



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi - Tébessa  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département d'Architecture

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de  
master en Architecture  
**Option : Architecture et environnement**

*L'efficacité Energétique D'un Bâtiment a Usage Administratif  
A TEBESSA*

Elaboré par :

- **BENHAMLAOUI Roufia**

-**SAHRAOUI Amel**

Encadre par :

**Mr. LAID Hichem**

Année universitaire 2014/2015

## **Remerciement**

*Le présent travail a été effectué à l'université de Tébessa, faculté des sciences et de technologie département d'architecture.*

*UN grand merci au bon Dieu de nous avoir guidé vers le bon chemin de la lumière et du savoir.*

*On tient à remercier notre encadreur, monsieur LAID Hichem, pour son suivi et son aide.*

*On adresse nos sincères sentiments de gratitude à nos enseignants:*

*Monsieur AHRIZ Atef, monsieur FEZZAI Sofiane pour leur assistance, Leurs conseils précieux, Leurs compétences ainsi que leurs expériences dans le domaine qui nous ont été d'une grande utilité.*

*On exprime nos reconnaissances à tous les membres de jury d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de cette thèse.*

*Enfin, nos remerciements vont aussi à tous nos collègues de l'architecture, ainsi tous ceux qui ont aidés de près ou de loin, à la réalisation de Ce travail.*

## ***Dédicace***

*Je dédie ce travail*

*À mes très chers parents, qui m'ont soutenu durant toutes ces années d'étude, ont été toujours présent pour me pousser, vos sacrifices ont été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours, veuillez trouver dans ce travail une grande reconnaissance pour ce que vous avez entrepris à mon égard, et un fruit de toutes vos prières et vos efforts.*

*À mes chers frères et sœurs.*

*À tous les membres de ma grande famille*

*À tous mes amis.*

*À tous mes collègues.*

## **DEDICACES**

***A mes parents qui m'ont donné le jour***

***A toi ma mère.***

*Dont la présence, les conseils, l'amour et le soutien à chaque moment de ma vie m'ont donné courage. Force et m'ont permis d'arriver à ce niveau. Mille fois merci pour tous tes sacrifices. Les mots sont très faibles pour te l'affirmer: tu es resteras la personne la plus importante pour moi*

***A toi mon père***

*Mille fois merci pour m'avoir toujours motivé à poursuivre mes études et pour avoir su me soutenir toutes ces années*

***A mon très cher mari***

*Quand je t'ai connu, j'ai trouvé l'homme de ma vie, mon âme sœur et la lumière de mon chemin.*

*Tes sacrifices, ton soutien moral et matériel, ta gentillesse sans égal, ton profond attachement m'ont permis de réussir mes études.*

*Sans ton aide, tes conseils et tes encouragements ce travail n'aurait vu le jour.*

***A mes sœurs***

***A mes frères***

***A mes tantes***

***A mes oncles***

***Je dédie le fruit de mon travail***

## Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>01</b>
<b>Problematique.....</b>	<b>01</b>
<b>Hypothese.....</b>	<b>02</b>
<b>Objectif de la recherche.....</b>	<b>02</b>
<b>Methodologie de recherche.....</b>	<b>03</b>
<b>Approche de recherche.....</b>	<b>04</b>

### Chapitre I: Architecture et efficacite energetique

1. L'énergie:.....	6
1.1 Définition:.....	7
1.2 L'homme et l'énergie a travers l'âge :.....	8
1.3 Les ressources énergétiques:.....	8
1.3.1 L'énergie primaire :.....	8
1.3.2 L'énergie finale :.....	8
1.4 Les problèmes provenant de l'utilisation abusive de l'énergie :.....	9
1.5 L'énergie et le développement durable:.....	10
1.6 L'énergie et les certifications du développement durable:.....	10
2. L'efficacité énergétique:.....	11
2.1 Définitions de l'efficacité énergétique:.....	11
2.2 Evolution de l'efficacité énergétique (enjeux énergétique dans le cadre du développement durable):.....	13
2.3 La nécessité de l'efficacité énergétique:.....	14
2.4 Les démarches de l'efficacité énergétique:.....	15
2.5 La consommation énergétique des différents secteurs en Algérie:.....	16
2.6 La consommation d'énergie dans le secteur public en Algérie:.....	16
2.7 Classification des bâtiments performants:.....	18
2.8 Critères d'évaluation propre aux bâtiments performants:.....	18
3. L'architecture Bioclimatique:.....	19
3.1 La conception architecturale bioclimatique:.....	19
3.2 Les principes de base de l'architecture bioclimatique:.....	19
3.3 Les différents types de protections solaires:.....	23
3.4 Le choix des matériaux et l'isolation thermique:.....	28
4. Les stratégies bioclimatiques pour améliorer l'efficacité énergétique:.....	29
4.1 Système de chauffage solaire passif:.....	29
4.2 Systèmes de rafraîchissement passif (confort d'été):.....	30
5. Le confort thermique pour optimiser l'efficacité énergétique:.....	31
5.1 La notion du confort thermique:.....	31
5.2 Les échanges thermiques:.....	31
5.3 Les paramètres affectant le confort thermique:.....	31
5.4 Le transfert de la chaleur à la surface d'un bâtiment:.....	32
5.5 Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique:.....	33

## Chapitre II: la simulation numerique dans l'efficacite enegetique

1.	Simulation Thermique Dynamique:.....	39
1.1	Les principes: .....	39
1.2	L'intérêt:.....	40
1.3	Typologie des méthodes de modélisation: .....	40
1.4	Modèles de connaissance: .....	42
2.	Définition des outils de simulation: .....	43
2.1	Exemple de logiciel de simulation: .....	43
2.1.1	CoDyBa : .....	43
2.1.2	TRNSYS : .....	49
2.1.3	Le SIMEB : .....	53
2.2	Pourquoi en a choisi codyba : .....	54

## Chapitre III: simulation et interruption des resultats

1.	Présentation de la région de Tébessa: .....	56
2.	le climat de la ville de Tébessa : .....	57
3.	Données climatique de la ville de Tébessa: .....	58
3.1	Rayonnement solaire et durée d'insolation: .....	58
3.2	Les températures: .....	59
3.3	Les précipitations: .....	60
3.4	L'humidité:.....	61
3.5	Le vent:.....	61
3.6	Conclusion de l'analyse climatique: .....	61
4.	Présentation du bâtiment cas d'étude: .....	62
4.1	Les caractéristiques constructives du projet:.....	63
5.	La simulation par le logiciel CODYBA : .....	64
5.1	Introduction .....	64
5.2	Déroulement de la simulation par CoDyBa : .....	64
5.3	Interprétation des résultats: .....	69
5.3.1	La distribution de la consommation : .....	69
5.3.2	Evolution de la température intérieur .....	69
5.3.3	Insertion des paramètres de simulations : .....	70
5.3.3.1	Influence de l'orientation .....	70
5.3.3.2	Influence du paramètre des ouvertures .....	73
	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>75</b>
	<b>Les recommandations.....</b>	<b>76</b>
	<b>Resume.....</b>	<b>79</b>
	<b>Summary.....</b>	<b>80</b>
	<b>Listes des tableaux ,figures et photos.....</b>	<b>82</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>86</b>

## **Introduction :**

Le contexte actuel de demande accrue de sécurité énergétique intégrant une réponse à la nécessité impérieuse de réorienter radicalement la politique énergétique actuelle vue le développement intense de l'utilisation des énergies fossiles qui sont des énergies non renouvelables ainsi leurs impact négatif sur l'environnement ,en augmentant les émissions des gaz à effet de serres et l'accélération du réchauffement climatique. L'ensemble de ces préoccupations faisant l'objet de plusieurs recherches actuelles dans le but de diminuer cette consommation énergétique abusive ainsi de penser à des solutions qui réduisent le recours permanent aux hydrocarbures en employant des énergies non épuisables.

*L'efficacité énergétique* se place au cœur de ces démarches et devient un pilier de la nouvelle politique énergétique qui vise à faire face aux enjeux environnementaux, économiques et politiques tout en essayant d'évoluer, mesurer, maitriser l'énergie en faisant appel à des solutions conceptuelles et technologiques.

### **I. Problématique:**

A l'heure où tout les pays du monde s'engagent à une réflexion sur leurs choix énergétique, en Algérie le secteur du transport, de l'industrie et le secteur du bâtiment sont considérés comme les plus consommateurs d'énergies, ce dernier représente 40% de la consommation suivi par le transport 33% et par l'industrie 19% selon les chiffres cités par Khaled IMESSAD <sup>1</sup> Parmi les trois secteurs mentionnés précédemment le secteur du bâtiment est le plus **énergivore** dont on note en particulier : le tertiaire (tel que : commerce, éducation, administration...) Qui est notre sujet de recherche en faisant une analyse sur l'état des bâtiments administratifs dans la willaya de Tébessa en matière de : confort thermique, gains et déperditions, consommation énergétique ...et essayer de soumettre des solutions et même tirer un ensemble de recommandations dans le but de créer une adéquation entre le bâtiment, le climat de la région , le confort de l'occupent et réduire l'impact sur l'environnement en favorisant l'emploi des progrès scientifiques et technologique pour mesurer et rationaliser la consommation énergétique.

A cet égard on peut tirer plusieurs **constats** dont on cite:

---

<sup>1</sup> Chercheur au centre du développement et des énergies renouvelables (C.D.E.R) dans une intervention à Oran en 2012.

- Le retard des initiatives concernant le développement durables et l'efficacité énergétique
- Manque des études en matière d'évaluation énergétique.
- Les exigences et les normes internationales en matière de performance énergétique des constructions ne sont pas encore suffisamment intégrées aux processus de conception.
- La non prise en compte des données climatiques de la région et le problème de standardisation
- Le manque de sensibilisation pour induire de nouvelles habitudes de comportement envers la consommation énergétique dans le bâtiment.
- Parallèlement le manque d'une vision d'ensemble entre les différents acteurs pour pouvoir tirer des solutions optimales à ce sujet.

Notre travail s'inscrit dans une optique globale de recherche sur l'amélioration de l'aspect qualitatif, notamment - la performance énergétique - dans les bâtiments à usage administratif, à Travers cette recherche, nous allons essayer de répondre aux préoccupations suivantes:

- Comment exploiter le développement technologique pour assurer une haute performance énergétique au niveau des bâtiments administratifs de la wilaya de Tébessa?
- Par quels moyens et mesures peut-on évaluer l'efficacité énergétique d'un bâtiment administratif?
- à travers quoi on peut assurer l'efficacité énergétique dans un bâtiment à usage administratif

## **II. Hypothèses:**

Pour ouvrir quelques pistes et apporter quelques éléments de réponses à la problématique posée, nous avons élaboré les hypothèses suivantes:

- La simulation numérique pour évaluer l'efficacité énergétique et développer des solutions conceptuelles par l'implication des moyens techniques et technologiques.
- Opter à une conception architecturale bioclimatique de départ, la maîtrise des déperditions et des gains thermiques de l'enveloppe du bâtiment minimisera les soucis dont souffrent les bâtiments à caractère administratifs.

## **III. Objectif de la recherche:**

Notre recherche a pour objectif d'évaluer l'efficacité énergétique d'un bâtiment à usage administratif par la simulation numérique à travers l'étude d'un exemple et pouvoir tirer des



recommandations pour améliorer et augmenter la performance énergétique d'un bâtiment de ce type.

#### **IV. Méthodologie de recherche:**

Notre mémoire est composée de trois chapitres dont:

##### **Le premier chapitre:**

Comporte l'introduction générale de notre thème de recherche, la problématique, les hypothèses, l'objectif ainsi que la méthodologie de recherche.

Pour passer ensuite à un état de l'art sur l'énergie et l'efficacité énergétique en architecture, consiste à la compréhension des différents concepts et notions clés liées à notre thème, elle découle sur une recherche bibliographique: les différentes définitions de l'énergie et de l'efficacité énergétique, historique et évolutions, l'ensemble des certifications et les enjeux énergétiques dans le cadre de développement durable, le contexte énergétique et la consommation mondiale et la celle dans le secteur public en Algérie pour passer à l'efficacité énergétique dans l'approche de l'architecture bioclimatique et traiter les principes de bases de cette dernière et son impacte sur les déperditions énergétiques d'un bâtiment .

##### **La deuxième chapitre:**

Dans ce chapitre nous nous intéressons à la présentation de quelques outils de simulation thermique célèbre qui sont : CODYBA, TRNSYS, et SIMEB par leurs définitions, objectifs, historiques et versions, leurs différents utilisateurs, et les paramètres de base pour le déroulement de la simulation pour conclure ce chapitre par pourquoi on a choisi le logiciel Codyba .

##### **La troisième chapitre:**

On aborde dans ce chapitre la représentation du bâtiment cas d'étude, ensuite la description du déroulement de la simulation en se basant sur deux paramètres: orientation et dimensionnements des ouvertures et effectuer une interprétation des résultats obtenus.

Enfin conclure le travail par des recommandations établies pour l'amélioration et l'augmentation de l'efficacité énergétique dans les bâtiments à usage administratifs.

## **V. Approche de la recherche:**

Nous avons optés à une **approche expérimentale** qui vise à mesurer, à faire une évaluation du confort thermique et à calculer les déperditions d'un bloc administratif dans la willaya de Tébessa et effectuer des bilans énergétiques à l'aide d'un logiciel de simulation thermiques – CODYBA-, dont la simulation est basée sur deux paramètres :

- L'orientation
- Les ouvertures

Ensuite faire une interprétation des résultats obtenus et tirer un nombre de recommandations concernant les orientations optimales et le dimensionnement des ouvertures, afin d'arriver à concevoir des bâtiments administratif plus performants du point de vue énergétique et thermique.

# **CHAPITRE I**

## Architecture et efficacité énergétique

---

## Introduction

La production de l'énergie sous toute ces formes occupe de nos jours des 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. Considéré aussi comme un bien social l'énergie nous fait vivre et assure notre bien être. Le bâtiment avec ces différents secteurs primaires, secondaires et tertiaires utilisent cette énergie pour répondre à leurs multiples besoins et confort (éclairage, chauffage, climatisation....)

Construire des bâtiments énergétiquement efficaces et respectueux de l'environnement : c'est tout l'enjeu de l'architecture écologique qui combine entre l'intelligence énergétique et processus de construction durable. Tour d'horizon des procédés de conception du green building.

Architecture verte, architecture durable, – *green architecture*, *green design*, ou encore *green building*, les termes ne manquent pas pour nommer cette discipline qui vise la réalisation de bâtiments " verts ". Selon la définition donnée par l'Agence américaine de protection de l'environnement, le *green building* est la réalisation de structures qui utilisent des procédés respectueux de l'environnement et économes en ressources tout au long du cycle de vie des bâtiments, de leur construction à leur exploitation en passant par leur maintenance, et jusqu'à leur éventuel démantèlement.

L'objectif principal de ce type d'architecture est d'assurer l'efficacité énergétique du bâtiment.

Pour l'atteindre, les procédés de construction doivent permettre la baisse des besoins énergétiques du bâti et l'amélioration de sa propension à capturer de l'énergie ou même à en produire.

## 1. L'énergie:

### 1.1 Définition:

Le mot énergie est d'origine latine " **energia** " qui veut dire "force en action ", ou bien " puissance physique qui permet d'agir et de réagir " <sup>2</sup>

L'énergie est généralement définie comme la capacité d'un système à réaliser un travail. La quantité d'énergie que possède un système représente la quantité de travail qu'il peut réaliser <sup>3</sup>.

Dans le sens commun l'énergie désigne tout ce qui permet d'effectuer un travail, produire de la chaleur.

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

- Le coût énergétique " initial " de la construction à partir du coût énergétique des Matériaux et de la construction.
- Le coût énergétique " vécu " de la consommation du au chauffage, climatisation, Éclairage et alimentation.

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

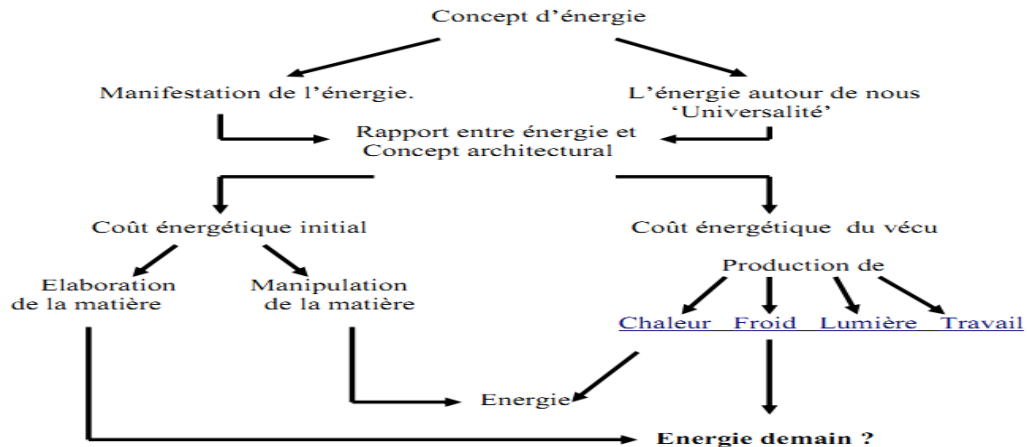


Figure I.1: organisation des contenus sur le thème de l'énergie.

Source :depecker.p.1985

<sup>2</sup> . Selon la rousse

<sup>3</sup> . La Commission Européenne, intelligent energy "Efficacités Energétique dans le secteur industriel" manuel de l'élève Edition, FR 1.0 - Octobre 2010, p.7.

## 1.2 L'homme et l'énergie a travers l'âge<sup>4</sup> :

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

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

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

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

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

## 1.3 Les ressources énergétiques:<sup>5</sup>

### 1.3.1 L'énergie primaire :

On entend par énergie primaire toute forme d'énergie disponible dans la nature avant toute transformation. Elles ne sont pas toujours utilisable directement et doivent le plus souvent être transformées avant d'être utilisées. Elles peuvent être classées en trois groupes les énergies fossiles, les énergies nucléaires et les énergies renouvelables.

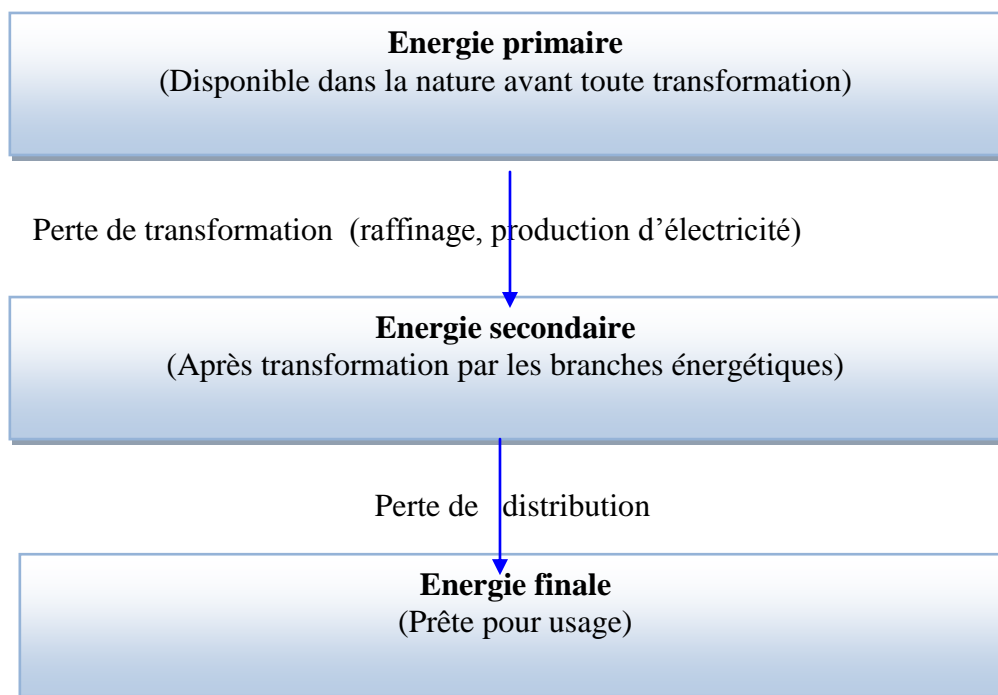
### 1.3.2 L'énergie finale :

On appelle énergies finales les énergies qui sont utilisés par l'homme (gaz. Electricité, fioul domestique, bois...) pour arriver a ces énergies, il aura fallut les extraire, les produire, les stocker et les distribuer c'est en fait l'énergie qui arrive aux consommateurs et qui lui est facturée. La chaine énergétique reliant l'énergie primaire et l'énergie finale est présentée par la figure I.2 <sup>6</sup> :

<sup>4</sup> . - CHITOUR.Ch.E, L'énergie -les enjeux de l'an 2000 – vol/2 offices des publications universitaires, 1994 p.

<sup>5</sup> M<sup>r</sup> MAZARI Mohamed "étude et évaluation du confort thermique des bâtiments a caractère public :cas du département d'architecture de Tamda (Tizi Ouzou),thèse de magister en architecture, université Mouloude Mammeri de Tizi Ouzou ,faculté du génie de la construction, département d'architecture, septembre 2012.p.60.

<sup>6</sup> Grignon-masse, "développement d'une méthodologie d'analyse cout-bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liée au confort d'été : cas des climatiseurs individuels fixe en France métropolitaine". Thèse de doctorat, l'école nationale supérieure des mines de paris, 2010, p305



**Figure I.2:** Chaîne énergétique  
Source: Grignon-masse

#### 1.4 Les problèmes provenant de l'utilisation abusive de l'énergie :

La confiance aveugle que les architectes vouée à la société technologique ont eu pour résultat la production d'une architecture "énergivore". Plusieurs facteurs technico-économiques ont favorisé cette situation:

- ✓ Le faible coût de l'énergie (charbon puis pétrole et gaz)
- ✓ L'essor et le développement des machines thermiques
- ✓ Le développement des procédés de construction et la recherche de la performance quantitatif et esthétique ...

Nous devons garder à l'esprit que les sources d'énergie fossile sont *épuisables*. Cela signifie que la sécurité de l'approvisionnement est cruciale de nos jours (nous sommes particulièrement dépendants du pétrole et du charbon).

