 heures. Cela est dû à l'effet de l'inertie de la paroi qui emmagasine la chaleur et la restitue vers l'intérieur avec un déphasage de 4 heures et une amplitude de 6.6°C.

D'après la courbe représentative du graphe (Figure V.15) pour les températures surfaciques augmentent au fur et à mesure que la paroi s'expose aux rayonnements solaires. Cependant la

température de surface externe oscille entre 22°C à 44°C, elle enregistre la valeur maximale de 44.6°C dans l'après midi à 16.00 heures dû à l'effet de l'orientation qui bénéficie des radiations directes de l'après midi. On remarque aussi que la température surfacique intérieure augmente en fonction de la face extérieure, elle atteint une température maximale de 36°C à 18 heures avec un déphasage de deux heures et une amplitude de 8.6°C.

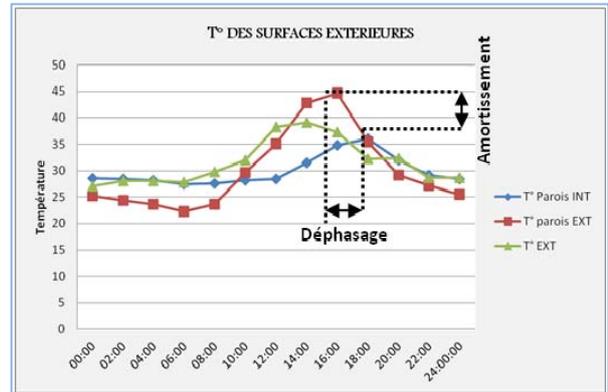


Figure V.15 : Variation de la température de surfacique interne et externe Atelier-Ouest

Les murs extérieurs des deux autres orientations, orientation nord et sud ne sont pas exposés aux rayons solaires directs

On remarque d'après la figure V.16 et la figure V.17 que la courbe des températures surfacique externes et internes suivent le mouvement de la courbe des températures externes, leurs températures est toujours au dessous de la temperature extérieure, ce qui explique que le mur ne rempli pas vraiment son rôle protecteur. La température maximale interne est atteinte deux heures après que la température maximale externe soit atteinte, ce qui veut dire que le déphasage est de 2heure et l'amortissement est de 3°C, ce qui est vraiment faible.

Conclusion

Donc on peut déduire que la température maximale de la surface extérieure de la paroi dépend essentiellement de son orientation et de son degré d'exposition aux radiations solaires. Il convient de noter aussi que l'augmentation de la température de surface extérieure du mur est provoquée principalement par le manque d'ombrage et le manque de protections solaires.

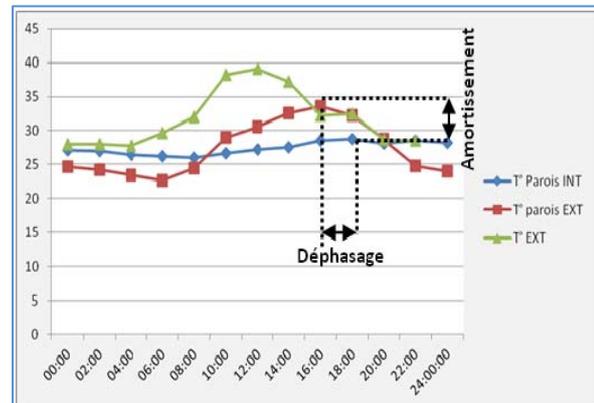


Figure V.16 : Variation de la température de surfacique interne et externe. Atelier Nord

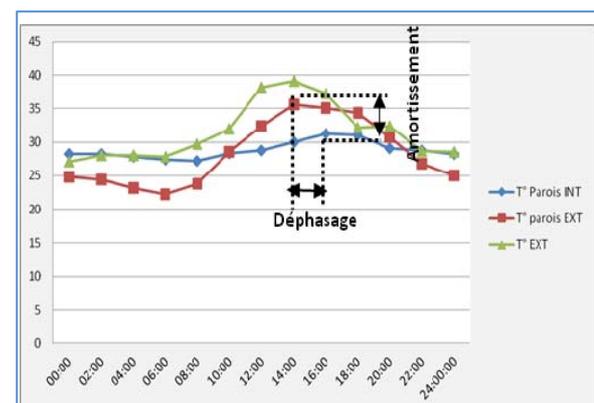


Figure V.17 : Variation de la température de surfacique interne et externe. Atelier-Sud

L'influence de l'orientation, sur les températures des surfaces extérieures (proportionnelle à l'intensité du rayonnement incident), affecte tour à tour le flux de chaleur à travers le mur et les températures de surface interne. En revanche la température de surface interne de la paroi est surtout liée à la qualité thermique du matériau utilisé, de la conductivité thermique et l'épaisseur de chaque composant, qui lui confère des propriétés d'amortissement plus favorables. Quantitativement, le régime et l'amplitude de l'élévation de la température dépendent de la capacité calorifique et de la résistance des murs.

V.2.1.1.7. Comparaison des différentes humidités

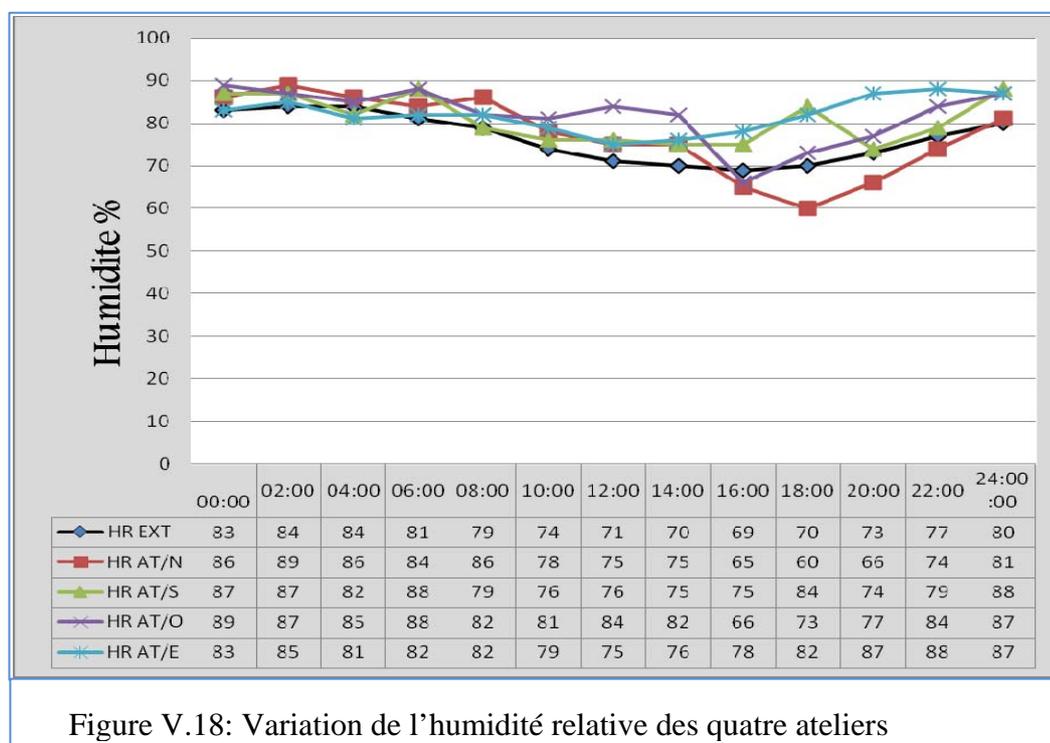


Figure V.18: Variation de l'humidité relative des quatre ateliers

Durant les chaudes journées d'été, le taux d'humidité dans l'air ambiant est un facteur très important de notre sensation de bien-être ou d'inconfort. Contrairement aux conditions hivernales, l'air extérieur en été est généralement aussi humide que l'air intérieur. Par conséquent, la ventilation de pièces habitées par l'ouverture des portes et des fenêtres, n'aura pas un grand effet sur le taux d'humidité de ces espaces.

En analysant le graphe ci-dessus (figure V.18), nous constatons que les courbes de l'humidité interne des différents ateliers suivent l'évolution des courbes de l'humidité externe, les courbes sont presque parallèles. L'humidité est presque la même à l'intérieur et à l'extérieur pour tous les ateliers. Ceci explique pourquoi les occupants ressentent leur

ambiance thermique inconfortable. De plus l'humidité relative moyenne à l'intérieur des ateliers d'architecture varie entre 70 % 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. D'après Alain Liébard ¹⁸² pour que les ateliers soient confortables, il faut que l'humidité relative ait une valeur entre 30 % et 70 %.

Synthèse

Les résultats du présent travail montrent, que la température intérieure d'une salle de classe dont les ouvertures ne présentent aucune occultation, est gouvernée par le rayonnement entrant par une surface vitrée importante ainsi que le rayonnement absorbé par toute la paroi. Donc, le confort thermique dépend de la réduction de l'énergie transmise et absorbée à travers les parois vitrées en particulier et l'enveloppe en général.