La production et la consommation d'énergie provoquent des dégâts importants sur la planète. Le meilleur moyen de réduire ces dégâts est de mettre en œuvre des mesures pour développer l'usage des énergies renouvelables et améliorer les rendements énergétiques. Ces mesures

---

<sup>7</sup>. Les origines et le fondement de la construction soucieuse de l'environnement Office des Publications Universitaire

sont importantes pour notre quotidien mais également dans tous les secteurs de vie de l'homme.

### **1.5 L'énergie et le développement durable:**<sup>8</sup>

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 protégeant et conservant la qualité environnementale. Ce concept appliqué à la conception architecturale à la construction, et à l'exploitation des bâtiments permet de 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 »

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 exigences :

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

### **1.6 L'énergie et les certifications du développement durable**<sup>9</sup>:

Partant des principes du développement durables, l'architecture devra concilier trois mondes différents, celui de l'économie celui de l'écologie et celui du social. Le bâtiment

---

<sup>8</sup> Shobhakar.D "Comment infléchir les émissions de CO2 dans quatre mégapoles d'Asie" in la Revue Durable "vivre ensemble en mégapole", n°14.2005.

<sup>9</sup> . L'intégration de l'efficacité énergétique et du développement urbain durable dans les études de faisabilité – thèse morillon



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 bâtiment vert, d'où l'aspect énergétique demeure une préoccupation centrale, ce qui nous amène à nous intéresser au bâtiment performant, voir le bâtiment à bas profils énergétiques qui repose sur deux grands axes qui améliorent son efficacité énergétique qui sont :

- L'efficacité énergétique dans le bâtiment
- Le recours aux énergies renouvelables dont les caractéristiques sont les suivantes :
  - ✓ Elles sont inépuisables, non polluantes et gratuites
  - ✓ Elles sont exploitables sans produire des déchets, ni d'émissions polluantes
  - ✓ Elles contribuent ainsi à la réduction et à la lutte de l'effet de serre et du réchauffement climatique.

Il existe principalement deux certifications européennes et un nord américain:

- En France la certification H.Q.E a été lancée en 2005
- Au Royaume Uni BREEAM (BRE environmental assessment method) : méthode d'évaluation de la performance environnementale, des bâtiments en été développée Par le BRE (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT) en 1990
- Au Etats-Unis US green building Council a créé LEED (LEADERSHIP IN ENERGY AND DESIGN) en 1998.

## **2. L'efficacité énergétique:**

En augmentant l'efficacité énergétique, nous utilisons moins d'énergie et nous réduisons du même coup les émissions de gaz à effet de serre, ainsi nos impacts sur l'environnement. La sécurité de l'approvisionnement en énergie s'en trouve également renforcée. Et n'oublions pas qu'en adoptant des solutions favorisant l'efficacité énergétique, nous dépensons moins d'argent pour l'énergie !

### **2.1 Définitions de l'efficacité énergétique:**

#### **DEFINITION 1 :**

En termes scientifiques, l'efficacité énergétique représente le rapport de l'énergie consommée sur l'énergie produite. En d'autres termes, l'efficacité énergétique d'un bâtiment est sa propension à gérer sa propre énergie, à optimiser les flux, à en produire pour la

renouveler à la mesurer, la répartir, l'optimiser. Pour d'obtenir l'équilibre entre production et consommation <sup>10</sup>

**DEFINITION 2 :**

L'efficacité énergétique d'un système est le rapport énergétique entre la quantité d'énergie délivrée et la quantité d'énergie absorbée. Elle est ainsi liée à la maximalisation du rendement, à service rendu égal. En découle la diminution des coûts écologiques, économiques et sociaux liés à la production et à la consommation d'énergie. Un système caractérisé par une haute efficacité énergétique produit ainsi à moindre coût, et à moindre impact écologique, un confort thermique assuré et accompagné avec des économies d'énergie<sup>11</sup>.

**DEFINITION 3**

L'efficacité énergétique d'un bâtiment, aussi appelée performance énergétique, caractérise la capacité d'un système à répondre aux besoins avec un minimum d'énergie en préservant le confort des habitants. Elle ne doit pas être confondue avec le rendement même si les deux notions sont souvent liées. La démarche pour augmenter l'efficacité énergétique se décompose en trois étapes, la conception bioclimatique, la réduction des besoins puis le choix de l'installation.

Ainsi, les solutions d'efficacité énergétique visent à améliorer la performance délivrée avec une moindre consommation d'énergie<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> . Livre blanc de l'efficacité énergétique, Février 2011, Schneider Electric, p 13.

<sup>11</sup> . Yves ROBILLARD Président groupe efficacité énergétique FIEEC " Efficacité énergétique des bâtiments", dossier de presse, septembre 2011.p.4.

<sup>12</sup> .Groupe d'étude des marches GEM-EF " Equipements de bureau, enseignement et formation " Comité " E" (Etablissements scolaires et énergies renouvelables) « guide relatif a l'efficacité énergétique dans les bâtiments : application a un établissement scolaire» Mars 2013, v.10.



**Figure I.3:** Les leviers de l'efficacité énergétique,

Source: Yves ROBILLARD Efficacité énergétique des bâtiments,

## 2.2 Evolution de l'efficacité énergétique (enjeux énergétique dans le cadre du développement durable):

### -les réglementations énergétiques:<sup>13</sup>

- 1 1972 Déclaration de Stockholm : Déclaration de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement
- 2 1992 Déclaration de Rio sur l'Environnement et le développement, ainsi la directive de l'union européenne du 22 septembre 1992
- 3 1997 Le protocole de Kyoto à la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques
- 4 1999 le label LEED aux Etats. Unis afin d'établir un standard commun d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments.
- 5 Le label " passive haus " en Allemagne qui a été une référence à la réglementation thermique revue en 2002
- 6 2000 Programme national de lutte contre le changement climatique
- 7 Le label «total quality " développé en 2000 en Autriche...

<sup>13</sup>-[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr): site de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

-[www.ccc.org](http://www.ccc.org) évaluation des avantages environnementaux associés à l'énergie renouvelable et à l'efficacité énergétique

-Directive n° 2012/27/UE du 25/10/12 relative à l'efficacité énergétique, modifiant les directives 2009/125/CE et 2010/30/UE et abrogeant les directives 2004/8/CE et 2006/32/CE

<http://europa.eu.int>: site de l'union européenne

- 8 2002 Sommet mondial de Johannesburg sur le Développement Durable
- 9 2002 Directive sur la performance énergétique des bâtiments
  - 2004 projets de loi d'orientation sur l'énergie (juin 2004) et promulgué en juillet 2005, également le plan Climat d'objectif d'amélioration de la performance énergétique avec des priorités de induire une limite de consommation et d'évaluation des émissions du CO2 valoriser le recours aux énergies renouvelables...
  - Le label MINERGIE ® mis en place en 1996 ,3500 bâtiments ont été certifiés Minergie fin2004
- 10 2005 Loi de programme du 13 juillet fixant les orientations de la politique énergétique, les réglementations thermiques de 2000 au 2005 qui porte à la fois sur les bâtiments neufs résidentiel et tertiaire, ainsi les démarches environnementales dans les bâtiments tel que : HQE
- 11 2006 nouvelles directives par UE complète celle de 2004.
- 12 2007 Sommet de Bali
- 13 2007-2008 Grenelle de l'Environnement I et II
- 14 2009 Sommet de Copenhague sur le changement climatique
- 15 2010 le plan climat en respectant le protocole de Kyoto
- 16 2011 Le plan national d'action pour l'efficacité énergétique du 30 juin 2011 par UE
- 17 2012 La nouvelle directive du 25 octobre 2012 qui apporte des novations par rapport aux précédentes celles de 2004 et 2006
- 18 2013 en avril chaque état membre doit présenter à la commission européenne ses objectif indicatif d'ici 2020

L'efficacité énergétique a donc souvent été « évoquée » mais elle l'a été comme un élément parmi d'autres de la politique énergétique. Pourtant au regard de son ampleur, son potentiel et la complexité de ses composantes techniques, économiques ou sociétales, elle est un élément structurant à prendre en compte, en tant que tel dans toute politique énergétique.

### **2.3 La nécessité de l'efficacité énergétique:**

En augmentant l'efficacité énergétique, nous utilisons moins d'énergie et nous réduisons nos impacts sur l'environnement. La sécurité de l'approvisionnement en énergie s'en trouve également renforcée. Et n'oublions pas qu'en adoptant des solutions favorisant l'efficacité énergétique, nous dépensons moins d'argent pour l'énergie !

Il est possible de distinguer :

- **L'efficacité énergétique passive**, qui vise à réduire les déperditions d'énergie en renforçant la performance thermique d'un bâtiment
- **L'efficacité énergétique active**, qui ambitionne également de réaliser des Économies d'énergie, mais en optimisant le fonctionnement des équipements et des systèmes énergétiques grâce à des systèmes intelligents de mesure, de contrôle et de régulation, ou en améliorant les techniques de production et de stockage de l'énergie.
- **L'efficacité énergétique interactive**, qui se concentre sur les besoins de L'utilisateur pour y répondre de manière pertinente. Elle permet de limiter les Pertes dues aux mauvais usages

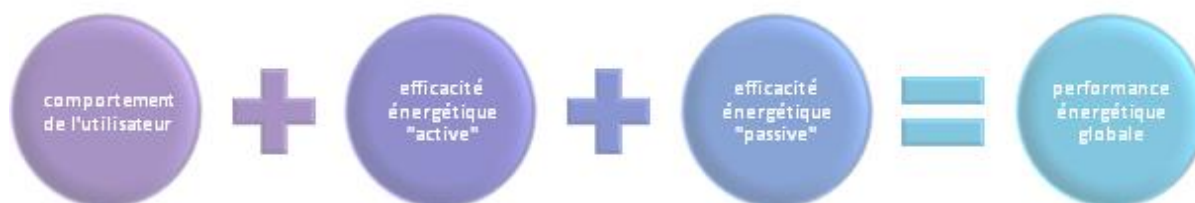
#### 2.4 Les démarches de l'efficacité énergétique:<sup>14</sup>

En matière d'efficacité énergétique, il faut jouer sur trois leviers:

- La diminution les besoins qui sont relatifs au bâti.
- L'amélioration les équipements techniques du bâtiment et leur gestion.
- Le comportement de l'utilisateur.

#### *Le contexte énergétique et la consommation mondiale:*<sup>15</sup>

Toutes les activités humaines et notamment celles qui concourent au développement économique et social, font appel à l'énergie, sauf que la consommation mondiale est restée très longtemps stable lorsque l'homme n'utilisait 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.



**Figure I.4:** Les leviers de l'efficacité énergétique,

**Source:** Yves ROBILLARD Efficacité énergétique des bâtiments,

<sup>14</sup> Yves ROBILLARD Président groupe efficacité énergétique FIEEC" Efficacité énergétique des bâtiments", dossier de presse, septembre 2011.p.5.

<sup>15</sup>Santamoris M.Demosthenes et Asimakopoulos, N. (2001) "Energy and climate in the Urban Built Environment "James and James edition Ltd, p.412

Selon l'agence internationale de l'énergie (AIE), la consommation mondiale d'énergie va augmenter de 50% entre 2004 et 2030, 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 technologique.

### 2.5 La consommation énergétique des différents secteurs en Algérie:<sup>16</sup>

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

D'après l'agence nationale de 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 de secteur du bâtiment est évaluée à 7047 ktep ; 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 facteurs d'ici les horizons de 2025.

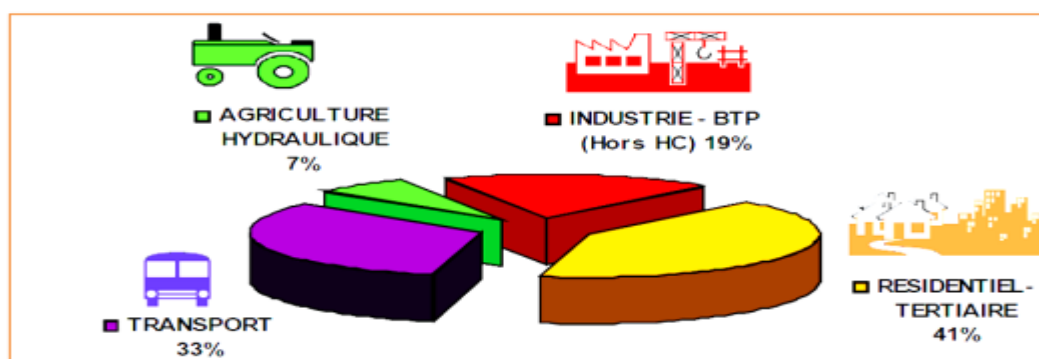


Figure I.5 : Consommation finale par secteur d'activité

Source: Aprue- édition 2009

### 2.6 La consommation d'énergie dans le secteur public en Algérie:<sup>17</sup>

D'après APRUE entre 2000 et 2005 la consommation finale du secteur a progressé annuellement de 6% (figure I.6) 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 d'électricité et le chauffage et la cuisson représente 60% de la consommation du gaz naturel. Une forte demande en électricité est donc à prévoir en raison des perspectives de développement de ce secteur

<sup>16</sup> MHU. "La revue de habitat" revue d'information du ministère de l'habitat et de l'urbanisme N°03-Mars 2009, Alger, p.74

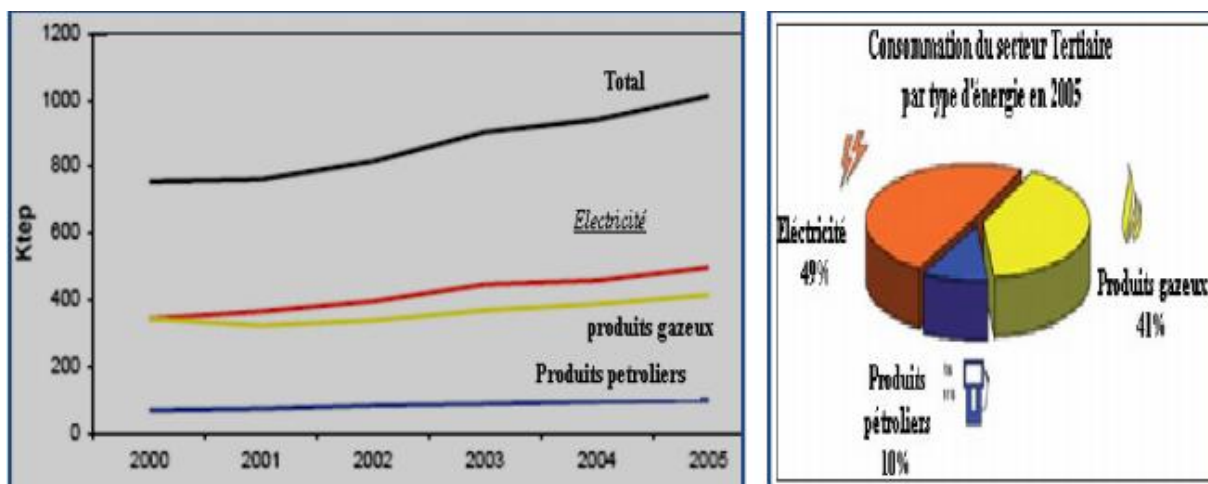
<sup>17</sup> Ibid, p.74

Comme le montre le tableau la consommation énergétique du secteur public se répartit comme suite:

BRANCHE	CONSOMMATION %
Commerce	39
Administration centrale	19
Tourisme	8
Santé – action sociale	12
Education	8
Eclairage public	5
Autre	5

Tableau I.1: Consommation d'énergie par branche d'activité

Source: APRUE- Edition 2007



### -Le bâtiment (résidentiel et tertiaire):

Avec 44 % de la consommation finale d'énergie, le " résidentiel-tertiaire" occupe la première place de la demande finale et recèle un fort potentiel d'économie et d'efficacité énergétique. Selon M. Philippe Pelletier, président du Comité stratégique français du " Plan bâtiment durable " lors de son audition, « l'efficacité énergétique des bâtiments doit s'inscrire dans une ambition plus vaste : celle de proposer une vision de l'évolution de notre société qui, au delà du bâtiment, intègre l'objectif de maîtrise de l'énergie et, plus généralement, de maîtrise environnementale ».

Ce secteur regroupe le " tertiaire " c'est-à-dire les locaux à usage professionnel, publics (établissements d'enseignements, hôpitaux, les gymnases...) ou privés (bureaux, commerces, entrepôts...)

## 2.7 Classification des bâtiments performants:<sup>18</sup>

Un certain nombre de terme sont utilisés pour désigner les bâtiments présentant une forte efficacité énergétique:

- **Maison passive:** Initiée en 1990 par l'ingénieur Wolfgang Feist, elle est pratiquement autonome pour ses besoins en chauffage. Ces résultats sont atteints grâce à une excellente protection contre l'extérieur, une captation optimale, mais passive de l'énergie solaire et des calories du sol, une limitation des consommations d'énergie des appareils ménagers.
- **Bâtiment basse énergie:** bâtiment pour lequel la consommation en énergie finale pour le chauffage varie entre 30 et 60 kWh/ (m<sup>2</sup>.an).
- **Bâtiment très basse énergie:** bâtiment pour lequel la consommation en énergie finale pour le chauffage varie entre 10 et 15 kWh/ (m<sup>2</sup>.an).
- **Bâtiment à énergie zéro:** Bâtiment qui produit autant d'énergie qu'il en consomme en utilisant des énergies renouvelables (panneaux solaires par exemple). Pour cette notion, on compare souvent l'énergie finale reçue par la maison à l'énergie primaire produite, ce qui n'est pas très correct.
- **Bâtiment à énergie positive:** Bâtiment qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme (dans le même esprit que les bâtiments à énergie zéro). Ces expériences sont adoptées pour les bâtiments neufs comme les anciens, ces derniers procurent un souci majeur car ils représentent la grande part du parc construit, et ils dépensent la majorité de l'énergie pour maintenir une température agréable, car à l'époque de leur construction, on ne se souciait pas des dépenses énergétiques. Cependant, les politiques énergétiques engagées par les pays développés et en voie de développement, incitent à l'amélioration de la qualité énergétique des bâtiments neufs et anciens.

## 2.8 Critères d'évaluation propre aux bâtiments performants:

IL apparaît une forte convergence des concepts autour de quelques caractéristiques principales telles que:

- **Le besoin énergétique annuel de chauffage**, rapporté à une surface, généralement la surface chauffée
- **La consommation d'énergie**, également par unité de surface, pouvant inclure le chauffage, mais aussi l'eau chaude sanitaire, l'éclairage, la ventilation....

---

<sup>18</sup> MLL EBOUAMAMA Wahiba, "au sujet de la politique d'efficacité énergétique en Algérie : approche systémique pour un développement durable cas de : programme éco-bat" thèse de magister, université Abou-Bakr Belkaid - Tlemcen, faculté de technologie, département de génie-civil, 2013, p.9.



- **La production d'énergie** à partir de ressources renouvelables Les concepts diffèrent surtout par les niveaux d'exigence de chacun d'eux vis-à-vis de ces caractéristiques. Ces niveaux d'exigence constituent des critères permettant de vérifier si les objectifs du concept sont atteints.

Quelques caractéristiques secondaires peuvent s'ajouter aux précédentes, telles que:

- **L'étanchéité** du bâtiment à l'air
- **Les performances** des équipements et des matériaux mis en œuvre des éléments non énergétiques, tels que la nature des matériaux (naturelle ou Synthétique), le surcoût de la construction, les émissions de CO<sub>2</sub>, le niveau de confort ...

### **3. L'architecture Bioclimatique:**

En considérant l'architecture dans une recherche d'intelligence, celle-ci doit créer elle-même, par son enveloppe (forme, matériaux, répartition des ouvertures...) et ses structures intérieures, un microclimat confortable. Des concepts nouveaux dans le vocabulaire architectural tel que : "*Architecture bioclimatique*" où "*solaire passive*" ou une conception consciente de l'énergie ont pris en considération les mécanismes du confort et l'économie d'énergie.

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

#### **3.1 La conception architecturale bioclimatique:**

L'homme a toujours construit un abri pour se protéger des contraintes climatiques, construire climatique 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 du terrain, de limites, d'orientation, de terrain et de voisinage immédiat. 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 ces occupants des conditions du confort.

#### **3.2 Les principes de base de l'architecture bioclimatique:<sup>19</sup>**

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

---

<sup>19</sup> Izard, J-L "Archi bio" Edition parenthèse, France, 1979

aux principes de l'architecture. Elle permet de réduire les besoins énergétiques et de créer un climat de bien être avec des températures agréables, une humidité contrôlée et un éclairage naturel abondant...

#### ☞ **choix du site et implantation :**

Le choix d'implantation d'un bâtiment influe directement sur le degré de confort thermique. La localisation du bâtiment dans son site selon Pierre Fernandez est un préalable 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 (relief, contexte urbain, typo-morphologie du terrain, végétation, vent...), comme on peut les résumer dans le tableau suivant :

Environnement	Climat	Autres
- Type de région	- L'ensoleillement	- <i>le contexte urbain</i>
- Nature du sol	- Température	- <i>législation</i>
- Végétation	- Type de temps	- <i>Matériaux locaux</i>
- Profil du terrain	- Luminosité	- <i>Eau, gaz, électricité</i>
- Altitude et la latitude	- Précipitations	- <i>Alimentation en eau.....etc</i>
- Vue	- Humidité	
- Bruit	- vent .....etc	
.....etc		

**Tableau I.2 :** Elément d'analyse pour implanter un bâtiment bioclimatique

Source : M<sup>r</sup> MAZARI Mohamed ,op cit

Une bonne implantation recherche assure :

- la protection naturelle 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.

#### ☞ **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 la surface habitable, plus la surface des 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. Une forme compacte est souhaitable pour assurer une haute performance énergétique, réduire le coût du confort thermique, mais un bâtiment hyper compact n'est pas souhaitable du point de vue éclairage naturel, donc un compromis doit être trouvé lors de la conception du projet.

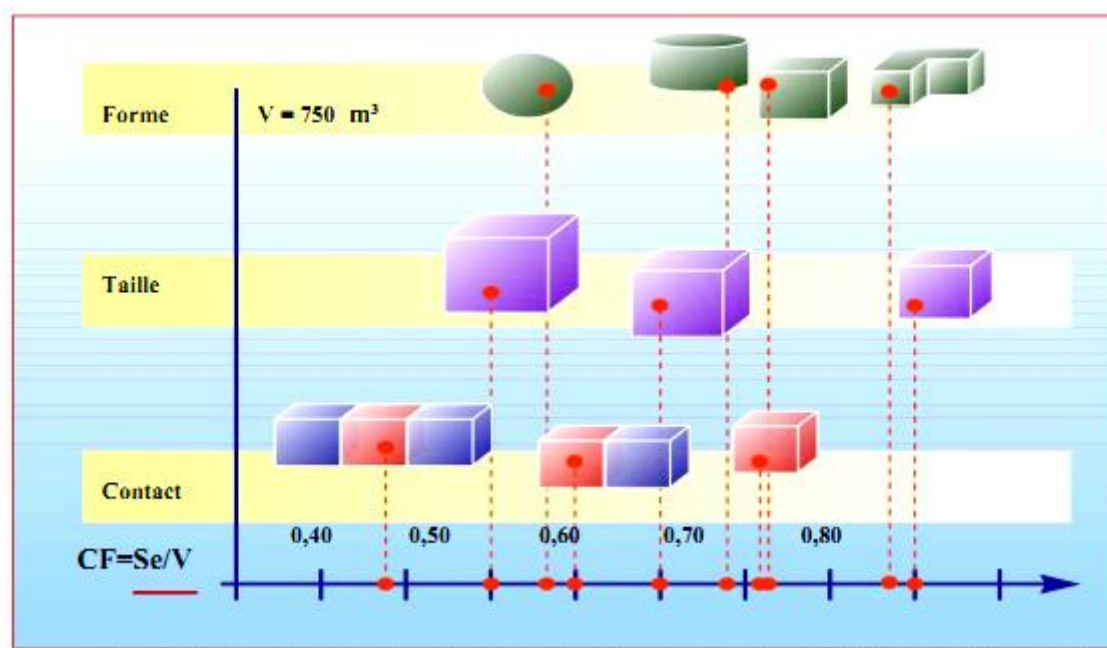


Figure I.7 : Impact de la forme, la taille et la proximité sur la compacité

Source : M<sup>r</sup> MAZARI Mohamed op cit

#### ✎ **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 thermiques permet de les disposer rationnellement les uns par rapport aux autres. Les zones occupées en permanence étant ceux qui nécessitent le plus de chaleur en hiver et ceux qui sont exposés à l'extérieur doivent être séparés de l'intérieur par des espaces intermédiaires dit " tampons " qui jouent le rôle de protection thermique. 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.

L'élaboration du zoning climatique 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.

#### ✎ **l'orientation:** <sup>20</sup>

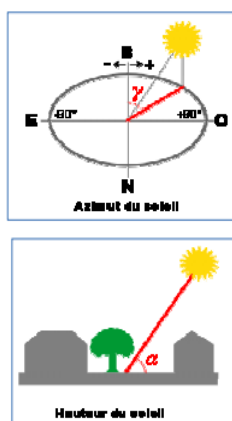
Le choix d'une orientation est soumis d'après Baruch Givoni à de nombreuses considérations telles que la position du bâtiment par rapport aux voies, la topographie du site, la position des sources de nuisances, le rayonnement solaire et ses effets d'échauffement ainsi que la

<sup>20</sup> Adem [en ligne] [www.wanado.com](http://www.wanado.com).

ventilation en rapport avec la direction des vents dominants. Il place le concept de l'orientation au centre des éléments influant sur les ambiances intérieure.

### • l'orientation et l'ensoleillement :<sup>21</sup>

L'ensoleillement est caractérisé par la trajectoire du soleil et la durée de l'ensoleillement



L'ensoleillement est en très grande partie responsable de divers effets sur les bâtiments, il représente:

- \* Une source d'énergie gratuite en hivers (qui entre dans le bilan énergétique du chauffage
- \* Une 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.

**Figure I.8:** les coordonnées solaires

Source: [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be)

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

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

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

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

### • ouverture et protections solaires :

Les ouvertures sont des lieux de passage de la lumière et de vues de paysages environnants, elles sont les lieux privilégiés pour les échanges de chaleur ; du moment qu'elles assurent à la fois, un apport de rayonnement solaire en hiver et préservent de surchauffement en été.

Leurs tailles et leur orientation sont parmi les facteurs les plus importants qui affectent la Performance thermique du bâtiment ainsi que La consommation énergétique.

<sup>21</sup> Givoni, B "l'homme, l'architecture et le climat" Edition de Moniteur, Paris 1978

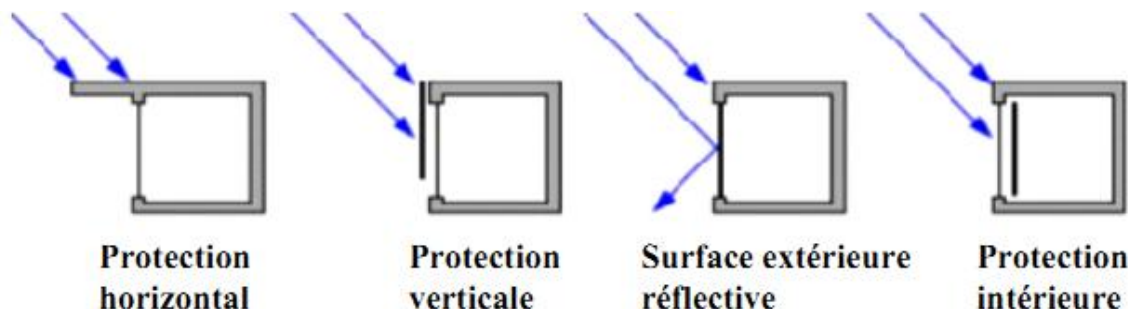
- **système de protections solaires :**

La conception d'une protection solaire, efficace et fondamentale pour qu'un bâtiment soit thermiquement et énergétiquement.

Elle doit répondre à une multiplicité d'objectifs tel que : la limitation des surchauffes et d'éblouissement, la gestion de l'éclairage naturel, elle peut également contribuer à l'intimité des occupants et l'esthétique des façades,

### 3.3 Les différents types de protections solaires:

De nombreux types de dispositifs de protections solaires existent, ils peuvent être structurales, fixes (porche, véranda, brises soleil), ou appliquées mobiles (stores, persienne, volets...) extérieurs ou intérieurs, verticaux ou horizontaux, ils peuvent être également liée à l'environnement tel que comme la végétation... ainsi les stratégies de l'ombrage et l'usage de contrôles Solaires appropriés est très important, la projection d'une ombres adéquate réduit se qui est un gaspillages inutile de l'énergie utilisée pour refroidir un espace à grande surface de vitrage sans protection, la figure indique quatre stratégies fondamentales de la projection d'une ombre , il est essentiel de comprendre les avantages et les inconvénients de chacune et de les appliquer correctement :



**Figure I.9:** Stratégies d'ombres

*Source:* MARSHA 1981

#### ✍ **Les protections fixes :**<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Institut Bruxelois pour la gestion de l'environnement "assure une bonne protection solaire, recommandation pratique "in guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits batiments, Belegique 2007

Les bâtiments équipés par des brise soleils adaptés seront protéger de la surchauffe, mais l'inconvénient c'est qu'ils offrent une protection différentes suivant la position du soleil, le local ne profite donc que peu des apports solaires en hiver, leurs dimensionnement doivent être correctement réalisé pou qu'il soit efficace. En générale les types les plus usuelles sont les suivantes:



AUVENT

**L'auvent** : constitué d'une avancée horizontale au dessus de l'ouverture : auvent, débord de toit, débord de dalle, balcon filant, 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.



FLANC

**Le flanc**: constitué par des pans verticaux à coté de l'ouverture: décrochement de façade, saillie de refend, écran à lame verticale, l'occultation est quasiment constante mais faible toute l'année en orientation sud, mais assez forte à l'est et à l'ouest en hiver.



LOGGIA

**La loggia**: combinée entre l'auvent et le flanc : tableau+ linteau de fenêtre, balcon filant+ séparation verticale, écran à lames croisées...La protection est bonne en été au sud et au sud ouest.

### ✎ Les protections mobiles :

#### ✓ Les protections extérieures mobiles:

IL s'agit de stores vénitiens (lamelles horizontales), de stores enroulables, de stores à lamelles (verticales)... disposés du coté extérieur de la fenêtre. Avec ce type, la protection solaire peut être adaptée constamment aux conditions extérieures et intérieures. Elles sont utilisées en fonction des besoins et permettant une protection



Photo I.1.<sup>23</sup>. Protections solaires extérieures

<sup>23</sup> 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 batiments, Belgique.2007

✓ **les protections intérieures mobiles :**

Stores extérieures, claustras, panneaux coulissants, elles sont utilisées suivant les besoins, elles permettent d'éviter le rayonnement direct, elles laissent en effet pénétrer le soleil dans les pièces, bénéficiant des apports solaires en hivers mais elles ne sont pas très efficace en été puisque ce rayonnement se transforme après en chaleur.

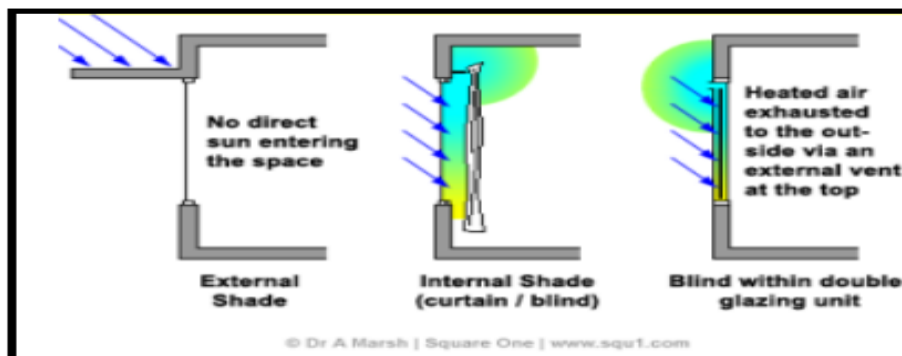


Figure I.10: vitesse du vent selon l'altitude et la nature du sol

Source: Alain Liébard, André de Herde 2005.

✓ **Système d'occultation naturelle (protection végétale) :**

Par la végétation (arbre à feuille caduque, plantes autour du bâtiment) on peut se protéger des rayonnements et leur feuillage persistant interceptent le rayonnement solaire d'atteindre les façades. De plus elle se comporte comme humidificateur réduisant la température de l'air par Évaporation. En hiver, ce type d'arbre perd leur feuillage et laisse pénétrer le rayonnement solaire.



✎ **l'orientation et les vents :**

Le vent est un déplacement d'air, essentiellement horizontale des zones de haute pression (masse d'air froid) vers les zones de basse pression (masse d'air chaud) .le vent se caractérise par sa vitesse moyenne et sa direction.

En effet les régimes des vents sont largement conditionnés par la topographie locale (vallées, pentes ...) et la rugosité des surfaces, des obstacles tel que : des écrans de végétation peuvent également freiner la vitesse des vents d'une façon significative la vitesse du vent.

Ces obstacles dont l'effet dépendent de leurs dimensions et de leur perméabilité, constituent diverses

obstructions et provoquent des modifications de la vitesse et la direction du vent. Ainsi son rôle dans les transferts de chaleur à la surface des parois et les échanges de chaleurs par convections.

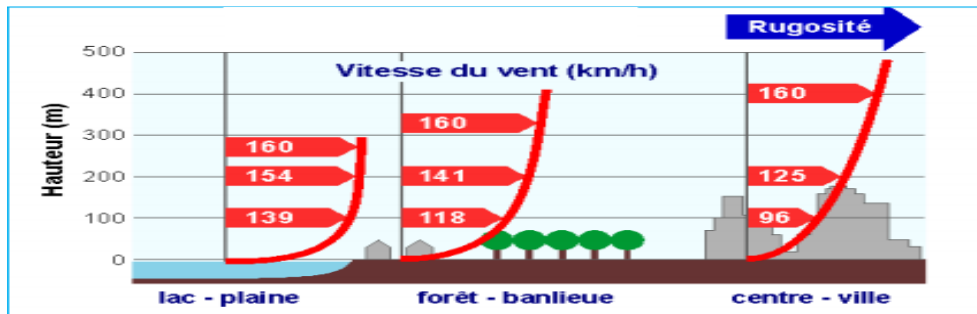


Figure I.11: vitesse du vent selon l'altitude et la nature du sol

Source: Alain Liébard, André de Herde 2005.

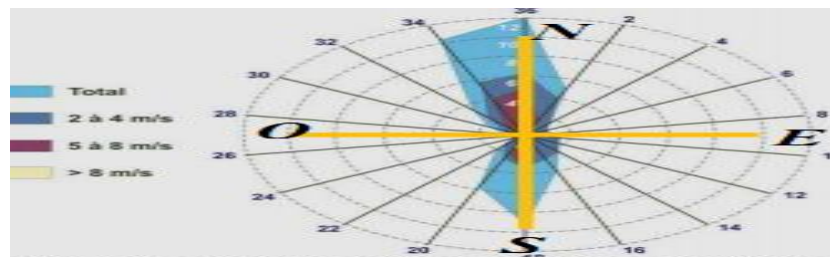


Figure I.12: La rose des vents

Source : Fernandez.P et lavigne.P "concevoir des batiment bioclimatique, fondement et méthode"

### 🔍 La ventilation naturelle :<sup>24</sup>

La ventilation naturelle est définie comme étant le mouvement d'air qui s'effectue à travers un espace sans l'influence d'appareillage mécanique.

La ventilation est intéressante car d'une part elle peut rapporter de la fraîcheur si l'air extérieur est plus froid que l'air intérieur, du côté énergétique elle permet un mouvement d'air qui joue sur le confort thermique car il accroît les échanges 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 la qualité de l'air intérieur.

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.

<sup>24</sup> Gandemer, Guyot "intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti" 1976



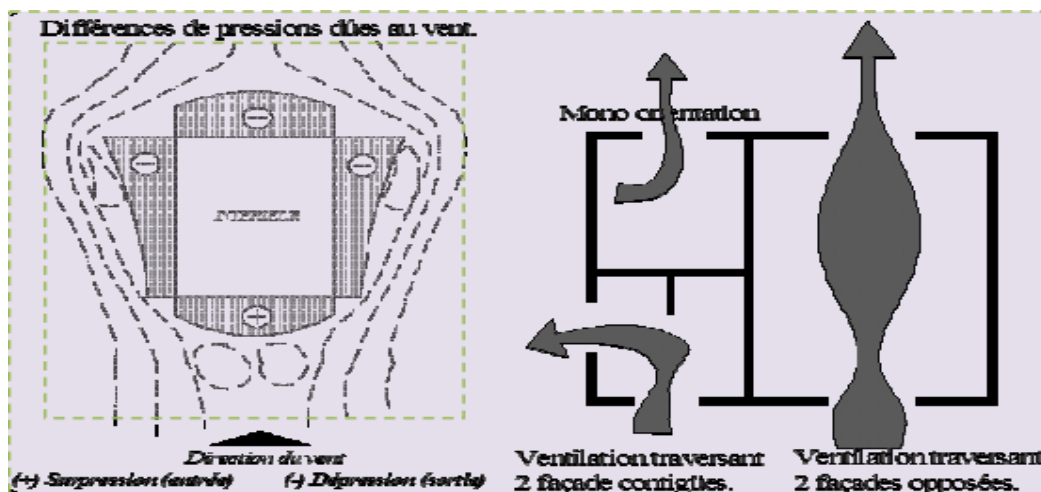


Figure I.13: les facteurs de la ventilation naturelle

Source: Gandemer, Guyot "intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti" 1976

IL existe plusieurs modes de ventilation naturelle dans les bâtiments, les trois principaux sont:

- ✓ la ventilation naturelle traversant (deux ouvertures-deux façades)
- ✓ la ventilation de simple exposition (par une seule façade-une ou deux ouvertures dans le même mur)
- ✓ la ventilation par tirage thermique (effet de cheminée)

#### ☞ L'éclairage naturel :

Laisser largement entrer la lumière du jour pour favoriser un éclairage naturel abondant, tout en veillant aux risques d'éblouissement.

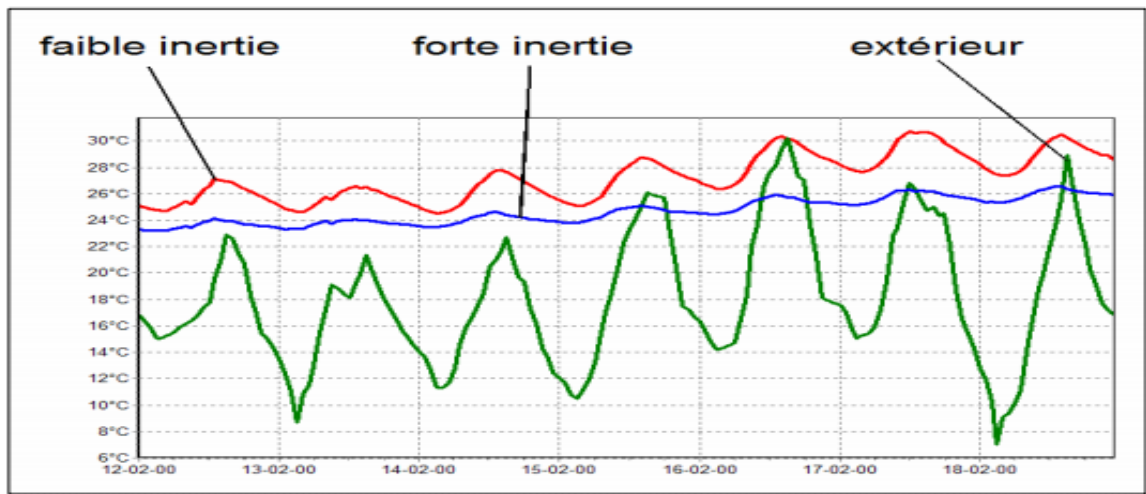
#### ☞ L'inertie thermique :<sup>25</sup>

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

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

<sup>25</sup> Collection technique CIMBETON "Béton et confort thermique" revue technique du centre d'information sur les ciment et ces applications, n°B 40, France 2007

Une inertie suffisante génère du confort et une économie d'énergie.



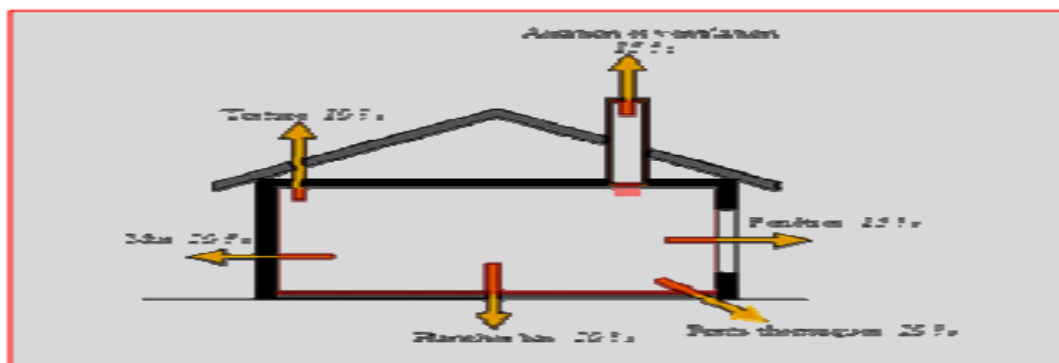
**Figure I.14 :** évolution des températures dans une maison individuelle pour trois niveaux d'inertie

Source : Peuportier.B et Thiers "des éco-technique à l'éco-conception "

### 3.4 Le choix des matériaux et l'isolation thermique:

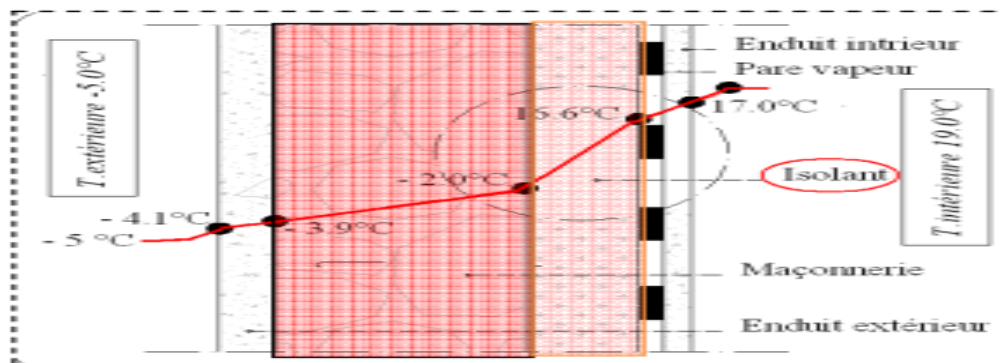
Le choix des matériaux doit se tourner vers des matériaux renouvelables, sains, locaux et surtout isolant.

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



**Figure I.15.**répartition moyenne des déperditions dans une maison individuelle neuve

Source : CHABI Mohamed " étude bioclimatique du logement sociale participatif de la vallée du M'zabs"



**Figure I.16:** variation de la température dans une paroi isolée.

Source: Ibid. p 164

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 et de rafraîchissement (limite les déperditions en hivers et les apports de chaleur en été). Et d'accroître le confort (maintient les températures et l'hygrométrie et règle les problèmes des parois froides en hiver et chaudes en été).

De nombreux produits isolants existent aujourd'hui, aussi bien au niveau de leurs composants (laines minérale, laines végétale, isolants minces...)



Fibre de bois en panneau



Laine de verre en rouleau



Laine de roche panneau rigide.

Photo I.1:<sup>26</sup>.Matériaux isolant

## 4. Les stratégies bioclimatiques pour améliorer l'efficacité énergétique:

### 4.1 Système de chauffage solaire passif:<sup>27</sup>

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.

<sup>26</sup> Langlais et Klarsfeld. «Isolation thermique à température ambiante .Propriété "technique de l'ingénieur. document n° c3 371.France.

<sup>27</sup> De Herde.A et liebard.A "guide de l'architecture,T4 système solaires" l'observatoire des energies renouvelable France .2002

Les principes de la stratégie du chaud (ou système de chauffage solaire passif) sont les suivants : capter les rayons solaires, stocker l'énergie, distribuer cette chaleur dans le bâtiment réguler cette chaleur et enfin éviter les déperditions due au vent.