Nous pouvons déduire à partir de cette analyse que l'enveloppe du bâtiment, ne possède pas une bonne inertie thermique, vu que les températures intérieures même si elles sont plus basses que les températures extérieures (voir Figure V.12) restent 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, qui varient entre un minimum de 70% et un maximum de 87 %, valeur suffisamment élevée pour créer une ambiance thermique inconfortable. Le matériau utilisé pour la réalisation des murs extérieurs ne possède aucune isolation thermique, avec un déphasage de 2 heures, son inertie est donc faible et ces 30 cm d'épaisseur ne protègent pas le bâtiment des agents climatiques externes. Ce qui fait que pour assurer le confort thermique dans les ateliers, nous sommes obligés d'utiliser les systèmes de climatisation pendant la période chaude afin de réduire l'inconfort et l'humidité interne.

¹⁸² Alain Liébard, Andre De Herde.(2005).op. Cit. p16

V.2.1.2.Période d'hiver

Le degré-jours de Chauffage exprime les besoins en chauffage d'un espace, il mesure la différence exprimée, entre la température moyenne d'un jour déterminé et une température de référence¹⁸³. La température de référence utilisée est 18°C¹⁸⁴, quand la température extérieure est au dessous, on doit chauffer l'intérieur pour y maintenir une température confortable et agréable et lorsque la température extérieure est égale à 18 °C les gains internes peuvent augmenter la température intérieure pour atteindre la température de confort, donc on n'a pas besoin de chauffer.

Selon le graphe des degrés jours de 2001 à 2011 pour la ville de Tizi-Ouzou (figure V.19),

la période de chauffe se trouve comprise entre le mois de Novembre et le mois d'avril, 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, du mois mai au mois d'octobre la température de

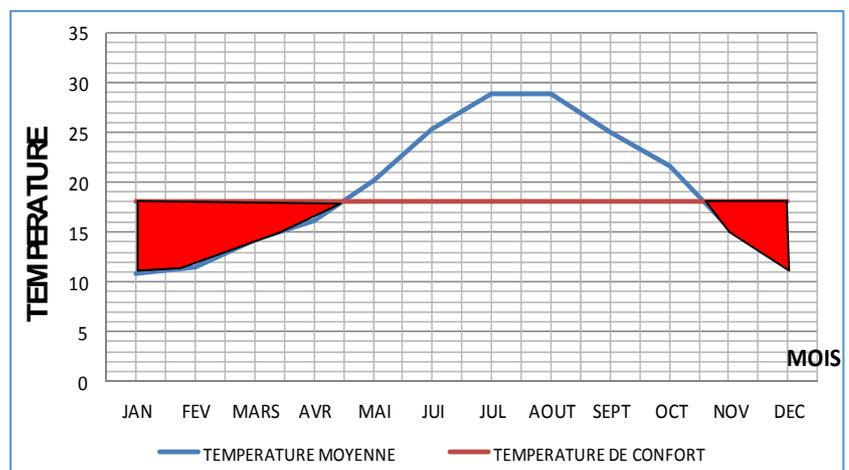


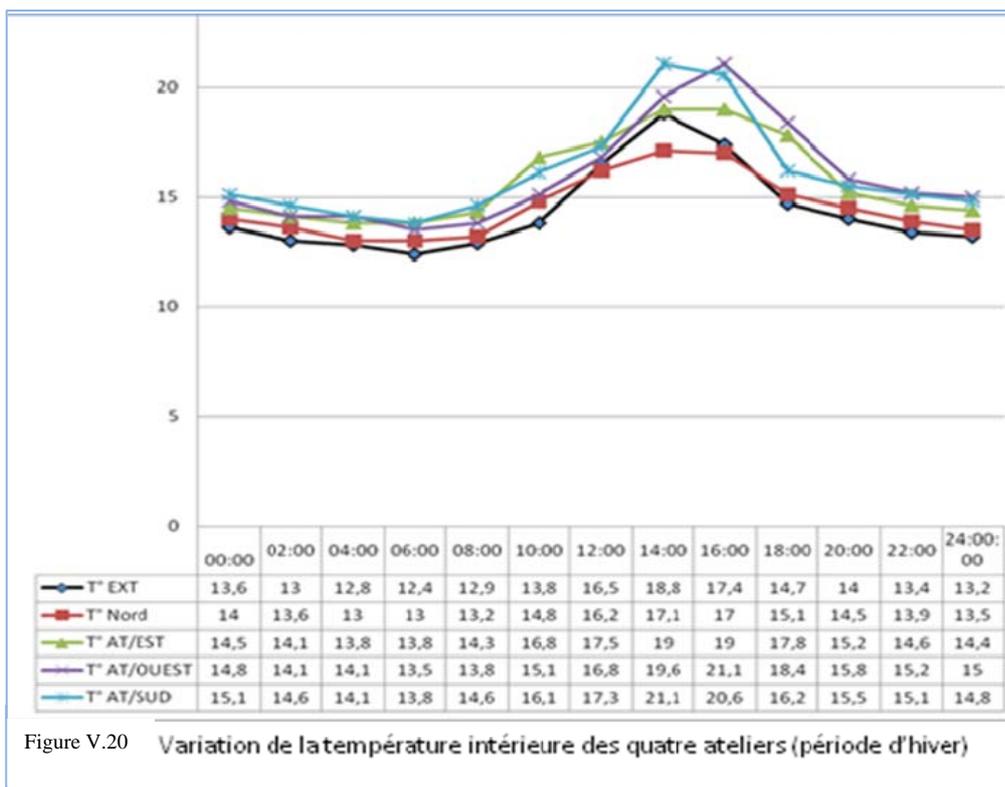
Figure V.19: Définition de la période de chauffage pour la période de 2001-2010 à Tizi-Ouzou

18°C est atteinte sans recours à un système de chauffage. Ce qui fait que la durée de la période de chauffage est de six mois.

Pour évaluer le confort thermique des ateliers pour la période d'hiver, nous avons effectué un relevé de températures internes et externes pendant la saison froide en choisissant la journée du 05 Janvier 2010, vu que c'est la période des vacances d'hiver et qu'il est bien sûr plus intéressant de prendre ces mesures sans utilisation d'équipements de chauffage.

¹⁸³ Kesraoui, N, « Intégration du concept bioclimatique et utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment tertiaire en climat méditerranéen (cas de l'Algérie) ».mémoire de magistère, Département d'Architecture de Tizi-ouzou, 2010.

¹⁸⁴ Fernandez .P, et Lavigne. P. « Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes ».Edition le Moniteur, 2009, p103



Pour la journée du 05 de Janvier, avec une température moyenne extérieure de 15.76 °C, en analysant le graphe sis dessus (figure V.20), nous constatons que les courbes de températures intérieures des quatre ateliers suivent l'évolution des courbes des températures externes, les courbes sont presque parallèles surtout durant la matinée, pour l'après midi, les températures des ateliers sud et ouest augmentent au fur et à mesure que la paroi s'expose aux rayonnements solaires, pour atteindre un maximum de 21.10 °C à 14H pour l'atelier sud et à 16H pour l'atelier ouest .Par contre, la température ambiante dans les autres ateliers, atteint son maximum à 14H avec une valeur de 19 °C pour les ateliers Est et de 17°C pour l'atelier Nord.

Pendant toute la journée de mesure, avec les portes et les fenêtres fermes et sans le chauffage, les températures des quatre ateliers sont supérieures à la température extérieure. En effet, le soleil peut contribuer au chauffage des espaces intérieurs, soit par effet de serre à l'endroit des parois vitrées, soit par réchauffement pour les parois opaques.

Sur la base de la température de confort d'une salle de cours recommande par la RGPT¹⁸⁵ (voir tableau I.2, chapitre II), qui est de 21°C, les ateliers du département d'architecture nécessitent un chauffage permanent tout au long de la journée.

¹⁸⁵ RGPT. (La Réglementation Générale Française pour la Protection du Travail)

Conclusion

De cette investigation, les résultats montrent, que la température intérieure des ateliers d'architecture dont les ouvertures ne présentent aucune occultation, est conditionnés par le rayonnement entrant par une surface vitrée importante ainsi que le rayonnement absorbé par toute la paroi, donc le confort thermique dépend de la réduction de l'énergie transmise et absorbée à travers les parois vitrées en particulier et l'enveloppe en général.

L'enquête a montré l'existence d'un inconfort pour les étudiants, lié à un problème de surchauffe de leurs ateliers dû à une orientation défavorable des baies vitrées, à un manque de protections solaires pour la période d'été et à l'inexistence d'une ventilation nocturne.