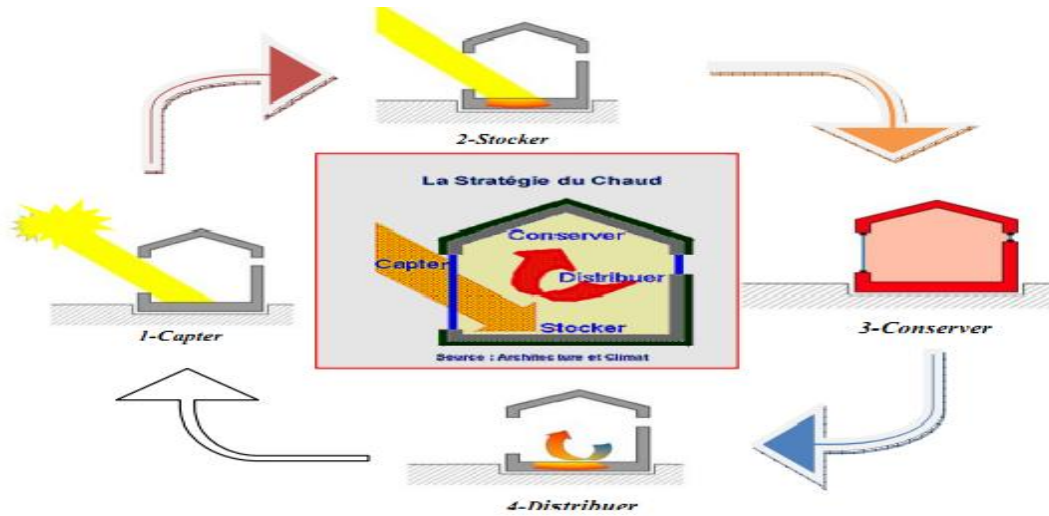


Figure I.17 .concepts de la stratégie du chaud

Source : De Herde.A et liebard.A op cit

#### 4.2 Systèmes de rafraîchissement passif (confort d'été)<sup>28</sup>:

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 et des apports de chaleur , de minimiser les apports internes, de dissiper la chaleur en excès et enfin de refroidir naturellement.

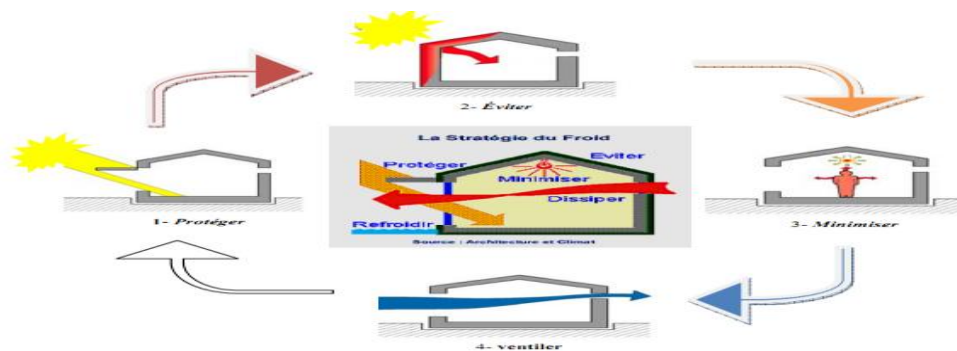


Figure I.18 ::concepts de la stratégie du froid.

Source : Ibid., p 57

<sup>28</sup> De Herde.A et liebard.A "guide de l'architecture,T4 système solaires" l'observatoire des energies renouvelable France .2002

## 5. Le confort thermique pour optimiser l'efficacité énergétique:

### 5.1 La notion du confort thermique:

La notion du confort thermique désigne l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et son environnement ou l'individu est considéré comme un élément du système thermique<sup>29</sup>.

### 5.2 Les échanges thermiques:

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

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

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

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

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

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

### 5.3 Les paramètres affectant le confort thermique:

La sensation du confort thermique est en fonction de plusieurs paramètres

<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.3.** Paramètre influents sur la sensation de confort thermique

**Source :** Houffman J B "ambiace climatise et confort thermique"

<sup>29</sup> Cantine R et al, "complexité de confort thermique dans les bâtiments "in acte du 6<sup>eme</sup> congrée européen de science des systèmes, tenu a paris du 19 au 22 septembre 2005.

☞ **paramètres lié à l'ambiance extérieure :**

- ✓ la température de l'air ambiant
- ✓ La vitesse de l'air
- ✓ L'humidité relative de l'air

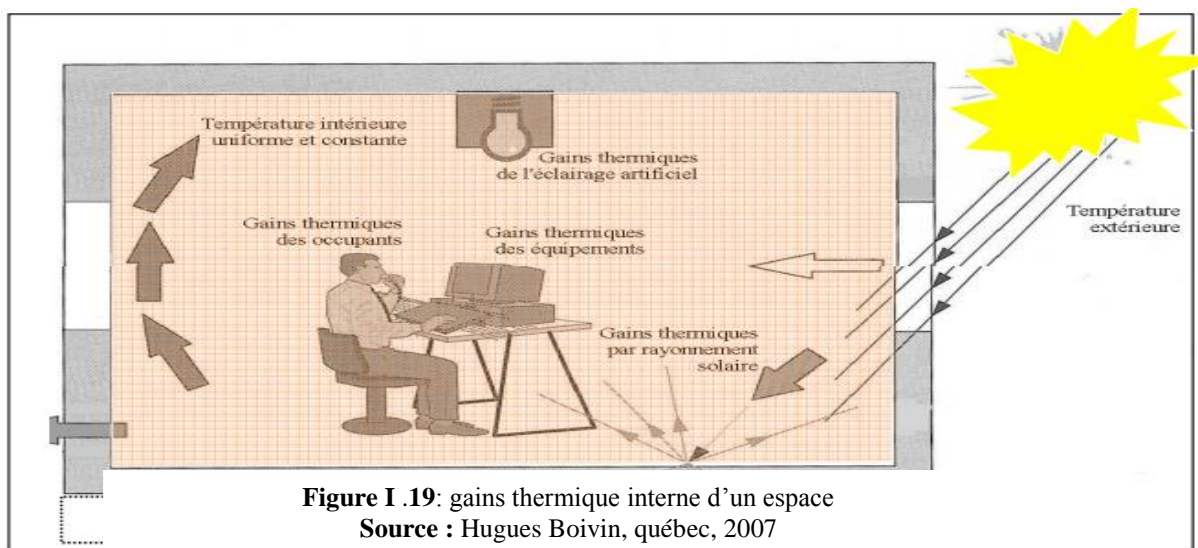
☞ **Paramètre lié a individu:**

- ✓ La vêtture
- ✓ L'activité (métabolisme)

☞ **Paramètre lié aux gains thermiques internes:**<sup>30</sup>

Avec l'essor de la technologie et des besoins électriques, les apports de chaleurs internes ont fortement augmenté, les appareils électriques transforment en effet quasiment toute l'énergie qu'ils consomment en chaleur.

Les apports internes comprennent donc toute qualité de chaleur générer dans l'espace par des sources internes autre que le système de chauffage.



**Figure I .19:** gains thermique interne d'un espace  
**Source :** Hugues Boivin, québec, 2007

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

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

- l'émissivité de la surface " et qui dépend de la couleur et la rugosité de la surface"
- Le mouvement de l'air à la surface.

<sup>30</sup> Izard -L "l'architecture d'été construire : pour le confort d'été "Edition Edisud 1994.

- L'orientation de la surface.

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

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

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

### 5.5 Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique:

#### 🔗 le diagramme bioclimatique :<sup>31</sup>

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 telle 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)

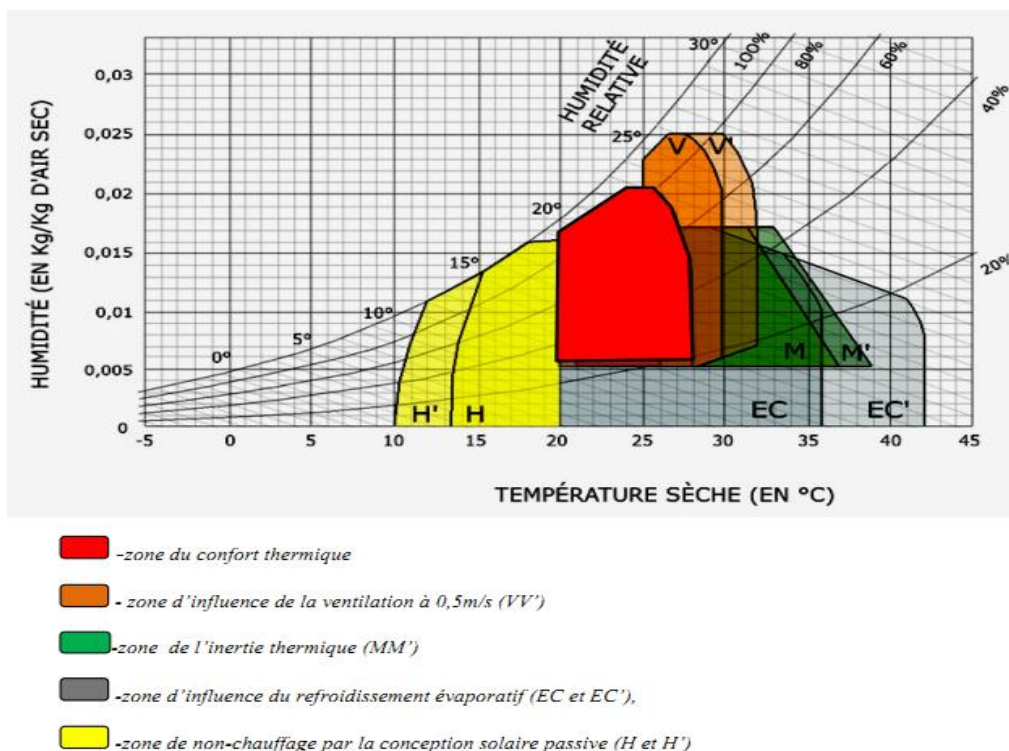


Figure I.20<sup>32</sup>: diagramme bioclimatique

#### 🔗 le diagramme de Givoni :<sup>33</sup>

<sup>31</sup> Ibid., p 28.

<sup>32</sup> Izard, J.-L. Kacala, O "le diagramme bioclimatique "environbat- méditerrané ,laboratoire abc,Ensa-Marseille,2008 télécharger à partir du site <http://www.marseille.archi.fr/~izard/>.2008.

<sup>33</sup> The démonstration component of the joule thermie programme european commission thermie.

Se basant sur les études antérieures d'Olgay, givoni a élaboré une méthode expérimentale où il représente les limites des ambiances confortables, il présente une méthode plus performante dans l'évaluation des exigences physiologiques du confort.

Il définit le confort en considérant la personne en état d'activité, l'effet de variation climatique de l'environnement extérieur peut être réduit au minimum, il a alors mis aux point un outils synthétisant les zones thermo-hygométriques et les moyens d'intervention par des dispositifs architecturaux ou techniques qui peuvent être utilisés pour remédier aux sollicitations du climat.

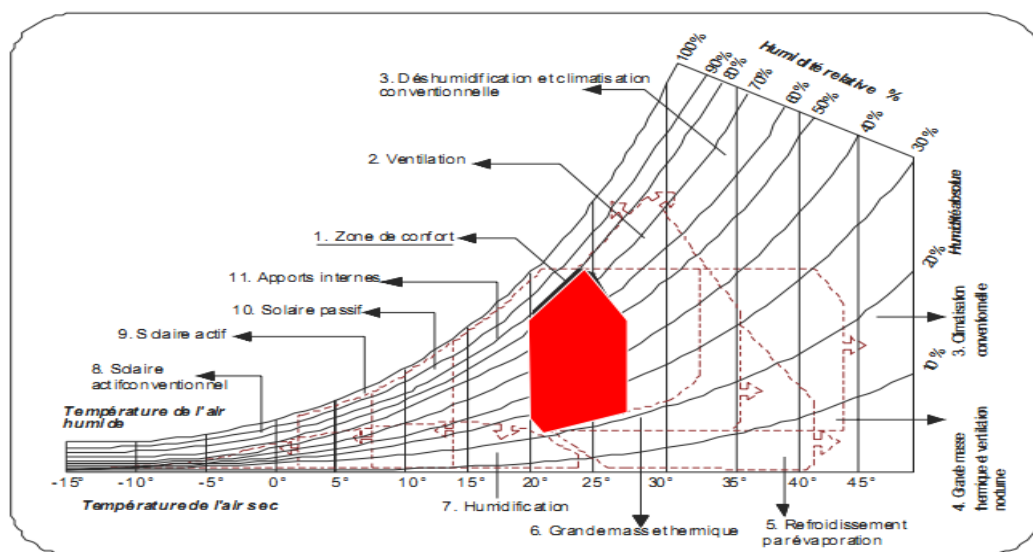


Figure I.21: <sup>34</sup> Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de givoni

☞ **table de mahoney**<sup>35</sup> :

Carle mahoney a développé une méthode de traitement des données climatique très simple constitué d'une suite de tableau.

Ils sont une série de tableaux de référence d'architecture utilisée comme guide pour obtenir des bâtiments confortables. Adaptés aux conditions climatiques, ils sont constitué de six tableaux, quatre sont utilisées pour entré les données climatiques:

1. Températures : moyennes mensuelles des températures maximales et minimales
2. Humidité : précipitation et vent
3. Comparaison des limites de confort et du climat
4. Indicateurs: par combinaisons des données des tables précédentes.

<sup>34</sup> Izard, J-L. Kacala, O "le diagramme bioclimatique "environbat- méditerrané ,laboratoire abc,Ensa-Marseille,2008 télécharger à partir du site <http://www.marseille.archi.fr/~izard/>.2008.

<sup>35</sup> Ibid p.31



Les deux autres tableaux indiquent les recommandations architecturales à respecter telles que la forme et l'orientation, les dimensions ou l'exposition des ouvertures...

Cette méthode va aider largement l'architecte en la phase d'esquisse.

**Conclusion :**

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

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

# CHAPITRE II

La simulation numérique dans  
l'efficacité énergétique

---

**Introduction:**

Les outils de simulation thermique simplifiés permettent de décrire sommairement le bâtiment et d'effectuer des bilans énergétiques. Ils sont souvent utilisés à des fins plutôt professionnelles et réglementaires. Ils peuvent servir pour le dimensionnement d'équipements ou la vérification de normes applicables. Parmi ces outils, on peut citer le 3CL-DPE, qui permet d'effectuer des diagnostics de performances énergétiques (DPE) ou bien le PHPP permettant la conception et la certification du label Passivhaus. Les outils de simulation dynamique sont plus complexes d'utilisation. Ils ont une application beaucoup plus scientifique et sont très utilisés par les chercheurs et les concepteurs de bâtiments. A la différence des outils simplifiés, les logiciels de simulation dynamique prennent en compte la variation des paramètres tels que les gains solaires, les températures, les sources internes de chaleur, les caractéristiques de l'enveloppe, l'inertie du bâtiment, l'interaction avec l'environnement externe et interne en fonction des données météorologiques et des paramètres d'occupation.

## 1. Simulation Thermique Dynamique:<sup>36</sup>

La **Simulation Thermique Dynamique** (STD) est une simulation temporelle du comportement thermique du bâtiment, réalisée sur toute l'année, qui permet donc de caractériser aussi bien les besoins de chaud en hiver que de rafraîchissement en été.

En science et en ingénierie, la **simulation thermique dynamique** (STD) désigne le calcul de l'évolution temporelle de l'état thermique d'un système utilisant un modèle numérique approché de l'objet réel: par défaut, on obtient, à tous les instants choisis de la simulation, la température en un certain nombre de points des éléments le composant et qui évoluent selon les différentes lois régissant les échanges thermiques (**convection**, **conduction**, **rayonnement**, **changement d'état**). La simulation thermique dynamique peut être appliquée à différents types de systèmes; par exemple, un four, un moteur, un bâtiment. Le concept de Simulation Thermique Dynamique est plutôt ainsi utilisé dans le domaine du bâtiment, par opposition aux nombreuses méthodes de calcul simplifiées employées depuis les années 70 qui ne prenaient pas en compte ou très mal la dynamique des évolutions.

Plus spécifiquement dans le bâtiment, la simulation thermique dynamique permet d'estimer les consommations réelles d'énergie, en tenant compte de l'enveloppe du bâtiment et de son inertie, des systèmes énergétiques (y compris les appareils électriques non thermiques), du comportement des occupants, et du climat local. L'étude est faite au pas de temps horaire.

Avec l'accroissement des exigences de performance énergétique et environnementale sur les nouveaux bâtiments, la STD est de plus en plus intégrée au processus de conception des bâtiments. Elle peut aussi être mise en œuvre dans le cas de rénovation. D'autre part, les bailleurs sociaux, les collectivités territoriales et d'autres organisations peuvent exiger qu'une simulation thermique dynamique soit intégrée à la conception de bâtiments pour lesquels un appel à concours est lancé. Par exemple, les simulations thermiques dynamiques sont très utilisées en climat méditerranéen, où le confort d'été doit être aussi bien pris en compte.

### 1.1 Les principes:

L'évaluation fine des besoins énergétiques du bâtiment en tenant compte des apports passifs (puissance dissipée par les occupants ou les matériels, soleil...) est faite par un logiciel (ECO2 Initiative utilise [Comfie-Pléiade](#)) qui utilise les informations suivantes :

- Une **description 3D** des bâtiments, définissant le plan précis (au cm), la composition des parois et menuiseries, l'orientation...

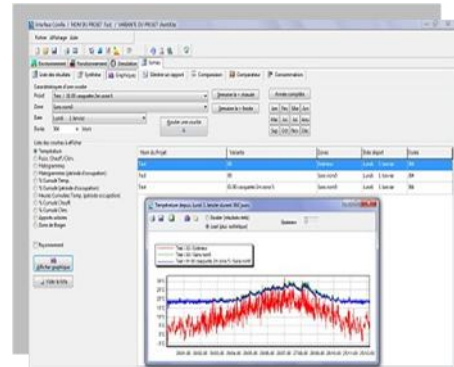
<sup>36</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Simulation\\_Thermique\\_Dynamique#p-search](http://fr.wikipedia.org/wiki/Simulation_Thermique_Dynamique#p-search)

- La définition du **climat** local, et des masques proches (ombres portées des reliefs, de la végétation, ou des bâtiments voisins).
- La mise au point de **scénarios** pour le fonctionnement des différentes zones du bâtiment: occupation des usagers, ventilation, chauffage, climatisation...

### 1.2 L'intérêt:

Sur la base de scénarios d'occupation réalistes fonction du type de construction (logements, bureaux, usine...), ces outils permettent la réalisation d'études paramétriques permettant de chiffrer très précisément les gains à attendre des différents choix de conception:

- ☞ Orientation du bâtiment
- ☞ Dimension et qualité des vitrages
- ☞ Epaisseur d'isolant
- ☞ Nature des matériaux de construction
- ☞ Utilisation d'un puits canadien



En outre, la simulation de périodes de grand froid

ou de canicule dans la localité considérée peut orienter vers certains choix énergétiques.

### 1.3 Typologie des méthodes de modélisation:<sup>37</sup>

Devant la multitude des méthodologies, il s'avère intéressant d'effectuer une classification afin de déterminer le degré de précision et d'adaptation de chaque méthode. Cette classification ne sera pas parfaite dans la mesure où la frontière entre deux niveaux de modélisation n'est généralement pas bien marquée. Nous allons les regrouper en trois catégories de type boîte noire, boîte blanche et boîte grise.

#### ➤ Modèles boîte noire

Le fonctionnement interne n'est pas décrit. Ce type de modèle permet tout simplement une Résolution numérique du problème sans fournir d'interprétation physique. La méthode de résolution est basée sur des relations empiriques qui lient les paramètres d'entrée et de sortie. Ces relations sont le produit d'une analyse de régression qui nécessite des mesures expérimentales. En outre, on obtient un modèle très simple, des résultats précis en un temps de calcul réduit.

Les modèles boîte noire ont montré leurs limites quant à la nécessité des mesures expérimentales qui requièrent des moyens importants. De plus, l'étude d'optimisation n'est

<sup>37</sup> . ABDELATIF Merabtine «Modélisation Bond Graphs en vue de l'Efficacité Énergétique du Bâtiment» recherche pour obtenir le grade de Doctorat, Université de Lorraine, novembre 2012.

pas basée sur une compréhension physique des phénomènes. Elle n'est donc pratique que dans le cas d'une prédiction du comportement thermique du bâtiment pour un éventuel dimensionnement. L'inconvénient de ce type de modèles est leur manque de flexibilité:

➤ **Modèles boîte blanche**

Contrairement aux modèles boîte noire, les modèles boîte Blanche se basent sur la physique et décrivent de façon explicite le système. Ils sont issus des phénomènes qui régissent le processus à l'aide de connaissances théoriques. De ce fait, Ils ont une valeur prédictive et explicative. Ces modèles sont généralement basés sur une discrétisation zonale du volume d'air et une résolution des équations de bilan d'énergie au sein des zones et a la surface des parois du bâtiment. Jusqu'au présent, les modèles boîte blanche sont généralement les plus utilisés pour deux avantages principaux. Pour leur flexibilité: comme tous les processus physiques sont complètement décrits, la structure du modèle peut être modifiée et manipulée sans avoir à modéliser de nouveau. Pour leur réalisme

Ils décrivent le comportement du système de la façon la plus proche de la réalité, par conséquent des résultats plus précis sont générés. De plus ils permettent une analyse de sensibilité complète et une bonne compréhension de la physique du bâtiment. Toutefois, ils sont les plus complexes à réaliser, puisque ils contiennent très peu d'approximations et requièrent donc un grand nombre de paramètres. Par conséquent, ils nécessitent des temps de calcul importants et des ordinateurs performants.

➤ **Modèles boîte grise**

Situés à mi-chemin entre les modèles boîte noire et les modèles boîte blanche, les modèles boîte grise combinent le sens physique et l'esprit des modèles simples. En effet, ils nécessitent des moyens informatiques moins lourds que ceux requis par les modèles boîte blanche et présentent une meilleure flexibilité.

-Leur avantage par rapport aux modèles boîte noire revient à leur intégration de modèles se rapprochant davantage de la physique.

Ainsi, leurs principaux avantages s'articulent autour des points suivants:

- Une compacité et une simplicité de construction du modèle vu le nombre réduit de paramètres.
- Une analyse de sensibilité plus pratique.
- Une meilleure flexibilité qui rend facile à manipuler le modèle et son niveau de modélisation.
- Les modèles boîte grise permettent de minimiser le nombre de paramètres tout en gardant un haut niveau de précision. De plus, ils sont plus modulaires favorisant une plus grande réutilisabilité.

#### 1.4 Modèles de connaissance:

##### ➤ Modèles mono zones :

Les modèles mono zones sont des modèles simples. On considère le bâtiment comme une seule zone ayant des propriétés physiques uniformes (température, pression, humidité relative, etc.).

Ils nécessitent très peu d'informations liées à l'enveloppe ou aux systèmes de chauffage, de rafraîchissement et de ventilation. Par conséquent, ils permettent d'avoir un ordre de grandeur sur les consommations énergétiques. Néanmoins, ils ne sont pas adaptés aux évaluations du confort.

De plus, ils s'avèrent très insuffisants si des écarts importants de température existent entre les différentes parties du bâtiment ou si une information plus locale est demandée.

##### ➤ Modèles multizones

Particulièrement adaptés pour simuler le mouvement de l'air et la distribution des espèces (polluants divers, vapeur d'eau...), les modèles multizones traitent le bâtiment comme un ensemble de zones parfaitement et instantanément mélangées. Ils prédisent le comportement thermique et aéraulique du bâtiment grâce à une application des équations de conservation de la masse, de l'énergie. Ces modèles ont été utilisés pour le dimensionnement des systèmes de ventilation, l'étude et l'analyse des mouvements de l'air intérieur et la simulation aéraulique des fumées en cas d'incendie.

Cependant, à l'instar des modèles mono zones, de fortes hypothèses, relatives à l'homogénéisation de l'air intérieur, ont été adoptées. En effet, ces modèles rencontrent des limites dans le cas d'une forte hétérogénéité de l'air à l'intérieur de la zone notamment pour les bâtiments ayant des espaces internes volumineux.

##### ➤ Modèles zonaux :

L'hypothèse d'homogénéisation des propriétés physiques utilisée par les modèles mono zones et multizones n'est pas valide pour les bâtiments ayant des grands espaces intérieurs ou une stratification de l'air est engendrée. Pour pallier à ce problème, la méthode zonale est utilisée.

Cette méthode consiste à décomposer la zone elle-même en un petit nombre de volumes (généralement inférieure à 1000 cellules) sous forme cubique ou parallélépipédique. Ainsi, elle permet de décrire le comportement énergétique au sein du bâtiment d'un niveau plus détaillé que celui des deux catégories précédentes. Une résolution des équations de Conservation de la masse et de l'énergie, appliquées sur chaque cellule, est réalisée pour déterminer les propriétés de l'air intérieur.



### ➤ **Modèles de code de champ (CFD)**

Parmi les modèles de connaissance déjà cités, aucun n'offre la possibilité de détailler la physique du bâtiment avec un niveau de précision aussi élevé que celui des modèles de code de champs (CFD). Les modèles CFD se basent sur une résolution numérique des équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement, de l'énergie, permettant de suivre en détail l'évolution des mouvements d'air, de température intérieure, de la pression et de l'humidité relative.

Les modèles CFD ont été largement utilisés pour étudier le comportement thermique et aérodynamique des bâtiments (tertiaires et résidentiels). Chen a recensé le nombre de travaux de recherche publiés utilisant l'approche CFD pour les phénomènes énergétiques au sein du bâtiment.

L'inconvénient principal de cette catégorie de modèles de connaissance est le temps de calcul important et la nécessité de machines de calcul puissantes.

## **2. Définition des outils de simulation:**

Les outils de simulation permettent l'étude de l'impact de choix architecturaux et solutions techniques (orientation, géométrie, choix des matériaux, de systèmes énergétiques...) sur les consommations d'énergie d'un bâtiment et le confort des usagers. L'utilisation fine de ceux-ci permet d'orienter le maître d'œuvre et/ou maître d'ouvrage tout au long du projet. Ces outils facilitent ainsi la prise de décision pour aboutir à la solution la plus efficace possible.

Les outils traitent des thèmes variés. Les études peuvent ainsi porter sur l'acoustique, la thermique du bâtiment, la lumière naturelle, l'aspect réglementaire, le potentiel de site, l'analyse d'impact environnemental.

### **2.1 Exemple de logiciel de simulation:**

#### **2.1.1 CoDyBa :**

##### **2.1.1.1 Définition du logiciel CoDyBa? (Code de simulation Dynamique de Bâtiments) <sup>38</sup>:**

CoDyBa est un outil de simulation conçu afin de prévoir le Comportement Dynamique des Bâtiments. Il analyse l'influence des paramètres comme la régulation, l'inertie et l'orientation du bâtiment...



<sup>38</sup> Petit Amélie, Nimaga Fatoumata, Medou Delphin« Analyse de confort thermique dans CoDyBa» IUP M1 GSI Maîtrise de l'énergie, université de Rouen, année universitaire 2007-2008.

CoDyBa demeure un outil efficace dans la mesure où il permet de faire varier les différents paramètres indépendants du modèle de bâtiment et d'évaluer leur influence.

A ses fonctions précédemment citées, le logiciel est utilisé pour analyser les performances thermiques des bâtiments suivant des conditions climatiques variées. Il permet d'établir des études de chauffage et de refroidissement d'air ou de ventilation en laissant à l'utilisateur la possibilité de faire varier les éléments liés à la géométrie des zones ainsi que les choix des matériaux d'isolation. La principale issue des simulations est de prédire la consommation énergétique du bâtiment avec l'évolution temporelle de la température, humidité ainsi que les puissances de chauffage ou refroidissement nécessaires (puissance latente, sensible) pour maintenir une consigne de température ou d'humidité.

#### 2.1.1.2 Objectif :<sup>39</sup>

L'objectif principal de CoDyba est la prédiction de la consommation d'énergie et des amplitudes de variation de température et d'humidité. a cet effet, il détermine à un instant donné la puissance de chauffage ou de refroidissement nécessaire pour maintenir une consigne donnée, ou les températures intérieures quand le chauffage ou la climatisation deviennent insuffisants. L'humidité est traitée de la même manière.

#### 2.1.1.3 Historique et versions :<sup>40</sup>

CoDyBa a été créé en 1984 par le **CETHIL**<sup>41</sup> suite à la thèse de Jean-Jacques Roux. Cependant la refonte complète de l'existant a été entreprise par Jean NOËL en 1999 avec le passage sous Windows. L'objectif de cette refonte était de mettre au point un outil simple, fiable, évolutif et destiné à une large gamme de public non professionnel. Ces développements effectués de 1999 à 2003 ont abouti à la version V6.3 qui se limite à une seule zone (mono zone) ou multizone dans le cas où le bâtiment est traité par assemblage de zones.

A partir de 2004, les efforts ont porté sur l'abaissement de la place mémoire nécessaire et sur le temps de calcul, ainsi que sur la validation systématique de CoDyBa. Ainsi le benchmark BESTEST (Judkoff et al., 1995) de l'Agence Internationale de l'Energie est passé avec succès.

---

<sup>39</sup> Petit Amélie, Nimaga Fatoumata, Medou Delphin « Analyse de confort thermique dans CoDyBa » IUP M1 GSI Maîtrise de l'énergie, université de Rouen, année universitaire 2007-2008.p 8.

<sup>40</sup> Ibid., p 8

<sup>41</sup> . Centre d'Energétique et de Thermique de Lyon.

En 2005 on assiste à la sortie de la version V 6.4 qui est la version de transition entre l'ancienne mono zone et une où le bâtiment est traité dans son intégralité sans être décomposé en zones thermiques.

La version la plus récente multizone de CoDyBa (ou KoZiBu, successeur prochain de CoDyBa) introduit le confort thermique dans ses paramètres de sortie et est pour l'instant non diffusée. Elle est encore à un stade d'étude en raison de la complexité de cette notion de confort thermique mais aussi des multitudes de paramètres influant sur cette notion.

#### 2.1.1.4 Les différents utilisateurs :<sup>42</sup>

CoDyBa est destiné aux thermiciens, aux architectes et consultants dans le domaine des constructions HQE (Bureaux d'Etudes,...). Les BE peuvent y avoir recours pour le dimensionnement des installations de chauffage ou climatisation selon les matériaux utilisés pour la construction et le niveau d'inertie du bâtiment. Il n'est pas nécessaire d'avoir une connaissance des phénomènes physiques ou thermiques mais cependant cela peut se révéler utile dans l'analyse des résultats.

#### 2.1.1.5 Les données de base (paramètres d'entrée/sortie) :

##### ☞ La description de Codyba :

##### ➤ Les paramètres d'entrée/sortie<sup>43</sup>

**En entrée** comprennent généralement la géométrie du bâtiment ainsi que sa constitution. On entend par constitution les volumes d'air, les murs avec les différents matériaux et caractéristiques thermiques et de même que les fenêtres. Les principaux paramètres pris en compte sont la météo, les régulateurs de température et d'humidité et les charges internes qui comprennent les personnes, équipements, éclairage.

**En sortie**, on obtient pour chaque volume d'air les puissances latentes et sensibles nécessaires, les températures d'air et radiante et l'humidité relative. Et pour les surfaces, on a les flux solaires reçus.

Une sélection de ces sorties est possible pour éviter l'engorgement des fichiers de résultats.

---

<sup>42</sup> Petit Amélie, Nimaga Fatoumata, Medou Delphin « Analyse de confort thermique dans CoDyBa » IUP M1 GSI Maîtrise de l'énergie, université de Rouen, année universitaire 2007-2008.p 8.

<sup>43</sup> Jean NOËL, Jean-Jacques ROUX et Joseph VIRGONE " présentation et perspectives du logiciel codyba" Ingénieur Free Lance (JNLOG) – 15 place Carnot 69002 Lyon

### ☞ **Comment ça marche:**<sup>44</sup>

CoDyBa est basé sur l'assemblage de briques simples pour former un bâtiment complexe avec ses équipements. A l'aide de l'interface graphique, l'utilisateur construit un modèle de son bâtiment en utilisant des éléments de base (volumes d'air, murs, fenêtres). Avec l'interface, l'utilisateur peut ajouter à son modèle de bâtiment des charges internes et des éléments de régulation, et réaliser ensuite des calculs thermiques.

L'écran principal du bâtiment ressemble à l'Explorateur de Windows. Le bâtiment doit être décrit précisément : la description du bâtiment se fait grâce à l'interface graphique, qui contient une **arborescence du bâtiment**, ressemblant à celle de l'Explorateur de Windows. L'arborescence du bâtiment est utilisée pour décrire la structure générale du bâtiment. L'utilisateur peut choisir d'afficher différents niveaux d'information ou de zones thermiques. Dans l'interface, chaque "entité" est associée à une représentation graphique, qui permet de la manipuler par des opérations de type "copier/coller" et "glisser/déposer". L'explorateur permet d'atteindre et d'éditer chaque entité.

Les entités de saisie sont celles couramment utilisées par les thermiciens, tandis que les modèles de calcul sont traités de façon transparente.

CoDyBa ne met pas de limite au nombre de volumes d'air (zones thermiques) : il peut simuler un bâtiment de taille quelconque. La vraie limite est le temps nécessaire aux saisies.

### ☞ **Les Modèles traités :**<sup>45</sup>

#### ➤ **Modèles physiques**

Les algorithmes numériques de CoDyBa sont spécifiques, mais les modèles physiques sont ceux communément admis:

Chaque volume d'air peut contenir un nombre quelconque de régulateurs de température (chauffage/climatisation) avec leur propre puissance et consigne. Puissance, consigne et activité sont donnés heure par heure, pour un jour ou une semaine. L'humidité est traitée de la même façon. En l'absence de régulation, la température et l'humidité évoluent librement. Les régulateurs sont supposés avoir une efficacité parfaite. Prise en compte de la température radiante moyenne.

Le modèle utilisé par codyba tient en considération les données suivantes :

- ✓ Les couches (matériau et épaisseur), azimut, inclinaison, etc.

---

<sup>44</sup> <http://www.jnlog.com/codyba1.htm>

<sup>45</sup> <http://www.jnlog.com/codyba1.htm>

- ✓ Calcul de chaque température de surface (paroi et fenêtre), ce qui permet une évaluation du confort thermique (autrement très simplifié).
- ✓ L'occupation des locaux est intégrée.
- ✓ Charges internes et régulateurs peuvent avoir des puissances ou des paramètres de contrôle fonction du temps.
- ✓ Prise en compte des coefficients d'absorption et d'émission pour chaque paroi.
- ✓ Prise en compte des masques lointains et proches.
- ✓ La météo utilisée est heure par heure.
- ✓ La ventilation est faite actuellement avec l'extérieur dans les versions commerciales.
- **Validation** La référence BESTEST (Agence Internationale de l'Energy) a été passée avec succès. Ce benchmark est le plus précis et le plus fiable qui existe actuellement. Ainsi CoDyBa peut simuler les performances des 155 géométries du benchmark, et dans presque tous les cas est en accord avec les résultats des programmes de référence.
- **Forces** Pas de limitation au nombre de volumes d'air (zones thermiques), simplicité d'utilisation, facilité de saisie des données, calcul multizones, vitesse de calcul.
- **Faiblesses** Les équipements sont modélisés simplement (puissance maximum, consigne, activité). Manque de saisie globale de la Les écrans des régulateurs et des charges internes sont: géométrie.
- **Matériels** Une bibliothèque de matériaux prédéfinis existe :

Nom	Conductivité...	Capacité...	Masse vol...	T
Matériau de Sol	2	1100	1800	
Argile ou limon	1.5	1500	2100	
Sable et gravier	2	1050	1950	
Isolant sous Planc...	0.04	900	100	
Isolant Chape	0.02	900	100	
Laine de verre den...	0.038	657	52	
Laine de verre den...	0.036	950	64	
Polystyrène densit...	0.029	1220	29	
Polystyrène densit...	0.04	1380	25	
Bois naturels 'durs'...	0.11	1900	370	
Bois naturels 'durs'...	0.255	2700	1100	
Bois naturels 'tendr...	0.11	350	350	
Bois naturels 'tendr...	0.16	740	650	
Panneau de partic...	0.102	1300	580	
Panneau de partic...	0.135	1300	800	
Panneau de partic...	0.170	1300	1000	
Terre cuite	0.15	1000	1700	
Terre cuite isolante	0.1	1000	1700	
Plaque de plâtre	0.25	1000	825	
Maçonnerie isolant...	0.3	800	1300	
Maçonnerie isolant...	0.2	800	1300	
Maçonnerie coura...	0.7	800	1300	
Béton cellulaire	0.15	1000	400	
Béton d'argile exp...	0.2	1000	600	
Béton plein	1.8	1000	2200	
Béton	2	1000	2450	

Figure II.1: la bibliothèque des matériaux

Source: <http://www.jnlog.com/codyba1.htm>

- **Régulateurs** Climatisation. Eclairage.

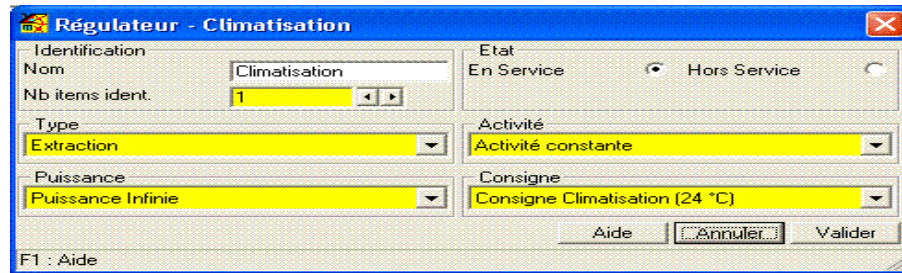


Figure II.2: L'écran de régulateurs-climatisation

Source: <http://www.jnlog.com/codyba1.htm>

- **Résultats :** Les résultats sont fournis sous la forme de courbes en fonction du temps (le pas de sortie est choisi par l'utilisateur). Un traceur intégré permet de les visualiser rapidement, et une exportation au format Excel est possible.

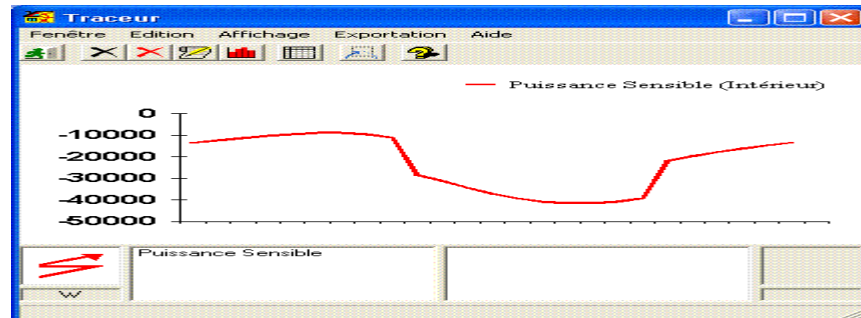


Figure II.3: l'écran de traceur (puissance sensible)

Source: <http://www.jnlog.com/codyba1.htm>

- **Météo :** Le logiciel est fourni avec les fichiers météo de 10 villes de France (Agen, Ajaccio, Carpentras, La Rochelle, Limoges, Macon, Millau, Nancy, Rennes, Trappes). Un outil permet de définir des météos particulières



Figure II.4 : l'écran de météo

Source : <http://www.jnlog.com/codyba1.htm>

### 2.1.2 TRNSYS :

#### 2.1.2.1 Définition :<sup>46</sup>

TRNSYS est un programme de simulation numérique de systèmes électriques, thermiques, hydrauliques etc.... Il a été développé en 1975 par un groupe composé d'universités et de centres de recherche. TRNSYS à une structure modulaire qui lui confère une grande flexibilité, son interface graphique que l'on trouve dans le Studio de simulation permet l'interconnexion de plusieurs composantes pour simuler un système complexe. L'avantage est que ces composantes peuvent être communes à différents systèmes. Cependant, les performances de chacune des composantes doivent être décrites sous une forme générale appelée " Type " pour être exploitables. La description d'un Type est formulée sous forme mathématique puis compilée sous FORTRAN ou C++.

Chaque " Type " est caractérisé par un nombre référence qui le différencie des autres. Par exemple le " Type 36 " est un modèle de mur Trombe classique. Ce modèle qui constitue la base d'étude peut être lié à d'autres " Types " pour simuler par exemple les interactions entre la paroi et le volume habité sur une période plus ou moins longue. On peut construire ainsi un diagramme de flux d'information par des connections entre les différents Types. Ces éléments sont appelés " Input " ou " Output " qui sont respectivement des éléments d'entrée et de sortie. Les Inputs sont définis par l'utilisateur et les Outputs sont issus du programme de calcul. Outre le Studio de simulation, la version 16.0 du logiciel est fournie avec trois programmes utilitaires : TRNBuild, TRNedit, et TRNexe.

#### 2.1.2.2 Historique :<sup>47</sup>

TRNSYS a été créé dans les années 70 à l'université du Wisconsin à Madison (Ph.D. de Sanford A. Klein) principalement pour la simulation des systèmes solaires thermiques. A l'origine la programmation se fait par carte informatique. En rassemblant plusieurs de ces cartes on forme un "deck". D'ailleurs l'expression existe encore et un deck (extension "dck") est formé à chaque projet. Le langage FORTRAN était (et est toujours) utilisé pour compiler et "linker" les différents modules. L'architecture est "ouverte" depuis la création de TRNSYS, et on peut visualiser le contenu des modules.

---

<sup>46</sup> Cheikh Seck« Analyse Et Modélisation Du Comportement Thermique D'un Système De Préchauffage D'air Neuf Pour L'habitat »recherche docteur de l'université, spécialité : sciences pour l'ingénieur, universite d'Artois, faculté des sciences appliquées de Béthune.

<sup>47</sup> Ibid, p.12

### 2.1.2.3 Résolution d'équations différentielles dans trnsys :<sup>48</sup>

Méthode de résolution des équations différentielles Il existe dans TRNSYS deux méthodes de résolution des équations différentielles: les méthodes numériques et les méthodes analytiques

### 2.1.2.4 Les avantages :<sup>49</sup>

Ses avantages sont:

- ✘ Approche modulaire, il est extrêmement flexible pour modéliser un ensemble de système thermique à différents niveaux de complexité (modules avec procédures de calcul plus ou moins élaborées) ;
- ✘ L'accès au code source permet aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la librairie d'origine ;
- ✘ Documentation vaste sur les sous-programmes y compris explications, usages usuels, équations de base ;
- ✘ Définition très souple de la période de simulation : choix du pas de temps, du début et de la fin de la simulation ;
- ✘ La version 16 se présente encore plus ouverte en termes de connexions vers d'autres outils et langages de programmations.

### 2.1.2.5 Limite du logiciel trnsys :<sup>50</sup>

Les limites de TRNSYS pour la simulation thermique d'un aréna sont du nombre de deux : le transfert aéraulique et le rayonnement entre les surfaces internes.

En effet, TRNSYS ne calcule pas de champ de vitesse d'air entre les différentes zones thermiques ce qui nous oblige à spécifier les débits d'air échangé entre les zones.

D'autre part, TRNSYS considère les surfaces internes comme étant des surfaces noires et nous permet pas de changer l'émissivité des surfaces internes de l'enveloppe du bâtiment.

---

<sup>48</sup> Ibid.p.13

<sup>49</sup> MOKHTARI Fethia" Formation sur le logiciel TRNSYS, Environnement complet et extensible dédié à la simulation dynamique des systèmes", Division Solaire Thermique.

<sup>50</sup> MOKHTARI Fethia" Formation sur le logiciel TRNSYS, Environnement complet et extensible dédié à la simulation dynamique des systèmes", Division Solaire Thermique P.3.



### 2.1.2.6 Évolutions dans le noyau :<sup>51</sup>

Le noyau de TRNSYS a non seulement évolué au niveau numérique, mais également dans sa capacité à s'interfacer avec des composants externes.

Une efficacité et une robustesse accrue ont été obtenues par l'introduction de la méthode de la relaxation numérique. Cette méthode itérative a été intégrée dans le solveur 'classique' de TRNSYS (la substitution successive) et intervient automatiquement si celle-ci ne permet pas de résoudre le problème posé. Un champ d'application typique de la méthode est le couplage entre simulations thermiques de bâtiments et simulations aérauliques. Dans TRNSYS, ce type de couplage est possible par le biais de plusieurs techniques différentes. Une des techniques consiste à représenter l'aspect thermique par un modèle numérique (e.g. TYPE 56), et l'aspect aéraulique par un autre (e.g. COMIS).