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 par les étudiants dans leurs ateliers déterminé par l'enquête sur le terrain, met en évidence des carences en terme d'inconfort thermique confirmé par notre campagne de mesure sur site qui se résume par :

a) La température de l'air élevée est la première manifestation d'inconfort, notamment en été où les étudiants souffrent de surchauffe dans les salles de travail. C'est ainsi que ces derniers sont contraints, de chercher des actions d'adaptations pour améliorer leur confort 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.

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 de protections solaires ;*
- 3) Une surface vitrée très importante, ainsi que la nature du vitrage ;*
- 4) 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, en hiver le chauffage central reste allumé le jour comme de nuit.*

En résumé, l'enveloppe du bâtiment ne joue pas son rôle protecteur, ce qui fait que pour atteindre les conditions de confort requises dans ces espaces de travail en été, il faut recourir à des équipements de rafraîchissement.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Le confort thermique constitue actuellement un enjeu majeur dans le secteur du bâtiment tant pour la qualité des ambiances intérieures que pour les impacts énergétiques et environnementaux dont il est responsable.

Pour situer le problème du confort thermique, nous avons analysé les connaissances existantes en matière de confort thermique dans le bâtiment à travers une étude bibliographique. Cette étude nous a permis de comprendre la complexité de ce sujet à travers sa pluridisciplinarité.

L'étude du confort thermique a d'abord été abordée par l'approche de l'équilibre thermique. Celle-ci relie la sensation thermique à quatre paramètres physiques et à deux paramètres personnels: d'une part, la température ambiante et rayonnante, l'humidité relative et le mouvement de l'air, et d'autre part, l'activité ainsi que l'habillement de l'occupant. Suite à cette approche, le modèle adaptatif a mis en relation la sensation thermique à la température extérieure afin de prévoir la température de confort.

Néanmoins, l'approche de l'équilibre thermique favorise un climat homogène stable et artificiel ainsi qu'un contrôle restreint, alors que l'approche adaptative favorise les environnements diversifiés et sensibles aux variations du climat naturel ainsi qu'un contrôle élevé de l'environnement.

L'objectif visé à travers ce travail de recherche, est d'étudier la problématique du confort thermique relative à notre cas d'étude (département d'architecture de Tamda), chercher une adéquation entre la conception du bâtiment, le climat et l'environnement dans lequel il est intégré. A cet effet, un des aspects de notre étude est basée sur une enquête de terrain, réalisée auprès de notre communauté universitaire et sur un ensemble de mesures des paramètres d'humidité et de températures (ambiantes et de surfaces).

Pour le confort thermique des bâtiments d'enseignements, le problème qui se pose souvent est celui du confort d'été. Même si ces bâtiments ne sont que partiellement occupés pendant les mois d'été, la densité élevée d'occupation des salles de classe avec, les larges baies vitrées utilisées pour des exigences du confort visuel et d'éclairage engendre des problèmes de surchauffe notamment en mi saison et fin d'année universitaire et scolaire, qui correspond souvent à la période des examens.

Les résultats du présent travail montrent que la température intérieure d'une salle d'atelier dont les ouvertures ne présentent aucune occultation est gouvernée par l'orientation et le temps d'exposition aux rayons solaires des éléments de l'enveloppe (opaques et transparents). Ce résultat s'approche aussi de ceux de nombreux chercheurs comme, Givoni, B¹ et Izard, J-L² qui reconnaissent que le confort intérieur des espaces est gouverné par l'orientation des ouvertures et que les protections solaires sont efficacement recommandées. L'enquête a montré l'existence d'un inconfort pour les ateliers orientés vers l'est et l'ouest, lié à un problème de surchauffe, dû à une orientation défavorable des baies vitrées, à un manque de protections solaires et à l'inexistence d'une ventilation nocturne. Les orientations Nord et Sud sont les plus intéressantes pour notre cas d'étude si encore les façades Sud sont bien traitées sur le plan des protections solaires.

On retiendra de cette étude que le bâtiment étudié, présente des insuffisances en matière de prise en charge du confort intérieur. En effet, les conditions vécues dans les classes d'ateliers d'architecture, met en évidence des carences en terme d'inconfort thermique confirmé par notre campagne de mesure sur site. La température de l'air élevée est le premier signe d'inconfort, notamment en été où les étudiants souffrent de surchauffe de leur espace de travail avec aussi un taux d'humidité élevée comme un deuxième élément d'inconfort.

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. La synthèse des principaux résultats est présentée en vue d'apporter quelques éléments de réponse aux causes d'insatisfaction et d'inconfort des usagers du bâtiment étudié et de mettre en évidence les principaux points faibles du bâtiment du département d'architecture de Tamda qui 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) Absence de protection solaire pour les différentes orientations ;*

¹ Givoni, B. « L'homme, l'architecture et le climat » Editions du Moniteur, France. 1978

² Izard J-L. « Architecture d'été – Construire pour le confort d'été » Editions Edisud, France. 1993

4) *Mauvaise conception et dimensionnement des fenêtres : leurs dispositions, leurs surfaces ainsi que la nature du vitrage utilise (vitrage simple) ;*

5) *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 en été.*

Les résultats montrent que le choix de l'enveloppe du bâtiment a une incidence notable sur le confort thermique, elle est toujours considérée comme étant l'élément principal de la régulation thermique des échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Le comportement thermique de ces surfaces, vis-à-vis de la radiation solaire et de la température, joue un rôle très important dans la détermination des conditions du confort dans les espaces intérieurs. Donc, cette enveloppe doit également se modifier, intégrant des protections solaires et en différenciant ses façades selon leur orientation. La prise en compte des parois de l'enveloppe en relation avec le climat et l'environnement extérieur va conditionner le choix des matériaux et de la forme des bâtiments et demander une réflexion d'ensemble sur toute la conception architecturale.

Par ailleurs, l'intérêt que nous accordons à notre thème, réside dans la capacité de l'architecture bioclimatique à rétablir l'architecture dans son rapport avec le climat afin d'assurer un meilleur confort des espaces intérieurs. L'intégration du bâtiment dans son environnement est le premier principe de l'architecture bioclimatique, qui passe donc inévitablement par une excellente connaissance des paramètres essentiels du climat, comme l'ensoleillement, les vents et l'humidité. En plus de la localisation du bâtiment, sa forme et son orientation, les paramètres sur lesquels peut agir le concepteur pour améliorer les conditions de confort sont :

- *L'isolation de l'enveloppe du bâtiment ;*
- *l'inertie du bâtiment ;*
- *la surface des baies vitrées ;*
- *la protection solaire des baies vitrées ;*
- *la ventilation naturelle.*

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 optimiser son orientation pour maximiser les gains solaires en hiver. Comme notre cas d'étude a une occupation intermittente, maintenir la température de confort de chauffage pendant les

périodes où certains locaux sont inoccupés conduit à un gaspillage d'énergie. La pratique de l'intermittence du contrôle thermique dans les bâtiments à occupation discontinue (d'arrêter le chauffage en période d'inoccupation et de le relancer lorsque le bâtiment est occupé) est ainsi un des moyens les plus efficaces pour réaliser des économies d'énergie importantes.

En été, les niveaux de température intérieure atteints dans un bâtiment non climatisé dépendent principalement de la température extérieure, des apports internes de chaleur, des apports de chaleur dus au soleil, de la ventilation et de l'inertie du bâtiment (ADEME, 1993)³. En fonction de l'orientation, il s'agit essentiellement de réduire les apports de chaleur extérieure dus à :

- La pénétration directe du soleil par les surfaces vitrées (effet de serre) ;
- LA pénétration indirecte par les murs extérieurs et la toiture.

Afin d'éviter la surchauffe des locaux, il est donc, nécessaire de protéger l'enveloppe du bâtiment des rayons solaires, Cette protection solaire doit concerner toutes les parois extérieures du bâtiment, qu'elles soient transparentes ou opaques, pour les parois transparentes on choisira des dispositifs adaptés à chaque orientation et on privilégiera ceux arrêtant le rayonnement direct mais transmettant néanmoins la lumière naturelle, alors que pour les parois opaques, il est très important d'avoir suffisamment d'inertie pour stocker le surplus de chaleur accumulée en journée. Tandis que la nuit, lorsque les températures extérieures sont plus faibles, il est nécessaire de ventiler les espaces pour évacuer la chaleur restituée par les murs tout au long de la nuit.

La problématique du confort thermique dans le bâtiment en général et dans les édifices à caractère public, en particulier, est l'œuvre d'une défaillance de conception architecturale non soucieuse du climat local. Elle est aussi celle de la négligence dans le choix des matériaux de meilleurs caractéristiques et performances thermiques.

Afin d'éviter la surconsommation énergétique de nos bâtiments et une réhabilitation thermique prématurée, lourde d'un point de vue économique, il est plus que nécessaire de prendre en charge la conception architecturale de départ qui doit s'inscrire dans le sens de la durabilité.