Les variables des deux composants sont ensuite couplées. Ce couplage posait traditionnellement des problèmes dans la résolution numérique, dus, par exemple, aux évolutions opposées des variables 'température de l'air' d'un côté et 'débit' de l'autre. Dans des versions antérieures de TRNSYS, ce type de problème numérique devait être adressé par l'utilisateur. Une méthode consistait à introduire des modèles spécifiques de type 'damper' (amortisseur): leur unique rôle était d'assurer la convergence, ils ne représentaient pas de phénomène physique. Grâce à l'intégration de la méthode de la relaxation numérique, la plupart des problèmes de cette classe peuvent maintenant être résolus de manière automatique : l'utilisateur peut coupler ces modèles directement, sans se soucier des problèmes numériques.

L'ajout d'un nouveau composant à un outil comme TRNSYS revient à ajouter une fonction (dans le sens sous-programme) à l'ensemble des fonctions existantes. Un des avantages décisifs de TRNSYS vient du fait qu'à la fois les conventions et la méthode pour ce faire sont clairement définies et documentées. Grâce à cette rigueur, les modèles numériques développés à travers le monde deviennent, interopérables.

Cependant, l'ajout de composants TRNSYS a longtemps été limité à des programmes écrits en FORTRAN, langage d'origine de TRNSYS. L'ajout d'un nouveau modèle nécessitait la recompilation de TRNSYS avec un compilateur. Avec TRNSYS 15, la possibilité d'utiliser des fonctions écrites dans d'autres langages est apparue. La version 16 de TRNSYS étend cette possibilité à l'architecture même de l'outil, et permet ainsi d'inclure un

---

<sup>51</sup> Werner KEILHOLZ, Paul SETTE" les evolutions de trnsys –la version 16", Centre Scientifique et Technique du Bâtiment 290 Route des Lucioles, BP 209, F-06904 Sophia Antipolis Cedex.p .2

nombre illimité de modèles écrits dans n'importe quel langage de programmation capable de générer une librairie à liaison dynamique (ce qui est le cas de la plupart des langages couramment utilisés aujourd'hui). Une librairie à liaison dynamique (ou DLL, pour Dynamic Link Library) est le résultat de la compilation d'un programme (code source) sous forme de bibliothèque (plutôt que d'exécutable). TRNSYS 16 est capable d'utiliser directement des modèles numériques contenus dans des DLL. L'avantage en terme de flexibilité est énorme: il suffit désormais de copier un nouveau modèle sur son disque dur pour pouvoir l'exécuter!

Cela ne permet pas seulement à un utilisateur d'utiliser des modèles d'un collègue sans même posséder un compilateur. Il est surtout possible de combiner plusieurs extensions en même temps, sans se soucier de l'intégration : il suffit de copier les DLLs fournies par l'auteur / les auteurs.

En même temps, la méthode traditionnelle d'ajout de composants reste disponible pour des raisons de compatibilité descendante.

Un grand nombre d'autres améliorations qui dépassent le cadre de cet article ont été apportés au noyau.

#### **2.1.2.7 L'interface graphique :<sup>52</sup>**

La complexité des outils de simulation a longtemps été un frein à leur utilisation dans l'industrie, et surtout dans les bureaux d'études. Les concepteurs de TRNSYS ont très tôt reconnus l'importance d'une interface graphique performante et moderne. Ainsi, le concept IISiBat (Intelligent Interface for the Simulation of Buildings) à été appliqué à TRNSYS dès la version 14. Cette interface graphique a évolué avec le noyau de TRNSYS, et est, au fil du temps, devenu le point d'entrée privilégié de TRNSYS : dans la version 16, il rassemble tous les composants et outils auxiliaires du package dans un même environnement de travail, le TRNSYS Simulation Studio. On retrouve les évolutions du noyau dans les fonctionnalités de l'interface : gestion de composants, création de nouveaux composants (on trouve par exemple des assistants pour créer des composants en C/C++ en plus du FORTRAN).

---

<sup>52</sup> Werner KEILHOLZ, Paul SETTE" les evolutions de trnsys –la version 16", Centre Scientifique et Technique du Bâtiment 290 Route des Lucioles, BP 209, F-06904 Sophia Antipolis Cedex.p .3

### 2.1.3 Le SIMEB :

#### 2.1.3.1 Présentation : <sup>53</sup>

Le SIMEB a pour but de faciliter l'utilisation de la simulation énergétique des bâtiments afin d'améliorer le design intégré et la rénovation énergétique des bâtiments. Il offre une interface simplifiée aux moteurs de calcul reconnus DOE2 et Energy Plus. Il se distingue par l'intégration de plusieurs fonctionnalités très appréciées des utilisateurs :

- ☞ Assistant permettant de générer rapidement des modèles de bâtiments représentatifs du parc immobilier commercial et institutionnel qui facilite la construction du bâtiment virtuel.
- ☞ Module permettant de calibrer la simulation afin de mieux faire concorder les résultats simulés avec les données réelles de facturation mensuelle.
- ☞ Interface prenant en charge plusieurs scénarios de bâtiments, ce qui facilite l'analyse des mesures d'efficacité envisagées.
- ☞ Intégration possible d'une géométrie complexe de bâtiments créés à l'aide de l'utilitaire Google Sketch Up.
- ☞ Module d'analyse des profils horaires de consommation mesurés ou simulés qui permet de diagnostiquer un problème d'opération ou d'extraire des profils quotidiens typiques.
- ☞ Le SIMEB permet à un utilisateur de dresser le portrait de sa consommation d'énergie en saisissant les caractéristiques d'un bâtiment: données architecturales, enveloppe thermique, mode d'occupation de l'espace et systèmes mécaniques présents (éclairage, ventilation, chauffage, etc.). Par la suite, il peut modifier ces paramètres pour évaluer l'impact qu'aurait l'implantation de mesures d'efficacité énergétique sur sa consommation.

#### 2.1.3.2 Le SIMEB en un clic :<sup>54</sup>

Le SIMEB est destiné aux concepteurs, ingénieurs et techniciens qui désirent guider leurs clients vers des concepts intégrés de nouveaux bâtiments ou leur proposer des pistes de rénovation énergétique pour des bâtiments existants. Le logiciel est gratuit et peut être téléchargé gratuitement à cette adresse : [www.simeb.ca](http://www.simeb.ca).

Il y a également d'autres logiciels et on site : **ENERGY PLUS; DOE-2<sup>E</sup> ; BLAST**

---

<sup>53</sup> Simon Sansregret" SIMEB, outil de simulation énergétique des bâtiments" Institut de recherche d'Hydro-Québec, 27<sup>e</sup> congrès de l'AQME - 10 mai 2013

<sup>54</sup> Simon Sansregret " SIMEB Logiciel de simulation énergétique de bâtiment" hydro Québec, Mars 2012.p.1

## 2.2 Pourquoi en a choisi codyba :

D'un côté, nous disposons avec CODYBA d'un outil facile d'apprentissage, simple à mettre en œuvre, avec une philosophie de « boîte noire ».

- ✎ Il permet de saisir très rapidement un projet de simulation de bâtiment et d'exécuter une simulation.
- ✎ Une version gratuite disponible et téléchargeable.
- ✎ Un certificat de fiabilité est disponible sur cite officiel.
- ✎ D'autre coté les autres logiciels ont besoins une maitrise plus poussée (techniques de calculs, phénomènes physiques, programmation informatique) et demandent plus de détails et un temps de calcul plus important

# **CHAPITRE III**

## Simulation et interprétation des resultants

---

Dans Le but de cerner les principaux problèmes d'efficacité énergétique dans les bâtiments à usage administratif à Tébessa, nous avons choisis comme cas d'étude un bloc administratif de l'école fondamentale "Cheraïet Lazhar " à la commune d'El-Hammamet - Tébessa-.Le volet pratique de ce travail consiste à baser sur l'usage de l'outil de recherche qui est : la mesure à l'aide d'un logiciel de simulation thermique " CoDyBa " pour effectuer des bilans énergétiques du bâtiment et par suite interpréter les résultats obtenus.

### 1. Présentation de la région de Tébessa:

À une latitude de 35°24 au nord, une longitude de 08°06 à l'est et une altitude de 867M, la ville de Tébessa est située à l'extrême Est algérien sur les Hauts plateaux.

#### Délimitations

- Au Nord par la wilaya de Souk-Ahras
- A l'Ouest par les wilayas d'Oum El Bouaghi et Khenchela
- Au Sud par la wilaya d'El- Oued
- A l'Est par la Tunisie.

Ainsi : du coté Nord par la commune de Boulhaf Dyr, au Sud par la commune d'Elma - Labiod, à L'Ouest par la commune de Bir - Mokadem et au Nord -Ouest par la commune de Hammamet.

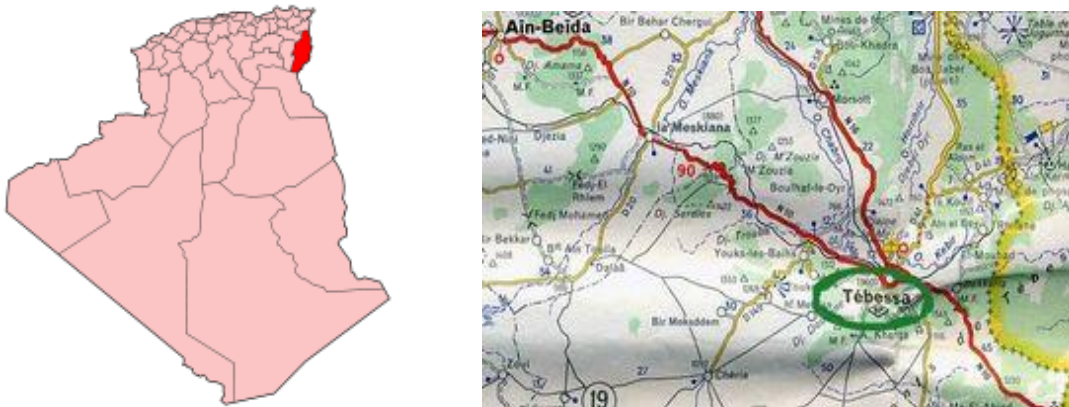


Figure III.1: Situation de la ville de Tébessa

### - La commune d'El-Hammamet:

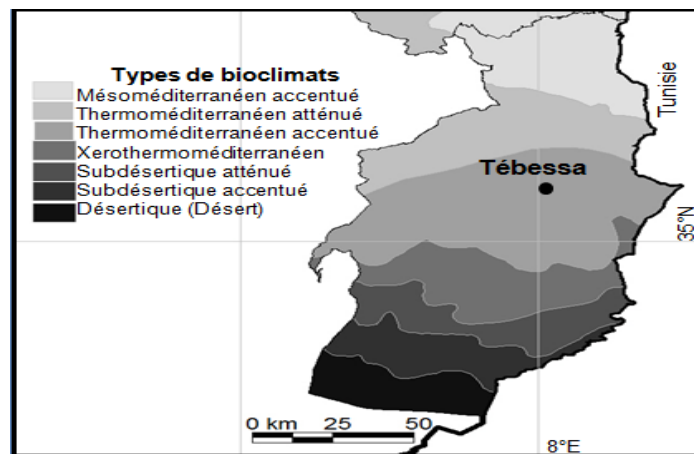
La commune d'El Hammamet dont les coordonnées géographiques sont : latitude nord  $35^{\circ} 26' 54''$  et longitude Est  $7^{\circ} 57' 11''$  878 d'altitude et altitude de 878m.

Est située dans la daïra de Bir-mokadem à 16km au nord ouest du chef lieu de la willaya de Tébessa, s'étend sur 88 km<sup>2</sup> et compte 20 148 habitants depuis le dernier recensement de la population.



**Figure III.2 :** Situation de la commune de Hammamet tebeesa

## 2. le climat de la ville de Tébessa :



**Figure III.3 :** Type de bioclimat de la ville de Tébessa

Source : station météorologique de la ville de Tébessa

Cette région étant une zone de transition météorologique, est considérée comme une zone agropastorale avec une présence d'un nombre important de phénomène: (pluie, neige, chasse neige, gelée, grêle, crue, et vent violent)

La willaya de Tébessa se distingue par quatre étages bioclimatiques:

- le sub – humide de (400à 500mm /an) : très peu étendus, il ne couvre que quelques ilots limités « les sommets des reliefs : djebel-serdiés et djebel Bournouane)

- le semi-aride de (300à 400mm /an) : représenté par le sous étage frais et froid, il couvre toute la partie nord de la wilaya.
- Le sub-aride (200 à 300 mm /an) :il couvre les plateaux steppiques :, d'oum ali, saf saf El Ousra thligene et bir EL Ater)
- L'aride ou sub- saharien (inferieur à 200 mm/an): commence et se prolonge au delà de l'atlas Saharien et couvre les plateaux de negrine et Férken.

La région d'étude se caractérise par un hiver froid et pluvieux neigeux et un été chaud et sec.

### **3. Données climatique de la ville de Tébessa:**

#### **3.1 Rayonnement solaire et durée d'insolation:**

À partir des données climatiques recueillis de la station météorologique de la ville de Tébessa. La durée d'ensoleillement est intense est de l'ordre de 7480wh/m<sup>2</sup>/jour sur une surface horizontale pendant le mois de juillet. La durée de jour maximale est de 11h5mn le mois ou le ciel est plus clair, reçoit une fraction d'insolation importante de 80%.

En hiver le rayonnement solaire global atteint son maximum en janvier est de l'ordre de 2334Wh/m<sup>2</sup>/jour avec une durée de 15h/mois (le mois ou le ciel est couvert, une fraction d'insolation de 45%)

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

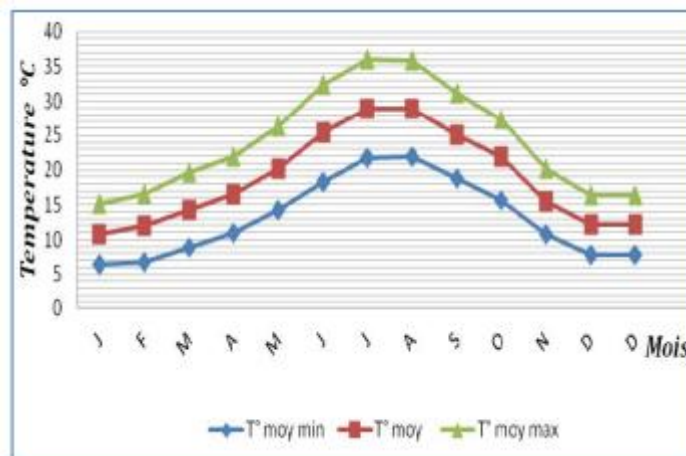
Ce facteur doit être pris en considération lors de la conception afin d'empêcher d'éventuels problèmes de surchauffes en prévoyant des protections ainsi il représente une source d'énergie gratuite pour un chauffage solaire passif en hiver. <sup>55</sup>

---

<sup>55</sup> . Source : - CAPDEROU.M - Atlas solaire de l'Algérie – tome 2 : aspect énergétique. OPU Alger,1985



### 3.2 Les températures:



**Figure III.4 :** valeurs des températures moyennes mensuelles

Pour la période 2002-2012

Source : station météorologique de la ville de Tébessa

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

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

- Une période chaude s'étend depuis juin jusqu'au septembre où les températures moyennes varient entre 39°C et 42°C. Toutefois les températures les plus élevées, sont enregistrées pendant les mois le plus chaud de l'année : Juillet avec une température moyenne de 27.4°C et août avec une température moyenne de 28.3 °C et maximale de 41.7 °C

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

- Une deuxième saison froide s'étend d'octobre jusqu'au mars où les températures moyennes sont comprises entre 19.1°C et 8.7°C, et une température qui peut atteindre un minimum en janvier de -3.8°C.

Mois/année	jan	fév	mars	avr	mai	jui	juil	aou	sept	oct	nov	dec
2014												
Total précipitation	38.7	48.4	27.9	2.3	19.9	29.0	22.5	8.7	49.3	7.1	43.2	49.5
Moy mens T°	7.8	8.9	8.7	15.2	19.0	23.6	27.4	28.3	24.6	19.1	14.0	7.9
T° Max	20.5	23.6	21.7	29.2	35.3	38.2	41.6	41.7	38.7	34.8	27.6	17.6
T°Min	-3.8	-2.6	-1.3	2.0	2.5	7.0	13.9	14.6	13.3	3.5	3.6	-2.8
Moy mens Humidité	69.5	69.9	74.8	55.1	55.6	51.3	44.4	46.0	56.0	58.4	63.2	75.0
Vent max mens	30/2 2	22/2 5	32/2 5	22/2 5	24/2 4	02/2 9	34/2 7	32/2 3	30/3 6	20/2 5	20/25	30/22
Vent moy mens	3.5	3.5	4.9	4.2	4.2	3.5	3.7	2.8	2.7	2.8	3.1	4.1

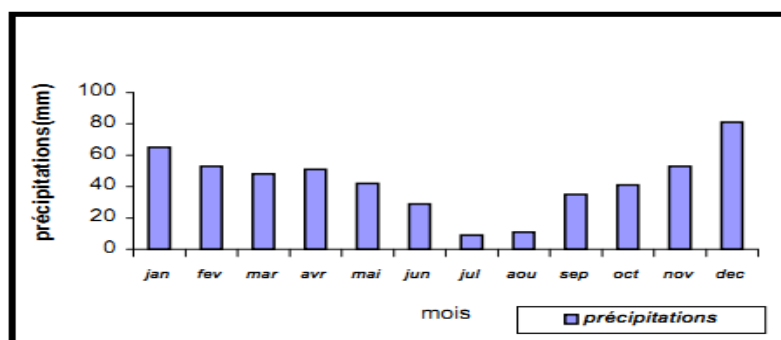
**Tableau III.1 :** Données météorologiques de la ville de Constantine (période de 2013- 2014)

Source : station météorologique de la ville de Tébessa

### 3.3 Les précipitations:

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

Les précipitations à Tébessa (figure III.5) sont marquées par une période courte de sécheresse, durant laquelle les précipitations sont très faibles et tombent sous forme d'orage<sup>56</sup>.



**Figure III.5 :** Précipitation en (mm) période 2013-2014

Source : station météorologique de la ville de Tébessa

<sup>56</sup> . Source : ABDOU, S- Investigation Sur L'intégration Climatique De L'habitat Traditionnel En Région Aride Et semi- Aride D'Algérie.

### 3.4 L'humidité:

La valeur moyenne de l'humidité dépasse les 45% pour tous les mois de l'année et varie entre un maximum de 75% au mois de décembre et un minimum de 51.3% au mois de juillet (voir tableau...)

Les humidités augmentent ; Ce qui suggère que le climat de la ville de Constantine soit humide et froid en hiver et assez sec et chaud en été.

### 3.5 Le vent:

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

Les vents qui prédominent à Tébessa sont ceux de direction Nord-ouest en période Hivernale avec une moyenne de 3.8 m/s, et de direction sud-est en période estivale Avec une moyenne de 4.5 m/s

direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	4	5	7	12	7	16	15	34

Source :SELTZER fréquence des vents

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.

### 3.6 Conclusion de l'analyse climatique:

D'après cette analyse il se révèle que le climat de Tébessa est:

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

En effet le climat de Tébessa à travers les données est un climat froid en hiver et chaud sec en été.

À partir de l'analyse climatique effectuée, il s'avère essentiel de prendre le climat en considération lors du processus de la 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 aux apports thermiques spécifique à chaque zone climatique, ainsi elle peut servir de jalon à déterminer des caractéristiques spécifique architecturale.

#### 4. Présentation du bâtiment cas d'étude:

Nous avons choisis pour cette étude un bloc administratif de l'école fondamentale « Cheraïet Lazhar » à la commune d'El-Hammamet -Tébessa-

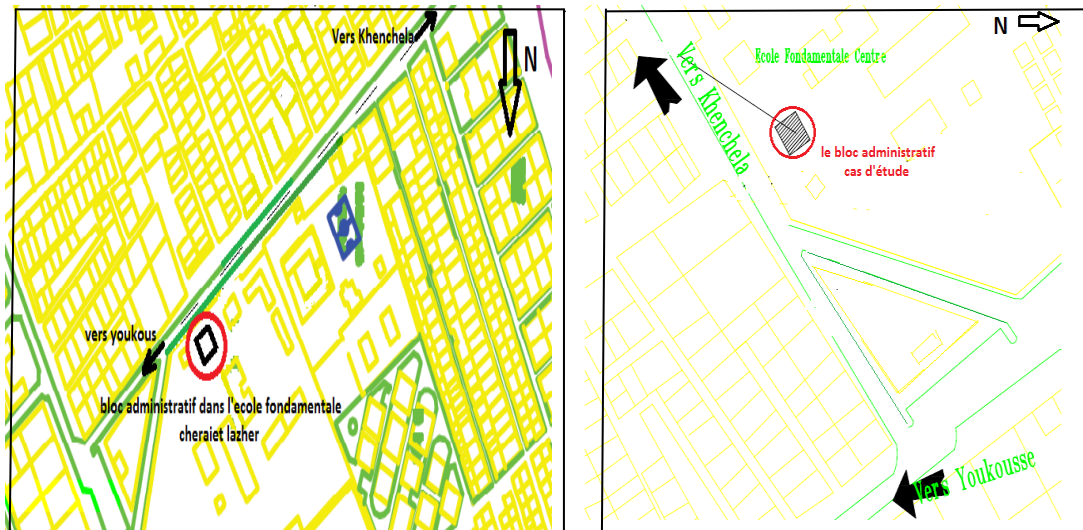


Figure III.6: la situation du bloc administratif cas d'étude

Source : POS Tébessa

Le choix d'un bâtiment administratifs tient à plusieurs raisons : d'abord ils sont essentiellement occupés le jour pendant les heures de travail, de plus l'efficacité énergétique constitue un enjeu important dans ces bâtiments, du fait que la climatisation est utilisée en permanence (soit en période hivernale : le chauffage ou estivale : le rafraîchissement ce qui mène à la surconsommation énergétique constaté et qui résulte le mauvais impacte sur l'environnement et la sensation de l'inconfort pour l'occupant.