³ ADEME & AICVF, « programmer, concevoir, gérer les bâtiments à hautes performances énergétiques », Pyc Edition, Paris, 1993.

*LISTE DES FIGURES, TABLEAUX
ET PHOTOS*

Liste des figures	Pages
Chapitre I	
Figure I.1 : valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires.....	09
Figure I.2 : Gains thermiques internes d'un espace.....	10
Figure I.3 : Le métabolisme humain.....	12
Figure. I.4 :L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement.....	13
Figure I.5 : Relations entre les paramètres de confort et les modes d'échange de Chaleur....	15
Figure I.6 : Diagramme bioclimatique du bâtiment.....	28
Figure I.7 : Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni.....	30
Chapitre II	
Figure II.1 : Les coordonnées solaires.....	37
Figure II.2 : Diagramme solaire pour la ville de Bruxelles.....	37
Figure II.3 : Coefficients d'absorption pour différents matériaux et couleurs.....	39
Figure II.4 : La rose des vents.....	40
Figure II.5 : Variations de la vitesse du vent, selon l'altitude et la nature du sol.....	40
Figure II.6 : Les facteurs de la ventilation naturelle.....	45
Figure II.7 : Ventilation traversante.....	46
Figure II.8 : Ventilation unilatérale.....	46
Figure II.9 : Ventilation par effet de cheminée.....	47
Figure II.10 :Impact de la forme, la taille et la proximité sur la compacité.....	48
Figure II.11 : principes du zonage thermique.....	49
Figure II.12 : Les facteurs énergétiques.....	52
Figure II.13 : Evolution des températures pour trois niveaux d'inertie.....	53
Figure II.14 : Répartition moyenne des déperditions dans une maison individuelle neuve...54	54
Figure II.15 : Variation de la température dans une paroi isolée.....	54
Figure II.16 : Concepts de la stratégie de la chaux.....	58
Figure II.17 : Concepts de la stratégie du froid.....	58
Chapitre III	
Figure III.1 : Chaîne énergétique.....	60
Figure III.2 : consommation énergétique dans différents secteurs économiques.....	65
Figure III.3 : Répartition de la consommation finale par secteur d'activité en 2005.....	66
Figure III.4 : Evolution de la Consommation énergétique du Secteur public.....	67
Figure III.5 : Système de chauffage des bâtiments.....	70
Figure III.6 : déséquilibre de température de chauffage.....	71

Figure III.7 : Les systèmes de climatisation centralisée.....	72
Figure III.8 : Les différents types de climatiseurs.....	73
Chapitre IV	
Figure IV.1: Situation de la ville de Tizi-Ouzou.....	78
Figure IV.2 : Durée mensuelles d’insolation à Tizi-ouzou (2001-2010).....	79
Figure IV.3: Valeur des températures moyennes mensuelles, de Tizi-Ouzou pour la période de 2001/2010.....	80
Figure IV.4: Valeur des précipitations moyennes mensuelles de Tizi-Ouzou pour la période de 2000/2009.....	80
Figure IV.5: Valeur de l’humidité moyenne mensuelle de Tizi-Ouzou pour la période de 2009/2010.....	81
Figure IV.6: vitesse des vents moyenne mensuelle de Tizi-Ouzou pour la période de 2001/2010.....	81
Figure VI.7: Diagramme psychrométrique pour la ville de Tizi Ouzou.....	83
Figure IV.8 : Situation du bâtiment cas d’étude dans son contexte immédiat.....	92
Figure. IV.9: Plan du Rez-de-chaussée	93
Figure IV.10 : Plan Étage Courant	94
Figure IV.11 : Plan de toiture	95
Figure IV .12 : chauffage utilisé dans les ateliers.....	100
Figure IV.12 : Le psychométrie.....	102
Figure IV.13 : Mesure de l’humidité relative à partir du diagramme psychométrique.....	103
Figure IV.14 : Position des appareils de mesures au niveau du plan et de la façade.....	104
Chapitre V	
Figure V.1: Adaptation aux conditions climatiques.....	107
Figure V.2 : Les effets de la chaleur sur l’individu.....	108
Figure V.3 : Adaptation aux conditions climatiques.....	108
Figure V.4 : évaluation de la température d’une journée d’hiver.....	109
Figure V.5 : évaluation du confort thermique des ateliers.....	109
Figure V.6 : Evaluation de la température d’une journée d’été.....	110
Figure V.7 : évaluation du confort thermique des ateliers.....	111
Figure V.8: Variation de la température intérieure et extérieure, Atelier /Nord, période d’été.....	113
Figure V.9: Variation de la température intérieure et extérieure Atelier /Est, période d’été.....	113
Figure V.10: Variation de la température intérieure et extérieure, Atelier /Sud, période d’été.....	114
Figure V.11: Variation de la température intérieure et extérieure, Atelier /Ouest, période d’été.....	115

Figure V.12: Variation de la température intérieure des quatre ateliers.....	115
Figure V.13: Variation de la température de surfaces extérieures des quatre ateliers...	117
Figure V.14: Variation de la température de surfacique interne et externe, Atelier-Est	117
Figure V.15 : Variation de la température de surfacique interne et externe, Atelier-Ouest...	118
Figure V.16: Variation de la température de surfacique interne et externe, Atelier Nord.	118
Figure V.17 : Variation de la température de surfacique interne et externe, Atelier-Sud.	118
Figure V.18: Variation de l'humidité relative des quatre ateliers.....	119

Liste des photos

Chapitre II.....
Photo II.1: Différents Types de protections solaires.....	43
Photo II.2 : protections solaires extérieurs mobiles.....	43
Photo II.3 : La végétation à feuillage caduc comme protection solaire.....	44
Photo II.4 : Matériaux isolants.....	56
Chapitre III.....
Photo III.1 : Bâtiment du rectorat de l'université de Tizi- Ouzou.....	74
Chapitre IV.....
Photos IV.3 : Façade Nord.....	96
Photos IV.2 : Façade Est	96
Photos IV.1 : Façade Ouest.....	96
Photo IV.1 : bibliothèque en construction (Tamda).....	97

Liste des tableaux

Chapitre I.....
Tableau I.1: Paramètres influents sur la sensation de confort thermique.....	06
Tableau I.2 : Valeurs de référence de température de l'air.....	07
Tableau I.3 : Correspondances entre PMV et échelle des sensations thermiques.....	20
Tableau I.4 : Correspondances entre PMV et PPD.....	20
Tableau I.5 : Valeurs de α en fonction de la vitesse d'air.....	22
Chapitre II.....
Tableau II.1 : Éléments d'analyse pour localiser un bâtiment bioclimatique.....	36
Tableau II.2 : Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi.....	38
Tableau II.3 : Valeur du coefficient de conductivité thermique des principaux isolants....	54
Chapitre III.....

Tableau III.1: Consommation d'énergie par branche d'activité.....	67
Tableau III.2 : Les équipements publics réalisés durant les dix dernières années.....	69
Chapitre IV	
Tableau IV.1: Données climatiques de la ville de Tizi-Ouzou, période 2001 à 2010,.....	82
Tableau IV.1: Températures et humidités maximales et minimales de Tizi-Ouzou 2000 à 2009.....	83
Tableau IV.2: Matériels utilisés lors de la campagne de mesure.....	100

BIBLIOGRAPHIE

*Ouvrages, ouvrages collectifs,
publications, thèses, guides et actes de
séminaires*

1. AFNOR.ISO 8996.,« Détermination de la production de chaleur métabolique » Paris. 1994.
2. AFNOR. NF EN ISO 7730., « Ambiances thermiques modérées. Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique » Paris.1995.
3. ADEME., « Gestion énergétique dans les bâtiments publics», Guide méthodologique. 1999.
4. Afra H. « Projet d'efficacité énergétique dans le secteur de la construction » in dossier du CNERIB n° 12-2008, Alger. 2009.
5. Agence Internationale De L'énergie (AIE), « World energy outlook »,Head of communication and information office, 2008. Paris.
6. Agence Régionale de l'Energie (ARENE) de Provence- Alpes – Côte d'Azur, « Confort d'été dans le sud de la France). <http://www.envirobat-med.net/>.2000
7. APRUE, (Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie). «Consommation finale de l'énergie, chiffre clés, année 2005 », bulletin de
8. l'APRUE, Alger, 2007. Annabi M. Mokhtari A. et Hafrad T.A. « Estimation des performances énergétiques du bâtiment dans le contexte maghrébin » in revue des Énergies Renouvelables Vol. 9 n° 2, Alger. 2006.
9. Baker, F. « Haute qualité environnementale du ministère de l'équipement » document téléchargé du site <http://www.batirsain.org/pages/articles/hqe.htm>. 2002
10. Belakhowsky S. « Déperditions calorifiques et isolation thermique des habitations » Editions Techniques et vulgarisation, Paris. 1978
11. Bertolo L. et Bourges B. « Données climatiques utilisées dans le bâtiment » Techniques de l'ingénieur, traité génie énergétique, document B 2 015. 1992. p29
12. Bondil, A. et Hrabosky, J. « L'isolation thermique et l'aération des bâtiments d'habitation » Tome 1 Editions Eyrolles, Paris. 1978
13. Bonhomme,S .« méthodologie et outils pour la conception d'un habitat intelligent »,thèse de doctorat, l'institut national polytechnique de Toulouse, 2008,p.229
14. Bougriou, C. Hazem, A. et Kaouha, K. « Protection solaire des fenêtres » in revue des énergies renouvelables Volume 3 n° 127-135, Alger. 2000
15. Bouvier, F. « Soleil et architecture » dossier C3310, technique de l'ingénieur, traité de construction. France. 1981
16. Bozonnet, E. « Impact des microclimats urbains sur les demandes énergétiques des bâtiments : Cas de la rue canyon » thèse de doctorat soutenue à l'université La Rochelle, France. 2005
17. Brager, G-S. et De Dear, R-J. « Thermal adaptation in the built environment », in a literature review, "Energy and building" n° 27. 1998
18. Bruant, M. « Développement et paramétrages de contrôleurs flous multicritères du confort d'ambiance », in Conception en bâtiment et techniques urbaines, I.N.S.A (Institut National des Sciences Appliquées) de Lyon, France. 1997

19. C.A.U.E, (Conseil en Architecture Urbanisme et Environnement), « L'architecture bioclimatique » in revue d'architecture d'urbanisme et d'environnement de l'Ariège, France. <http://www.caue.org>. 2005
20. Cabinet d'études "Tribu- Energie" « Influence de l'inertie en immeuble collectif » étude réalisée pour le compte de CIMBETON, France. 2007
21. Candas, V. « Confort thermique », Technique de l'ingénieur, traité du génie énergétique BE 9 085, France. 2000
22. Cantin R. et al. « Complexité du confort thermique dans les bâtiments » in actes du 6^{ème} congrès européen de science des systèmes, tenu à Paris du 19 au 22 septembre 2005.
23. Capderou, M. « Atlas solaire de l'Algérie, aspect géométrique, synthèse géographique » Tome 3, volume 1, Editions Office des Publications Universitaires (O.P.U), Alger. 1987
24. Chabane Imane J. « Évaluation de la qualité vécue des environnements hermétiques en mur-rideau de verre – cas d'étude : immeuble de bureaux a Alger. » Mémoire de magister, EPAU. Alger ,2006
25. Chabi Mohammed., « étude bioclimatique du logement social-participatif de la vallée du M'zab : cas du ksar de Tafilelt » Mémoire de magistère, université de Tizi-Ouzou, juin 2009
26. Chafi, Fatima Zohra, « développement d'un modèle zonale pour la simulation thermo aéraulique des bâtiments multizones », thèse de doctorat, école de technologie supérieure, université du Québec. 2010
27. Charbonnier, S. Parentet, et Pouget, A. « Guide de la thermique dans l'habitat neuf » Editions du Moniteur, Paris. 1992
28. Chatelet, A., Fernandez, P. et Lavigne, P. « Architecture climatique, concepts et dispositifs » Tome 2, Editions EDISUD, France. 1998
29. Cheilan, R. « La climatisation solaire » projet de fin d'études en ingénierie du bâtiment à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Étienne. France. 2004
30. Collard, Philippe. « Approche multicritère de l'évaluation de la qualité des ambiances intérieures : application aux bâtiments tertiaires ». Thèse Génie Civil et Sciences de l'Habitat. Chambéry: Université de Savoie, 2001
31. Collection technique CIMBETON « Béton et confort thermique » revue technique du centre d'information sur le ciment et ses applications, n° B 40, France. 2007
32. Conseil en Architecture, Urbanisme et Environnement (C.A.U.E) « La ventilation » in revue d'architecture d'urbanisme et d'environnement de l'Ariège, France. <http://www.caue.org/>.2005
33. Courgey , Samuel et Oliva Jean-Pierre., « la conception bioclimatique, des maisons confortables et économes »,Edition terre vivante,2010
34. Cordier, N., « Développement et évaluation de stratégie de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions», Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon. 2007
35. Corinne, Martinet. « Travail à la chaleur et confort thermique ». Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, NST 184, décembre 1999

36. C.S.T.B, (Centre Scientifique des Techniques du Bâtiment) « Confort thermique, maîtrise de l'énergie et ventilation » document pour la Direction des affaires économiques, sociales et culturelles et Direction de l'urbanisme de l'habitat et de la construction France. 2004
37. C.S.T.B, « Performances énergétiques des éléments opaques » document de la réglementation thermique (RT) 2000, France. 2000
38. C.U.E.P.E, (Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie) « Habitat, confort et énergie », Genève le 22 mai 2003
39. CNERIB , « Règlement thermique des bâtiments d'habitation et règles de calcul des déperditions Calorifiques », DTR.C 3-2, janvier 1998
40. CNERIB. « Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments », Centre national d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, DTR.C 3-4, janvier 1998
41. M Dahli et R Toubal. «Matériau isolant thermique à base de déchets ménagers et oléicoles». in Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°2 ,2010
42. Dali K. « Mise en application de la réglementation thermique des bâtiments », Extrait de la lettre de l'APRUE n° 10, Septembre 2006.
43. David, Ô. Fabre, A. « Les économies d'énergie dans l'habitat existant. Une opportunité si difficile a saisir », Edition: Presses de l'École des Mines de Paris, 2004. p252
44. Deoux. Suzane, « Le guide de l'habitat sain », Édition Medieco, Avril 2002, p.211
45. Dernal, C. et Potvin, A. « Le brise-soleil : la dernière grande invention environnementale en architecture » in revue "le bulletin d'information de l'ordre des architectes du Québec" volume 15, n° 5. 2004
46. Despretz, H . « Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments. Définitions. Usages. Consommations », revue technique de l'ingénieur, N° BE 9020, vol 4, 2004
47. Destobbeleire, G. et Izard, J-L « Rôle de la végétation dans le microclimat : utilisation de la thermographie » in actes de la conférence EPIC'98 Lyon, France. 1998
48. Dillen, D. « L'énergie solaire, ici et maintenant » in revue Bio info, Editions Changer d'R. Bruxelles. 2003
49. Dumitriu-Valcea , E. « Isolation thermique des constructions en Algérie », Editions Entreprise nationale du livre (ENAL), Alger. 1986
50. Dutartre, N. La réglementation de la régulation et de la gestion de l'énergie. Promoclim, Tome 22, n°4. 1991. P 214
51. Endravadan , Mala.. « Régulation des systèmes de chauffage et de climatisation basée sur la sensation thermique humaine. Impact sur la consommation d'énergie dans les bâtiments ».Thèse de doctorat, Université de Paul Sabatier - Toulouse III, 2006
52. ESTEBAN EMILIO MONTENEGRO ITURRA , « Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique »,Mémoire de Maîtrise en Sciences de l'Architecture , université Laval Québec,2011
53. Fauconnier, R. « l'action de l'humidité de l'air sur la santé » in revue Chauffage Ventilation Conditionnement, n° 10/192. 1992

54. Fernandez, P. « Stratégies d'intégration de la composante énergétique dans la pédagogie du projet d'architecture », Thèse de doctorat, Ecole des mines de Paris. 1996
55. Fernandez.P,et Lavigne.P.« Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes ».Edition le Moniteur, 2009
56. Fernandez, P et Lavigne, P. « Changement d'attitude pour concevoir un cadre bâti bioclimatique : une contribution au développement durable, Techniques de construction », .Editions du moniteur, 2010
57. Fezzioui, B et al « Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien » in revue des énergies renouvelables Volume 11 n° 1. Alger. 2008
58. FILFLI. S « Optimisation batiment systeme pour minimiser les consommations dues a la climatisation » These de doctorat, Ecole des Mines de Paris, décembre 2006
59. Gabanieu, J., Galibourg, J-M. et Gauzin-Müller, D. « Constructions publiques, architecture et HQE », une publication de la mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques, France. 2003
60. Galeou M, grivel F, Candas V. « le confort thermique : aspects physiologiques et psycho-sensoriel », étude bibliographique. Strasbourg : CNRS, 1989
61. Gandemer, Guyot. « Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti », CSTB, 1976
62. Gay J.B., « Confort et Santé », Cours, Master en Architecture et Développement Durable, EPFL, 2001
63. Gratia, E. «Architecture et Climat ». Aide théorique Opti-Maisons. 1998
64. Givoni, B. « L'homme, l'architecture et le climat » Editions du Moniteur, France. 1978
65. Grignon-Masse, L, « Développement d'une méthodologie d'analyse coût-bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liés au confort d'été : cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine. ». Thèse de Doctorat, l'École nationale supérieure des mines de Paris, 2010
66. Hescong, L. « Architecture et volupté thermique » Edition Parenthèses pour la traduction française, Paris. 1981
67. Hollmuller, P. et al, « Habitat, Confort et Energie», Colloque du cycle de formation du CUEPE , Centre Universitaire d'Etude des problèmes de l'énergie, Université de Genève. 2003
68. Hufty, André, « Introduction à la climatologie » Edition Presses Universitaires de France 1976
69. Hugel B., « 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, 2002, p161
70. Hugues Boivin « la ventilation naturelle, Développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale », mémoire de maitrise, université Laval, Québec, 2007