Le bloc est d'une forme géométrique simple **-carré-**, qui représente une forme compacte – monobloc-, les éléments porteurs du projet Sont réalisés en système poteaux-poutre et ceci caractérise la majorité des bâtiments administratifs à Tébessa, et une couverture en toiture terrasse, non isolée elle est simplement recouverte d'une étanchéité et de gravillons . (Voir plan, source bureau d'étude)



**Figure III.7:** Plan RDC -Plan R+1 –plan de terrasse + Façade principale du bloc administratif cas d'étude

Source: B.E .T BOUTERAA ADEL

#### 4.1 Les caractéristiques constructives du projet:

D'après le devis descriptif du projet, les caractéristique constructives se résument par:

- ✓ La structure du bâtiment est réalisée en poteaux poutre coulée sur place
- ✓ Les murs extérieurs : l'enveloppe est en double cloison de brique de 10cm séparés par une lame d'air de 10 cm, le revêtement extérieur est en enduit du ciment et en plâtre pour l'intérieur
- ✓ Les murs intérieurs : construit en simple cloisons de brique de 10 cm d'épaisseur avec un enduit en plâtre
- ✓ Les plancher : sont réalisées en poutrelles et hourdis avec dalle de répartition coulée sur place, le revêtement des sols est en carrelage sur sable
- ✓ La toiture : est une toiture terrasse en poutrelle et hourdis
- ✓ Le vitrage : le vitrage utilisé est un vitrage simple et clair de 4 mm d'épaisseur

- ✓ Les façades du projet ne sont pas dotées par des protections solaires ni par des brises vent

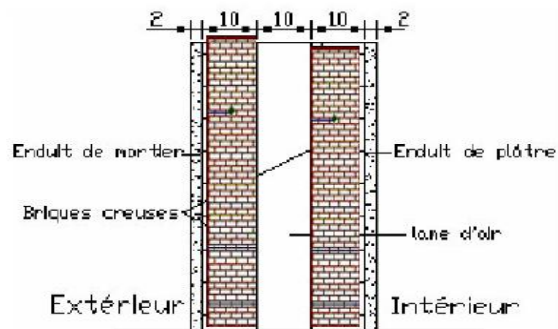


Figure III.8 : composition des murs extérieurs, source BET :Bouteraa Adel

## 5. La simulation par le logiciel CODYBA :

### 5.1 Introduction

Dans cette étude, le bâtiment est considéré comme une seule zone donc les paramètres intérieurs sont supposés égaux dans toutes la zone intérieur c'est à dire à distribution constante dans tout le volume interne.

Ce volume contient de l'aire, de la structure intérieure, les charges intérieurs (lampes, occupants...)

Cet intérieur communique avec l'extérieur à travers des parois, murs, fenêtres, portes, plancher, plafond, à l'intérieur une consigne de température sert à la stabiliser la température a une valeur donnée-régulateur de climatisation à 18°C et de chauffage de 24°C- .

Ce système est soumis aux conditions climatiques variables.

### 5.2 Déroulement de la simulation par CoDyBa :

On commence par ouvrir une nouvelle étude, on peut attribuer à cette étude un nom spécifique La figure suivante représente un l'onglet qui sert à ouvrir et nommer l'étude

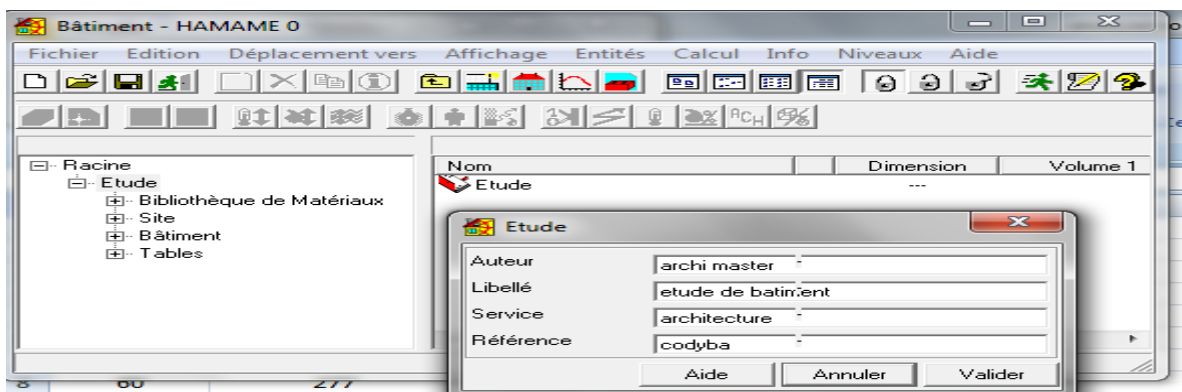


Figure III.9 : ouverture d'une nouvelle étude avec CoDyBa .

Source : Auteur ,2015

Après avoir ouvrir une étude .On implémente notre architecture à travers les paramètres de chaque entité qui la compose, les entités identiques peuvent êtres implémentées en une seule fois.

En suite on effectue la numérotation suivant le cas d'étude, la figure ci-contre représente l'implémentation de notre cas:

Nom	Dimension	Volume 1	Volume 2
ParoiNORD oestP3	15.3 m2	Intérieur	Extérieur
Intérieur	1003 m3		
Paroi_SE55	5.44 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_Noest kl	3* 5.44 m2	Intérieur	Extérieur
Fenêtre_sudoest1	2* 1.68 m2	Intérieur	Extérieur
Fenêtre_sudoest2	2* 0.84 m2	Intérieur	Extérieur
Fenêtre_nw2	0.25 m2	Intérieur	Extérieur
Fenêtre_nw1	3* 1.68 m2	Intérieur	Extérieur
Fenêtre_ne	3* 1.68 m2	Intérieur	Extérieur
Fenêtre_sudest2	2* 0.84 m2	Intérieur	Extérieur
Fenêtre_sudest	4* 1.68 m2	Intérieur	Extérieur
porte ext p&	3.08 m2	Intérieur	Extérieur
PLANHER	150 m2	Intérieur	Extérieur
PLAFON	150 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_ETAGE se	16.63 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_ETAGE no	15.3 m2	Intérieur	Extérieur
ParoiETAGEno	13.94 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_RDS sud oest	13.94 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_SUD oestP4	71.4 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_SE P6	16.32 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_SE P	10.2 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_sud EST P7	25.84 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_sud EST P8	15.64 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_sud EST P9	29.24 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_NE P10	78.88 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_N oestP2	31.96 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_N oestP1	25.16 m2	Intérieur	Extérieur
Paroi_Noest P5	3* 5.44 m2	Intérieur	Extérieur

Figure III.10: Cas d'étude implémenté avec CoDiBa

Source : Auteur ,2015

Les deux figures suivantes représentent les onglets à travers les quels en introduit les paramètres de chaque entité, il est à noter que chaque entité a des paramètres spécifiques à elle.

Le premier est celui d'une paroi, la paroi peut être soit: mur, plancher, Plafond, porte

Cette paroi peut également être intérieure ou extérieure, avec ou sans flux et rayonnement solaire, mono ou multi couches avec les valeurs et les caractéristiques dimensionnelles et techniques

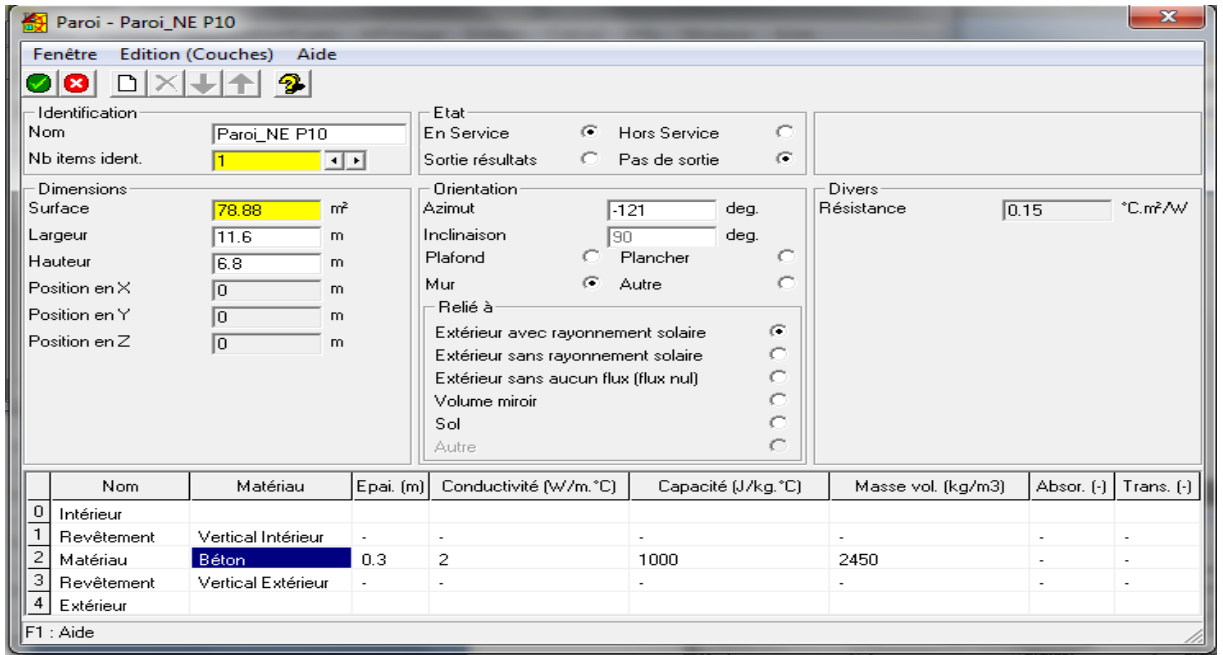


Figure III.11: introduction des paramètres de paroi

Source : Auteur ,2015

L'entité fenêtre contient des informations relatives aux données spécifiques aux fenêtres, comme le coefficient clair-rapport entre la surface de verre et le cadre en bois de la dite fenêtre- la figue ci-dessous représente l'onglet fenêtre :

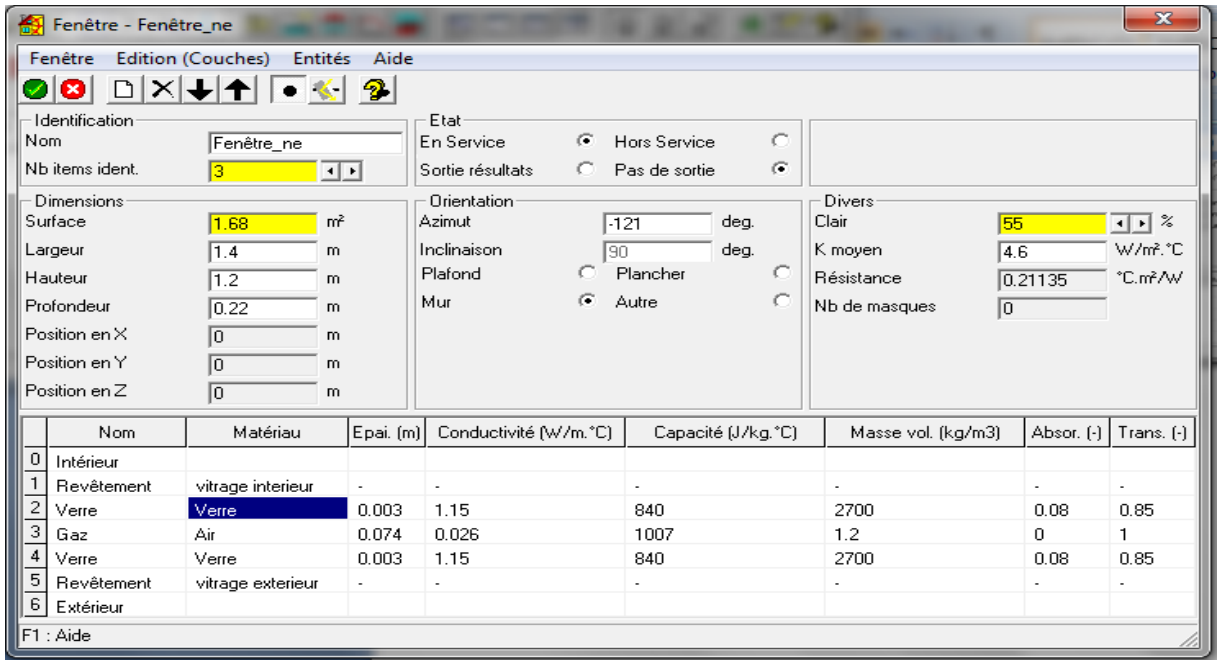


Figure III.12: introduction des paramètres de fenêtre

Source : Auteur, 2015

A l'intérieur qui est un volume d'air qui contient la structure interne du bâtiment, en peut ajouter les équipements internes, les occupants et le régulateurs des variables internes qu'en



veut les maintenir constantes pendant des horaires de fonctionnement. La figure suivante représente les entités que ce cas d'étude contient à l'intérieur du bâtiment :

Nom	Dimension	Volume 1	Volume 2
Personne_582	10* ---		
Régulateur de T._577	---	Intérieur	Extérieur
plafond int	100 m2	Intérieur	Intérieur
portes int etage	21.56 m2	Intérieur	Intérieur
portes int rdh	18.04 m2	Intérieur	Intérieur
Paro itage	31.6 m2	Intérieur	Intérieur
ParRDH	35.27 m2	Intérieur	Intérieur
Régulateur de T._1334	---	Intérieur	Extérieur

F1 : Aide | Click gauche : Sélection | Double-click gauche : Entrée dans l'élément | Double-click droit : Edition

**Figure III.13:** les entités à l'intérieur du volume

Source: Auteur, 2015

La figure qui suit montre l'onglet à travers lequel on lance le calcul pour avoir les courbes d'évolution des variables à l'intérieur du volume des bâtiments, on peut spécifier le nombre maximal des itérations, et la précision relative pour décider la convergence des schémas du calcul, on peut également introduire la date de début et fin de simulation, le pas de calcul, pendant et après le calcul la partie inférieure de cet onglet donne des informations relatives à l'avancement du calcul, la précision et le nombre moyen des itérations exécutées, et les valeurs de l'énergie latente et sensible consommée et la puissance totale consommée pendant toute la période de simulation.

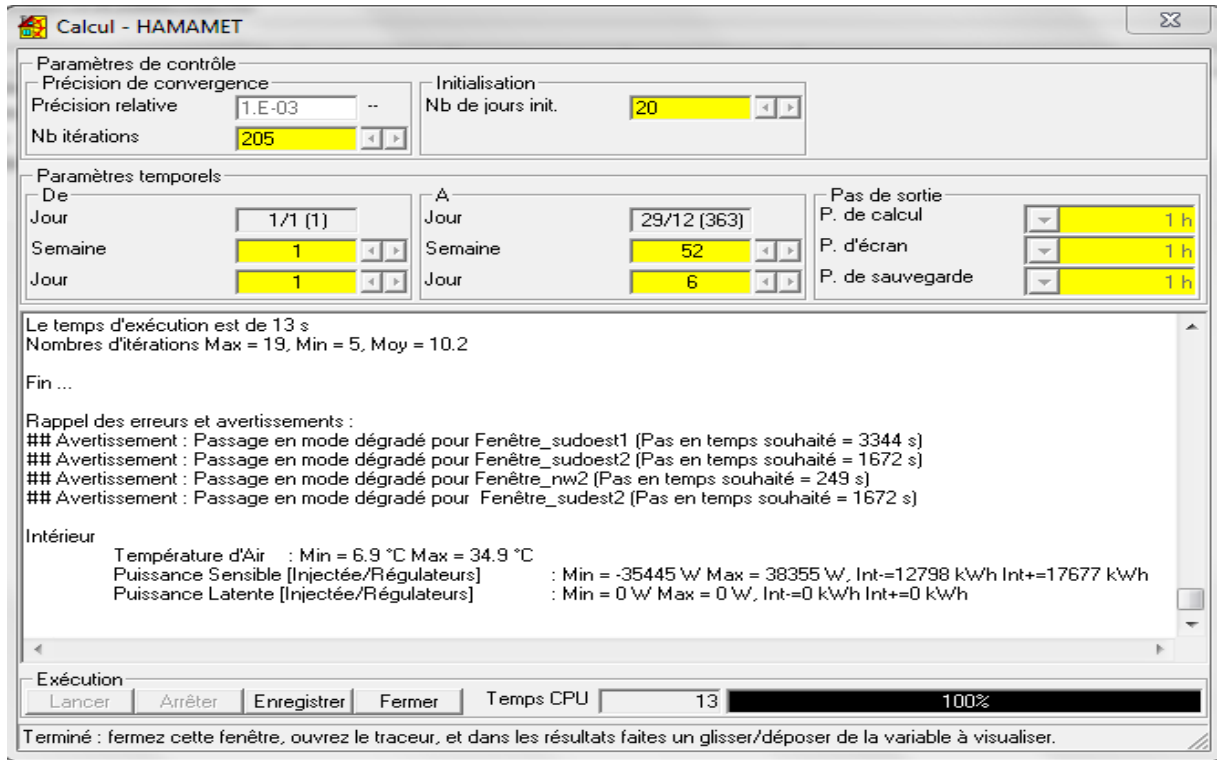


Figure III.14: Onglet du lancement de la simulation

Source: Auteur, 2015

La figure suivante représente l'allure de la température extérieure le long de la période de simulation

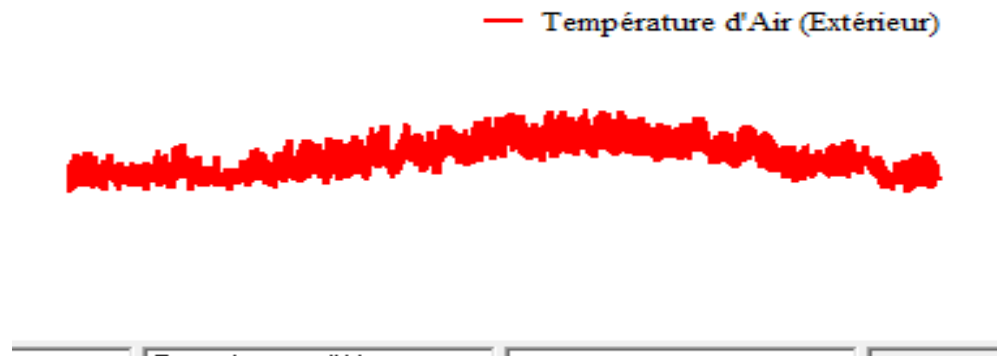


Figure III.15: Evolution de la température extérieure

Source: Auteur, 2015

Ici les valeurs de la température externe sont les valeurs mesurées pas par pas de trois heures, fournie par le centre de climatologie de Tébessa pendant l'année 2014.

### 5.3 Interprétation des résultats:

#### 5.3.1 La distribution de la consommation :

La figure suivante représente la consommation du système de chauffage et climatisation le long de l'année.

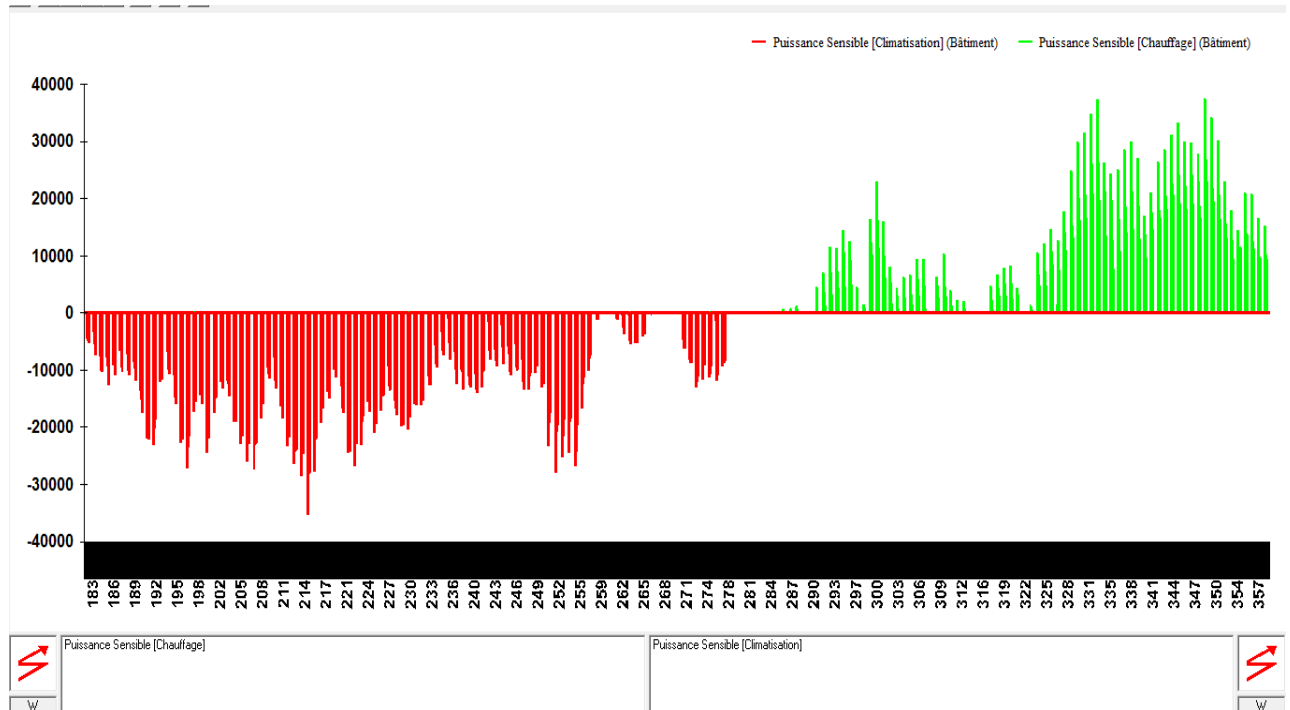


Figure III.15: Evolution de la température intérieure estimée

Source: Auteur, 2015

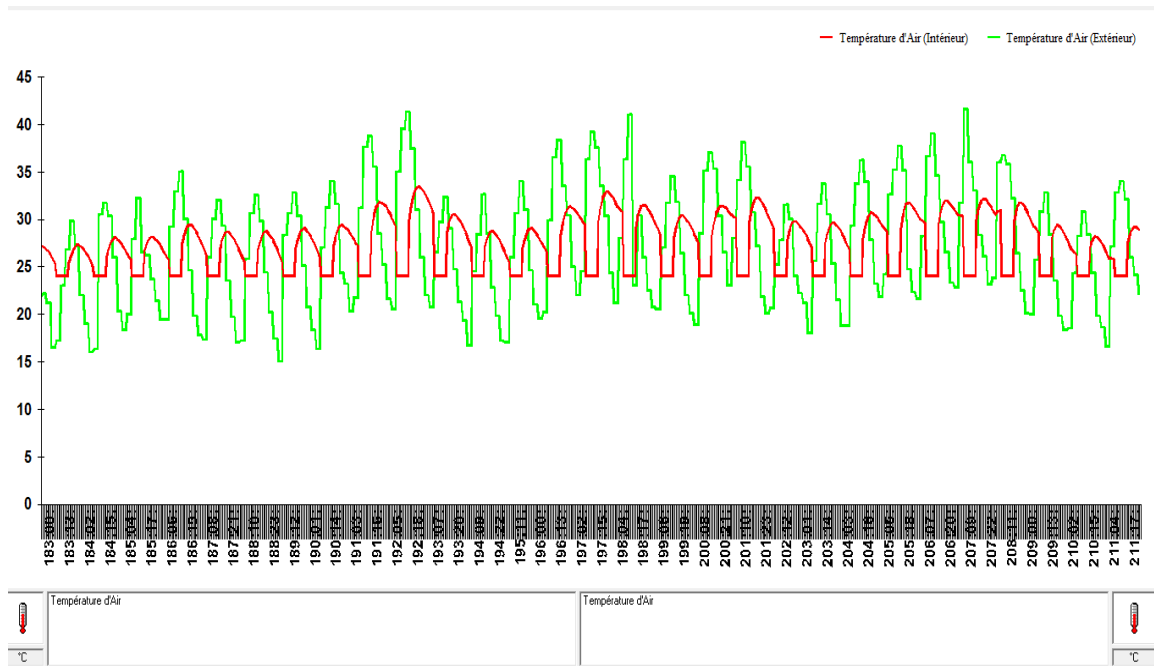
Les valeurs positives représentent la consommation de chauffage, tandis que les valeurs négatives représentent la climatisation. Il est clair que le système de climatisation fonctionne pendant la période estivale et le système de chauffage fonctionne pendant la période hivernale. La valeur maximale donne une idée sur la puissance d'équipement de chauffage à installer et même pour la valeur minimale de climatisation afin d'assurer leurs tâches.