71. IEPF, (institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie « Changement climatique : Vers l'après 2012 », Revue trimestrielle, Numéro 75, 2ème trimestre .2007
72. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement « Redéfinir la notion de confort thermique », in guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, N° CSS13 , Belgique, 2007
73. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement «assurer une bonne protection solaire, recommandation pratique », in guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, n°ENE13 ; Belgique. 2007
74. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement «optimiser la conception des fenetres », in guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, n°ENE06 ; Belgique. 2007
75. ISO 7730 « Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort » AFNOR, Paris.1994.
76. Izard J-L. « Architecture d'été – Construire pour le confort d'été » Editions EDISUD, France. 1993
77. Izard, J-L. « Contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en architecture », Polycopié ENSA-Marseille, 1998.
78. Izard, J-L. « Archi bio » Edition Parenthèses, France. 1979
79. Izard, J-L. « Conception architecturale et urbaine, ambiance et énergie », document téléchargé le 02 juillet 2008 à partir du site <http://www.marseille.archi.fr/~izard/>.2008
80. Izard,J-L. Kaçala,O. « Le diagramme bioclimatique » Envirobat-Méditerranée , laboratoire abc, Esna-Marseille, téléchargé le 10 Mai 2010 à partir du site <http://www.marseille.archi.fr/~izard/>.2008
81. Jakob, D. « Confort d'été, protections solaires » in dossier de l'ARENE (Agence Régionale de l'Energie) de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. <http://www.regionpaca.fr/>.2000
82. Jannot, Y. « L'air humide » document PDF téléchargé le 04.12.2008 de : <http://www.thermique55.com>. 2005
83. Jannot, Y. « Transferts thermiques » Ecole des mines de Nancy (France), cours de 2^{ème} année, disponible sur le site <http://www.thermique55.com/principal:thermique.pdf>.2008
84. Jannot, Y. et Djiako, T. « Economie d'énergie et confort thermique dans l'habitat en zone tropicale » in revue "International journal of réfrigération", volume 17 n° 03. France. 1994
85. Juslin, Koffi. « Ventilation des logements et critères d'évaluation de la qualité des ambiances intérieures » thèse de doctorat, C.S.T.B, p224
86. Journal Officiel de République Algérienne Démocratique et populaire du 28 Juillet 1999, « Loi n° 99-09 relative à la maîtrise de l'énergie ».
87. Journal Officiel de République Algérienne Démocratique et populaire du 30 Avril 2000, « Décret exécutif N°2000-90 du 24 Avril 2000 Portant Réglementation Thermique dans les Bâtiments Neufs ».

88. Hollmuller, P., Lachal, B., Romério, F et Weber W., « Habitat, Confort et Energie», Colloque du cycle de formation du CUEPE , Centre Universitaire d'Etude des problèmes de l'énergie, Université de Genève. 2003
89. Kesraoui, Nadia. , « Intégration du concept bioclimatique et utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment tertiaire en climat méditerranéen (cas de l'Algérie) ».mémoire de magistère, Département d'Architecture de Tizi-ouzou, 2010.
90. Khedim, M. « L'énergie solaire, utilisation thermique et photovoltaïque », Editions ANEP, Alger. 2005
91. Khelifi, L. « contribution méthodologique à la conception bioclimatique en architecture », Mémoire de magistère. EPAU, Alger. 2006
92. Labeyrie , J., « l'homme et le climat », nouvelle édition sciences Denoël. 1985
93. Langlais, C. et Klarsfeld, S. « Isolation thermique à température ambiante. Bases physiques » Techniques de l'ingénieur, document n° BE 9 860. France. 1997
94. Langlais, C. et Klarsfeld, S. « Isolation thermique à température ambiante. Propriétés » Techniques de l'ingénieur, document n° C 3 371. France. 2004
95. Lavergne, M. « opportunités solaires passives : optimisation du confort et de la consommation énergétique d'un espace séjour avec serre accolée, »thèse de doctorat, école d'architecture faculté d'aménagement, université Laval Québec ,2009
96. Lavigne, P. « La perméabilité au soleil des enveloppes d'édifices, un concept pour juger de leur qualité de confort d'été. » in actes de la conférence EPIC'98. Lyon 19 – 21 novembre 1998. 1998
97. Lavigne, P., Brejon, P. Et Fernandez, P. « Architecture climatique : une contribution au développement durable », Edisud, Aix-en-Provence, France. 1994
98. Liébard, A. « Guide de l'architecture bioclimatique. Haute qualité et développement durable » cours fondamental: Systèmes solaires, Paris, tome 1, 2002
99. Liebard, A. et De Herde, A. « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable », Editions Observ'ER, Paris. 2005
100. Maalej, J., « Emetteurs de chaleur dans les bâtiments : comportement thermique et étude des performances ». Thèse de Doctorat soutenue à l'Université de Valenciennes, 1994
101. Mahmoudi, F. « climatisation, ventilation et désenfumage » in revue, vies de villes, N°09,Alger ,mai 2008.
102. Microsoft ® Encarta. « Chauffage, ventilation et climatisation.»,2009.
103. Ministère de l'Habitat, « Recommandations architecturales » Edition E.N.A.G, Alger. 1993
104. MHU . « La revue de l'habitat », revue d'information du ministère de l'habitat et de l'urbanisme N° 03-Mars 2009, Alger
105. Mansouri, Y. « Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés, proposition d'une méthodologie de conception », Thèse de Doctorat, Université de Nantes. France.2003

106. Martinet, C. et Meyer, J-P. « Travail à la chaleur et confort physique » in revue « Note scientifique et technique » de l'I.N.R.S (Institut National de Recherche et de Sécurité) n° NS 184. France. 1999.
107. Maugard, A. in actes du colloque « Energie solaire et bâtiment » organisé par l'Ademe et Enerplan, Octobre 2007.
108. Mazria, E. « Le guide de la maison solaire » Edition Parenthèses, France. 2005
109. Merzeg Abdelkader. « La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie ». Mémoire de magistère, université de Tizi-Ouzou, 2010, p209
110. Mezred, M. « Une approche du zonage climatique de l'Algérie pour l'étude du comportement thermique des constructions » in actes des journées nationales sur les applications des énergies solaires, Université de Batna, 10 et 11 mai 1997, Algérie. 1997
111. Mokhtari, A. et al « Architecture et confort thermique dans les zones arides. Application au cas de la ville de Béchar » in revue des énergies renouvelables, Volume 11 n° 02. Alger. 2008
112. Moréteau, S. « Les clés du confort thermique » in revue bimensuelle « La maison écologique » de janvier 2008, n° 42, France. 2008
113. Moujalled, B. « Modélisation dynamique du confort thermique », thèse de doctorat, présentée à l'institut des sciences appliquées de Lyon .France. 2007
114. Mourtada, A. « Efficacité énergétique et énergies renouvelables dans les bâtiments ; Etat de l'art, solutions pratiques et enseignements d'Europe et du proche Orient », in actes du séminaire international « Initiation à la conception d'une architecture efficace énergétiquement », Alger du 8 au 11 septembre 2007
115. Nezzar, S. et Gourdache, M. « Etude des performances énergétiques d'une conception bioclimatique en région aride » article publié par la World Energy Council, Angleterre. 1999
116. Ngassa A., Ginda C., Bassereau J-F. et Truchot P., « La climatisation aujourd'hui et les exigences en matière de confort », Actes du cinquième séminaire confère sur l'Innovation et la Conception de Produits, Paris, 8-9 Juillet 1998
117. Niki Assimakopoulou, M. « développement et évaluation des systèmes et stratégies de contrôle de régulation d'un vitrage électrothermique pour des applications de bâtiment », l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2004
118. O.E.C.D. «Energie : Les Cinquante Prochaines Années», Rapport de l'Organization for Economic Cooperation and Development OECD. 1999
119. Office fédéral de l'énergie Suisse Energie « Nouveaux bâtiments à faible consommation d'énergie, guide pratique ». <http://www.minergie.ch/>.2006
120. Olgay, V. « Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism », Princeton, University press , U.S.A. 1963
121. Oliva, J-P. et Courgey, S. « La conception bioclimatique des maisons confortables et économes en neuf et en réhabilitation ». Editions Terre Vivante, France. 2006
122. Olive, G. « Synthèse d'expérimentation de bâtiment à Haute Qualité Environnementale en vue de recommandations pour la maîtrise d'ouvrage publique » rapport final de l'association HQE. 1998

123. Ould-Hennia, A. « Choix climatiques et construction, zones arides et semi-arides : la maison à cour de Boussaâda ». Thèse de doctorat, école polytechnique Fédérale de Lausanne, suisse, 2003
124. Parsons, K. « Human thermal environment ». 2nd Edition, Taylor & Francis. London. 2003
125. Peuportier, B. et Thiers, S. « Des éco-techniques à l'éco-conception » actes de journée thématique sur l'efficacité énergétique des bâtiments, tenus à Toulouse le 21 Mars 2006. 2006
126. Ploeg, J. « L'énergie et le changement climatique », rapport de l'académie canadienne du génie. Canada. 2002
127. Prisme (Programme international de soutien à la maîtrise de l'énergie). « le confort thermique dans les bâtiments ». La planification énergétique sectorielle, fiche technique n° 5
128. Projet Européen TAREB ;« Intégration dans le bâtiment »in Architecture à faible énergie, chapitre 2, London Métropolitain University. <http://www.learn.londonmet.ac.uk/>.2004
129. Réglementation thermique et énergétique des bâtiments neufs en Tunisie « Guide pratique de conception de logements économes en énergie » Agence Nationale pour la Maîtrise de l'énergie, Tunisie, 2006
130. Richieri, Fabrice. « Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères », thèse de doctorat soutenue a L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2008
131. Rolin, D. et al « Le confort d'été en Provence Alpes Côte d'azur » document de l'ARENE (Agence Régionale de l'Energie). <http://www.arene.fr>.2008
132. Roulet, C-A. « Energétique du bâtiment ; prestations du bilan énergétique global » Editions Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Suisse. 1987
133. Roulet C. A., Energétique du bâtiment, Tome 1 : « Prestations du bâtiment, bilan énergétique global », Collection gérer l'environnement, Edition : Presses polytechniques Romandes, 1987.
134. Roulet, C. A., Energétique du bâtiment .Tome 2 : « Interaction entre le climat et le bâtiment », Collection gérer l'environnement, Edition : Presses polytechniques Romandes. Suisse.1987.
135. Roulet C.A., « Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments », presses polytechniques, 2004
136. Salomon, T et Bedel, S., « La maison des [méga] watts, Le guide malin de l'énergie chez soi ». Ed. Terre vivante. Mens 2004
137. Seguirou, Belgacem. « Effet d'un groupement sur l'écoulement de l'air et le confort des piétons dans les espaces extérieurs » Mémoire de magistère. Université de Biskra .2003.
138. Shobhakar D. « Comment infléchir les émissions de CO2 dans quatre mégapoles d'Asie » in La Revue Durable, « Vivre ensemble en mégapole », n° 14.2005
139. Silvestre Jeronimo, C., « la température agréable manipulation des fenêtres et dynamique du confort environnemental dans une salle de classe climatisée naturellement » thèse de doctorat, université Laval Québec, 2009

140. Siret, D. « Ensoleillement et conception assistée par ordinateur » in actes de la conférence I.B.S.A. France.2002
141. Siret, D et Harzallah, A. « Architecture et contrôle de l'ensoleillement » in actes du séminaire organisé par l'ISBPSA (International Building Performance Simulation Association) les 02 et 03 novembre 2006 en Ile de la réunion. 2006
142. Siret, D. « Ensoleillement et conception assistée par ordinateur » in actes de la conférence I.B.S.A. France. 2002
143. Solution Béton « Inertie thermique et confort d'été » in revue construction moderne n° 103, France. 2000.
144. Tabeaud. Martine, « la climatologie, paris », Edition Armand colin, 2000
145. Tellier, F. « Modélisation du comportement thermique de l'homme et de son habitat, une approche de l'étude du confort », étude réalisée à l'université Paul Sabatier de Toulouse, France. 1989.
146. Tellier, F. « L'homme et son environnement thermique » étude menée à l'université Paul Sabatier de Toulouse, France. 1999
147. Tellier, F. « prise en compte du comportement adaptatif de l'être humain dans la simulation thermique de l'habitat », laboratoire P.H.A.S.E. (Physique de l'Homme Appliquée à Son Environnement), Université Paul Sabatier, France
148. Texier, N. « De la notion de confort à la notion d'ambiance » in revue du laboratoire cresson de l'école d'architecture de Grenoble et CNRS Ambiances architecturales et urbaines, France. 2007
149. Torbey Sammour, N . « Amélioration du confort thermique par conditionnement thermique a proximité », thèse de doctorat , Ecole des mines de Paris , 2005, P 259
150. Torrenti, R et Gilles, R . « Habitats Climatiques », programme Rexcoop, SIGMA consultants, France, 1988
151. Valin, M. « La maison met le cap au sud » article paru dans la revue science et vie " La maison du XXI^e siècle" n° 241, France, décembre 2007.
152. Visier, J.C. Et Bicard, C. Pratique de l'intermittence du chauffage dans les locaux à occupation discontinue. Cahiers du CSTB, , cahier 2279, octobre 1988
153. Vogt J.J. « confort physiologique ». Techniques de l'ingénieur, document N° B 2180. 1995,p 10
154. Weckstein, M., Salagnac, J.L., « Changement climatique : un double défi pour Le bâtiment », Revue Géosciences, N° 3, mars 2006.

ANNEXE I

*Enquête sur le confort thermique
Le questionnaire*

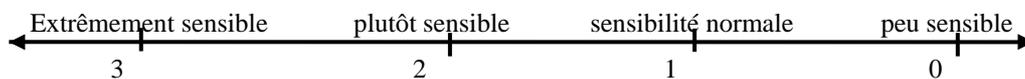
A- INFORMATION SUR L'ESPACE DE TRAVAIL

- Atelier :
- Groupe :
- Salle N° :
- Etage :
- Orientation (s) :
- Surface Approximative :
- Nombre D'étudiants :

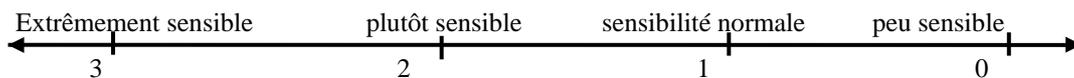
B- INFORMATIONS PERSONNELS

Age :
 Poids :
 Sex : M F

- **Comment qualifiez-vous votre niveau de sensibilité à la chaleur?**



- **Comment qualifiez-vous votre niveau de sensibilité au froid?**



- **Tenez-vous compte de la météo pour vous habiller le matin ?**

Oui non

- **si OUI**, qu'est-ce qui vous influence le plus dans votre choix ?

- La température -le risque de pluie
 -Le vent -autres :(.....)

- **Précisez quelle est pour vous l'importance d'avoir une température confortable dans votre espace de travail.**

- vous concentrez mieux.....
 -Vous travaillez mieux
 -Votre humeur est meilleure.....
 -vous êtes moins fatigué

-autres (préciser)/.....

- **A Partir de quelle température intérieure juger –vous nécessaire de climatiser les locaux en été. (..... °C)**
- **Quel type de ventilation préférez-vous pour votre espace de travail ?**
 Naturelle Mécanique

- **Quel est le (ou les) facteur(s) le(s) plus défavorable(s) pour votre confort ?**

(Classez, si vous avez plusieurs réponses)

	ETE	HIVER
Température		
Humidité		
Courants D'air		
Autres

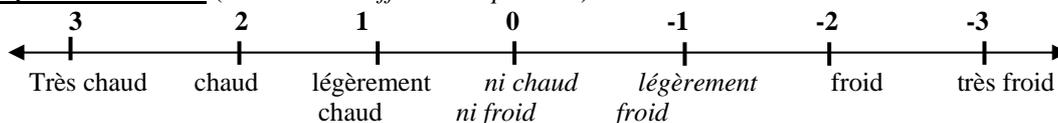
- **Indiquez, pour les équipements suivants le degré d'importance pour vous, de la possibilité de les contrôler individuellement. Essayer de répondre à ces questions sans tenir compte des possibilités actuelles que vous avez à le faire.**

	Très important	important	indifférent	pas important
Ouverture/fermeture de fenêtre				
Ouverture/fermeture des portes intérieures				
Position des rideaux ou stores				
Allumer/éteindre l'éclairage général de la pièce				
Contrôler le fonctionnement de la climatisation				
Contrôler le fonctionnement d'un ventilateur				
Contrôler le fonctionnement du chauffage				

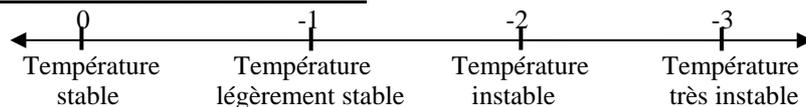
C-QUALITE DE L'AMBIANCE CLIMATIQUE

- ❖ **Nous vous demandons de décrire l'ambiance de votre atelier à travers les points suivants :**

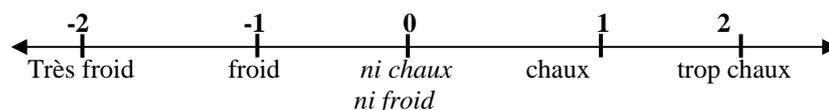
1-Température en été (entourez le chiffre correspondant)



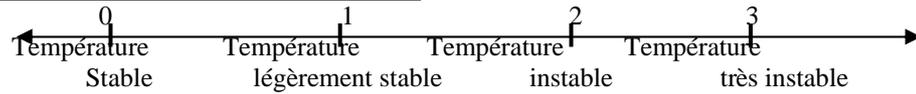
- **La Température d'une Journée d'été est une:**



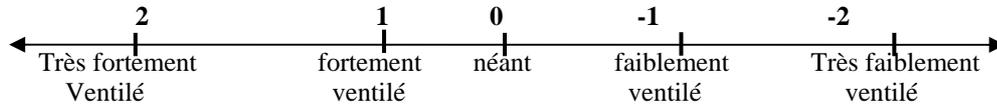
2-Température en hiver-(entourez le chiffre correspondant)



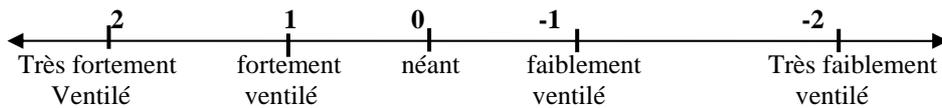
- **La Température d'une Journée d'hiver est une:**



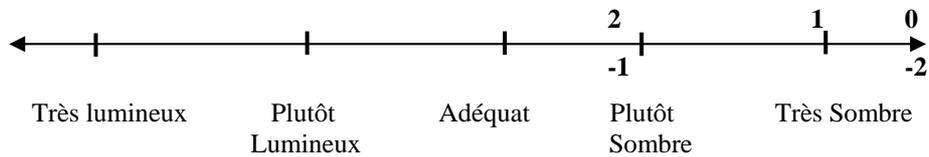
- 3- **Ventilation naturelle en été :** Quel est le degré de ventilation après ouverture des portes et fenêtres ?



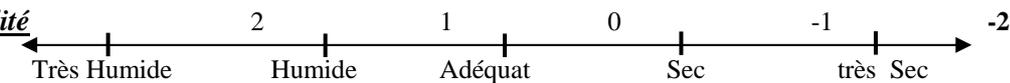
- 4- **Ventilation naturelle en hiver :** Quel est le degré de ventilation après ouverture des portes et fenêtres ?



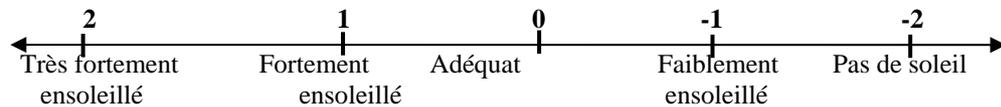
- 5- **Lumière**



- 6- **Humidité**



- 7- **Ensoleillement**



- 8- **Quel est votre avis sur le confort thermique à l'intérieur de votre atelier**

	Confortable	Légèrement inconfortable	Inconfortable	Très inconfortable
En été, le matin				
En été, L'après midi				
En hiver, le matin				
En hiver, L'après midi				

- 9- **Êtes-vous généralement satisfait de votre environnement thermique ?**

Oui Non

- si NON, D'après vous, quels sont les problèmes relatifs à cet environnement et que suggérez-vous pour l'améliorer ?

D-CONTROLE PERSONNEL SUR L'AMBIANCE

-Avez-vous la possibilité d'agir sur l'ambiance thermique de votre lieu de travail ?

NON.....

- OUI, Ouvrir, fermer une fenêtre
- OUI, Ouvrir, fermer une porte intérieure
- OUI, en utilisant les protections solaires (rideaux ou stores)...
- OUI, Contrôler le fonctionnement d'un ventilateur.....
- OUI, Contrôler le fonctionnement d'un radiateur.....
- OUI, Contrôler le fonctionnement de la climatisation.....

AUTRES :(.....)

E-AMBIANCE THERMIQUE DE L'ATELIER

DATE :	LE MATIN à.....heure	L'APRES-MIDI à.....heure
<p>1. <u>Comment trouvez-vous l'atelier maintenant ?</u></p> <p>(-3) Très Froid</p> <p>(-2) Froid</p> <p>(-1) Légèrement Froid.</p> <p>(0) Neutre</p> <p>(+1) Légèrement Chaud</p> <p>(+2) Chaud.....</p> <p>(+3) Très Chaud.....</p>	<p>(placez une croix)</p> <p>(-3)</p> <p>(-2)</p> <p>(-1)</p> <p>(0)</p> <p>(+1)</p> <p>(+3)</p>	<p>(placez une croix)</p> <p>(-3)</p> <p>(-2)</p> <p>(-1)</p> <p>(0)</p> <p>(+1)</p> <p>(+3)</p>
<p>2. <u>Trouvez-vous cela...? (cochez la case appropriée)</u></p> <p>(1) Acceptable.....</p> <p>(2) Inacceptable</p> <p>(3) Très inacceptable.....</p>	<p>(1)</p> <p>(2)</p> <p>(3)</p>	<p>(1)</p> <p>(2)</p> <p>(3)</p>
<p>3. <u>Comment trouvez-vous le mouvement de l'air dans l'atelier ?</u></p> <p>(+2) Très acceptable...</p> <p>(+1) Acceptable</p> <p>(0) Neutre</p> <p>(-1) Inacceptable</p> <p>(-2) Très inacceptable.</p>	<p>(+2)</p> <p>(+1)</p> <p>(0)</p> <p>(-1)</p> <p>(-2)</p>	<p>(+2)</p> <p>(+1)</p> <p>(0)</p> <p>(-1)</p> <p>(-2)</p>
<p>4. <u>En prenant en compte vos préférences personnelles uniquement, vous trouvez cet environnement thermique</u></p> <p>(+2) Très Confortable</p> <p>(+1) Confortable.....</p> <p>(0) Neutre</p> <p>(-1) Inconfortable.....</p> <p>(-2) Très Inconfortable.....</p>	<p>(+2)</p> <p>(+1)</p> <p>(0)</p> <p>(-1)</p> <p>(-2)</p>	<p>(+2)</p> <p>(+1)</p> <p>(0)</p> <p>(-1)</p> <p>(-2)</p>

Et Merci pour votre participation.

ANNEXE II
Normes du confort thermique

Les normes élaborées jusqu'à présent dans le domaine du confort thermique ¹

Ambiances modérée	ISO 7730	Ergonomie des ambiances thermiques -- Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local
	ISO 10551	Ergonomie des ambiances thermiques – Évaluation de l'influence des ambiances thermiques l'aide d'échelles de jugements subjectifs (Juin 2001)
	ISO 13732-2	Ergonomie des ambiances thermiques - Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces -- Partie 2: Contact humain avec des surfaces à température modérée (2001)
Ambiances chaudes	ISO 7243	Ambiances chaudes – Estimation de la contrainte thermique de l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT (température humide et de globe noir), (Février 1994)
	ISO 7933	Ambiances thermiques chaudes – Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de la sudation requise (Septembre 1997)
	ISO 13732-1	Ergonomie des ambiances thermiques - Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces -- Partie 1: Surfaces chaudes
Ambiances froides	ISO 11079	Évaluation des ambiances froides -- Détermination de l'isolement requis des vêtements (1993)
	ISO 13732-3	Ergonomie des ambiances thermiques - Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces -- Partie 3: Surfaces froides (2005)
Normes de support	ISO 11399	Ergonomie des ambiances thermiques – Principes et application des Normes internationales pertinentes (2001)
	ISO 7726	Ergonomie des ambiances thermiques – Appareils de mesure des grandeurs physiques (2002)
	ISO 9886	Evaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques (Juin 2001)
	ISO 8996	Ergonomie – Détermination de la production de la chaleur métabolique (Février 1994)
	ISO 9920	Ergonomie des ambiances thermiques – Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire (Juin 1995)
	ISO 13731	Ergonomie des ambiances thermiques – Vocabulaire et symboles (Mai 2002)

Tableau : Liste des normes ISO qui traitent des ambiances thermiques

¹Moujalled, B. « Modélisation dynamique du confort thermique », thèse de doctorat, présentée à l'institut des sciences appliquées de Lyon .France. 2007.