L'épic de consommation représente le jour le plus chaud et le plus froid de l'année.

#### 5.3.2 Evolution de la température intérieure

Le but essentiel d'utiliser ce logiciel est d'estimer la variation des variables internes en première étape (exigence de confort) et pour calculer l'énergie consommée en deuxième étape (dimensionnement des équipements nécessaires pour répondre à l'exigence de confort) et avoir une étude sur la consommation en énergie.

La figure suivante représente l'évolution de la température intérieure et fonction du temps pendant la période estivale



**Figure III.16:** Evolution de la température intérieure estimée

**Source:** Auteur, 2015

on remarque que la température interne est fixe pendant un certain temps, c'est dû au système de climatisation, après les horaires de fonctionnement, puis une évolution libre il s'agit d'augmentation-température extérieure importante- puis une diminution dans la période de nuit ou' il y a une baisse de la température extérieure, un décalage d'augmentation et diminution entre température extérieure et intérieure est due à l'inertie thermique du bâtiment(résistance thermique de parois), pour le cas de la saison hivernale, on peut déduire les mêmes résultats cependant l'évolution de la température intérieure hors horaires de fonctionnement est inversée-température extérieure plus basse- l'effet de l'inertie est toujours présent.

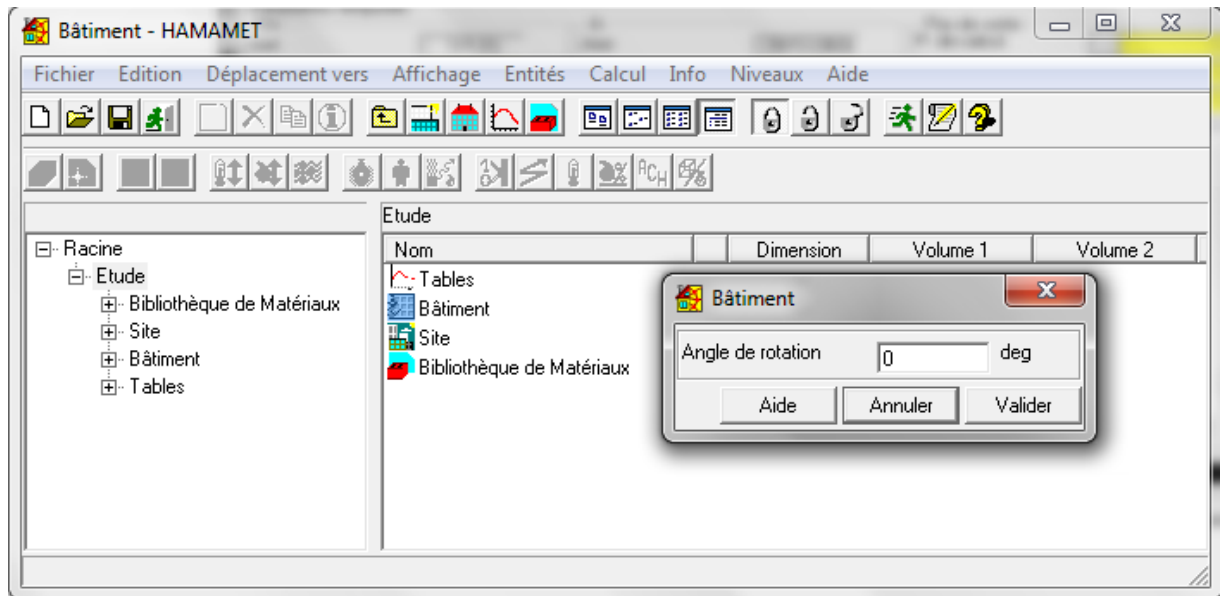
### 5.3.3 Insertion des paramètres de simulations :

#### 5.3.3.1 Influence de l'orientation

Dans ce qui suit on propose d'étudier l'influence de l'orientation du bâtiment sur la consommation annuelle, la consommation étudiée est celle de système de climatisation d'une consigne de 18°C et le système de chauffage d'une consigne de 24°C.

Les valeurs trouvées après la simulation sont les valeurs offertes par ces systèmes et non pas celles fournies au bâtiment car le CoDyBa ne tient pas en compte du rendement de ces systèmes.

En peut changer l'orientation de notre projet implanté sans changé le paramètre d'orientation de chaque entité séparément pour faciliter l'étude de ce paramètre sur les variables à estimer et la figure suivante montre l'angle ou on introduit l'orientation.



**Figure III.17:** Changement de l'orientation de projet

Source: Auteur, 2015

Ces valeurs sont représentées sur le tableau suivant:

Orientation	Climatisation	Chauffage	Energie totale
0	10612	17895	28507
10	10750	17755	28505
20	11014	17650	28664
30	11310	17600	28910
40	11578	17584	29162
50	11777	17524	29301
60	11906	17430	29336
70	11966	17343	29309
80	11978	17290	29268
90	11971	17249	29220
100	11953	17295	29248
110	11936	17349	29285
120	11860	17460	29320

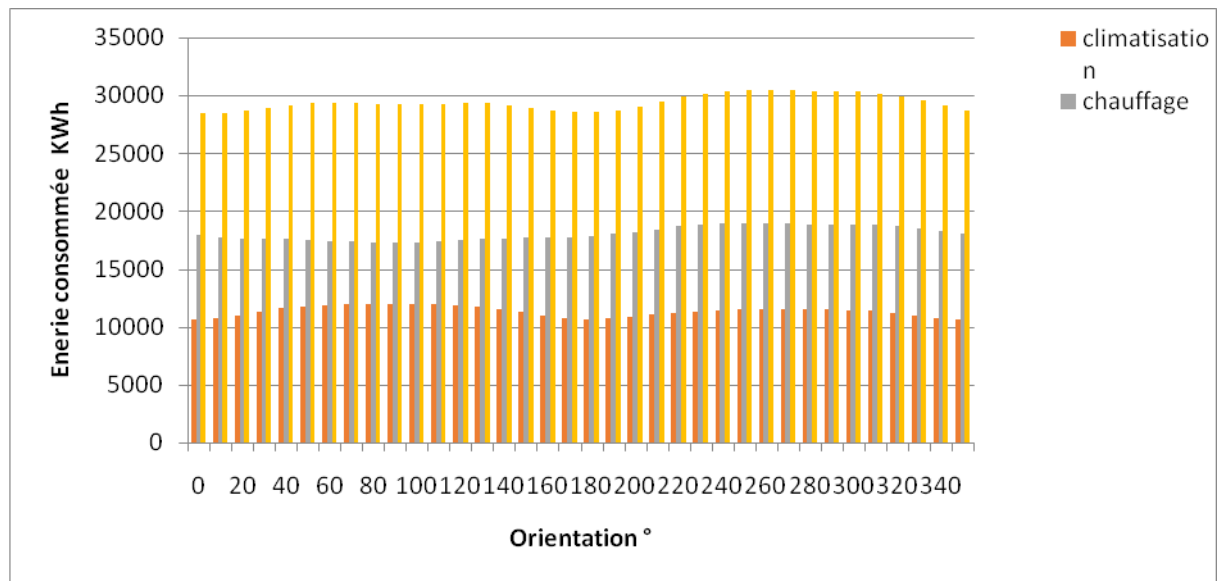
130	11724	17572	29296
140	11516	17656	29172
150	11258	17690	28948
160	10984	17718	28702
170	10766	17774	28540
180	10663	17870	28533
190	10691	18030	28721
200	10835	18210	29045
210	11024	18433	29457
220	11209	18667	29876
230	11348	18826	30174
240	11441	18903	30344
250	11488	18940	30428
260	11509	18920	30429
270	11521	18889	30410
280	11515	18882	30397
290	11508	18854	30362
300	11459	18846	30305
310	11367	18802	30169
320	11212	18709	29921
330	11010	18523	29533
340	10789	18293	29082
350	10630	18081	28711

**Tableau III.3:** valeurs de consommation en fonction d'orientation

**Source:** Auteur, 2015

Les sollicitations aux quelles le bâtiment est soumis sont le climat de la région choisie pour une période d'une année.

Le graphe suivant représente les valeurs de consommation du bâtiment pour différentes orientations.



**Figure III.18:** Consommation en énergie du bâtiment en fonction de l'angle de rotation  
**Source:** Auteur, 2015

D'après la courbe de la consommation en fonction de l'orientation on remarque l'existence d'une orientation optimale (**180° par apport au nord**) pour laquelle la consommation est minimale. L'effet du choix de l'orientation pour augmenter la consommation de 7% par rapport à la consommation minimale.

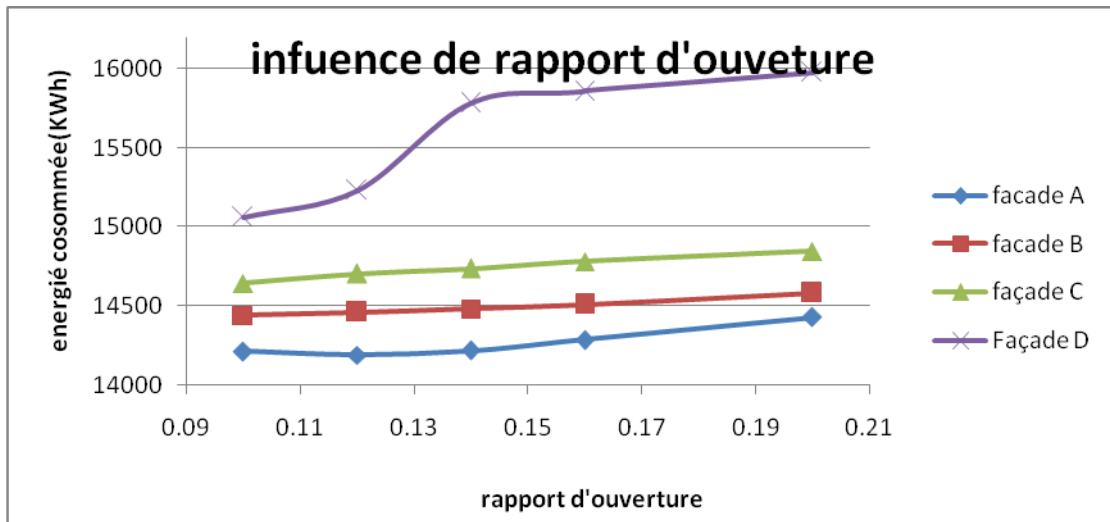
On constate aussi que le système de chauffage nécessite plus d'énergie-60% environ de la consommation totale- pour accomplir la tâche que le système de climatisation, en rappel que ces remarques sont valables pour le présent cas d'études et le climat de la zone de Tébessa , ainsi que les valeurs de consigne de ces systèmes.

Ces remarques sont valables pour le présent cas d'études et le climat de la zone de Tébessa, ainsi que les valeurs de consigne de ces systèmes.

### 5.3.3.2 Influence du paramètre des ouvertures

Dans cette partie on va étudier l'influence de rapport des ouvertures sur la consommation énergétique des systèmes de climatisation et chauffage.

Le tableau suivant représente la variation de l'énergie consommée pour des différents rapports d'ouverture pour les quatre façades (A: SE / B: SO / C: NO / D: NE).



**Figure III.19:** évolution de consommation d'énergie en fonction de rapport d'ouverture

Source: Auteur, 2015

On constat que l'énergie consommée augmente avec l'augmentation de rapport des ouvertures pour les trois façades, ce qui est normale car il y a plus de déperdition.

Par contre pour la façade A il y a une légère diminution puis une augmentation de l'énergie consommée, donc c'est une valeur optimale pour cette façade, il s'agit ici de l'énergie issue de flux solaire (**façade sud est**) et la faite que le chauffage consomme 60% environ de l'énergie totale.

Après avoir effectué la simulation par codyba et faire l'interprétation des différents résultats obtenus on a conclu que le bâtiment étudié présente des insuffisances en matière de prise en charge de l'efficacité énergétique à plusieurs niveaux notamment en matière des deux parametres choisis lors de la simulation: orientations, ouvertures



### ***Conclusion générale :***

L'efficacité énergétique constitue actuellement un enjeu majeur dans le secteur du bâtiment tant que pour la qualité des ambiances intérieures que pour les impacts environnementaux dont il est responsable.

Pour situer les problèmes d'efficacité énergétique, nous avons analysé les connaissances existantes à ce sujet à travers une recherche bibliographique, cette recherche nous a permis de comprendre la complexité de ce thème à travers sa pluridisciplinarité.

Ensuite, pour atteindre à notre objectif d'évaluer l'efficacité énergétique d'un bâtiment à usage administratif par la simulation numérique à travers l'étude d'un exemple et tirer des recommandations pour améliorer et augmenter la performance énergétique, on a fait d'abord une recherche en matière de logiciels les plus célèbres en ce domaine pour pouvoir élaborer une simulation thermique par le logiciel codyba en synthétisant que, la problématique de l'efficacité énergétique dans le bâtiment en générale, et dans les édifices à caractère administratif en particulier est l'œuvre d'une défaillance de conception architecturale non soucieuse du climat local, dans le but d'éviter la surconsommation énergétique de nos bâtiments, il est essentiel de prendre en charge la conception architecturale de départ qui doit s'inscrire dans le sens de la durabilité, ainsi favoriser l'utilisation des moyens et des techniques technologiques d'évaluation énergétiques pour atteindre à des bâtiments à ***haute performance énergétique***.

### *Les recommandations*

L'étude de l'efficacité énergétique qu'on a élaboré a travers une approche expérimentale à l'aide d'un logiciel de simulation thermique , nous a permis de cerner les principaux problèmes énergétiques dont peut souffrir un bâtiment administratif afin de dégager un nombre nécessaire de recommandations pour améliorer la qualité énergétique et réduire les déperditions thermiques dans le bâtiment, comme suite:

- ✓ Encourager l'usage des moyens technologiques d'évaluations et de simulations numériques pour mesurer les déperditions thermique des bâtiments vus leurs exactitudes de résultats
- ✓ Introduire la notion de l'architecture bioclimatique tout en essayant d'intégrer ces principes de bases dans le processus de la conception dès les premières esquisse, à prévoir :

#### **-au volet urbain:**

- ✓ Bien analyser et prendre en compte le terrain et l'analyse du site d'implantation, l'environnement immédiat et le microclimat (soleil, régime des vents, végétation, relief, le voisinage et les ombres...) Avant même les premières esquisses du projet est indispensable

#### **-au volet architectural:**

- ✓ la compacité générale du bâtiment est une source très importante d'économies aussi bien en énergie qu'en investissement par la réduction de la surface des parois en contact avec l'extérieure ou avec le sol pour limiter les surfaces déprédatives, donc toute diminution de compacité génère une consommation énergétique plus élevé
- ✓ En matière d'orientation le travail du concepteur doit consister à combiner au mieux apports solaire (profiter en d'hiver tout en protégeant des surchauffes en été), c'est pourquoi il est exigé de prendre en considération le paramètre de l'orientation et de dimensionnement et disposition des ouvertures aux niveaux des façades sont des facteurs majeurs pour réduire les déperditions
  - Favoriser l'orientation nord –sud afin de diminuer l'exposition des façades est – ouest au rayonnement solaire bas dont il est difficile de se protéger

- Petite ouvertures de 15 à 25% de la surface de la façade
- Prévoir des protections solaires suivant l'orientation
- ✓ Concernant l'organisation intérieure des espaces Les pièces occupées en permanence durant la journée devraient de préférence être orientées au sud et à l'est, profitant du lever du soleil. Elles garderont ainsi leur fraîcheur en fin de journée.

### **Au volet technique:**

- ✓ Le recours aux dispositifs de l'architecture bioclimatique ; Une serre ou véranda placée au sud permet, tout en apportant de la chaleur en hiver, de créer un espace intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur. Les espaces peu ou non chauffés (entrée, espace tampon, réception...) seront plutôt disposés à l'ouest ou au nord.
- ✓ Une bonne Isolation thermique (des parties opaques ou vitrées): joue un rôle toujours bénéfique en hiver, elle ralentit la fuite de la chaleur du logement vers l'extérieur. En été, au contraire, elle rafraîchit l'habitat en limitant les apports de chaleur à travers une bonne isolation des ponts thermiques.
  - Les épaisseurs optimales d'un isolant sont en fonction du climat.
- ✓ Le choix raisonné des matériaux : on peut utiliser des matériaux innovants ou mettre en œuvre des matériaux traditionnels ; dans tous les cas, les choix doivent se tourner vers des matériaux renouvelables, sains et locaux (qui nécessitent peu d'énergie grise à la production et au transport du matériau sur le chantier).
  - conforter l'utilisation des matériaux à *bonne inertie thermique* en choisissant des matériaux lourds et massives ceci réduira sans doute les déperditions thermiques
  - la nature des vitrages : Un classique vitrage permet, grâce à l'effet de serre, de récupérer plusieurs centaines de kWh par an : 10 à 25 % des besoins de chauffage
- ✓ optimiser la ventilation naturelle :

En raison de l'humidité de la saison chaude, il est nécessaire de favoriser le mouvement d'air, Limiter les infiltrations d'air parasites et prévoir un renouvellement de l'air utilisant au mieux la ventilation naturelle ou une ventilation contrôlée efficace.

## Les recommandations

---

- ✓ L'éclairage naturel : Laisser largement entrer la lumière du jour pour favoriser l'éclairage naturel, en veillant aux risques d'éblouissement ou de surchauffe.
- ✓ Ainsi en matière de recommandations il est exigible de Favoriser le système de chauffage en **intermittence** pendant les heures inoccupées car ce facteur représente une source de gain thermique
- ✓ L'usage des systèmes et des installations de climatisation à basse consommation énergétique.

*Espérons que ce mémoire servira de support pour les années à venir.*

### **Résumé**

L'énergie consommée provient des combustibles fossiles dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement.

Cette dernière décennie nous assistons en Algérie à une réalisation intense et multiples de projet dans le secteur tertiaire, qui ne sont malheureusement soumis à aucune exigence réglementaire sur le plan énergétique et thermique, les paramètres de la conception sont d'ordre fonctionnel et architectural et la dimension énergétique du projet n'est pas toujours considéré comme significatives, ce qui conduit à des bâtiments *énergivore* et non confortables.

L'efficacité énergétique constitue une demande reconnue et justifiée dans le bâtiment à caractère administratif du fait de son impact sur les ambiances thermiques intérieures, elle est donc considéré comme un élément important de la qualité globale d'usage de ce type de bâtiment, elle ne peut être assurée que par l'optimisation de plusieurs facteurs (le confort thermique, la prise en considération des principes de base de l'architecture bioclimatique...)

Dans ce contexte et pour atteindre à ces objectifs énergétiques, des développements technologiques sont nécessaires, la modélisation est un instrument incontournable car elle répond au besoin incessant d'apporter des solutions au problème de bilan énergétique, c'est pourquoi la présente recherche s'intéresse à faire une évaluation thermique d'un bloc administratif dans la willaya de Tébessa, plus exactement la commune de Hammamet par un logiciel de simulation thermique -Codyba-, cette simulation vas être basé sur deux paramètres essentiels qui sont : l'orientation et le dimensionnement des ouvertures et d'apprécier leurs l'impact sur la température de l'espace intérieur car ils représente des paramètres clés des interactions thermiques .

Par suite effectuer une interprétation des résultats obtenues pour pouvoir dégager un ensemble de recommandations afin d'améliorer la conception de ce type de bâtiment tout en augmentant sa performance énergétique.

**Mots clés:** bâtiment administratif, efficacité énergétique, bioclimatique, confort thermique, simulation, Codyba

### Summary:

The energy consumed comes from fossil fuels whose use can lead to massive depletion of these reserves and actually threatens the environment.

In the last decade we have witnessed in Algeria intense and multiple project delivery in the service sector, which are unfortunately not subject to any regulatory requirements on the energy and thermal level, the design parameters are functional and architectural order and energy dimension of the project is not always regarded as significant, which leads to energy and not comfortable buildings.

Energy efficiency is a recognized and justified request in the administrative building because of its impact on the internal thermal environment, so it is considered an important element in the overall quality of use of this type of building, it can be ensured through optimization of several factors (thermal comfort, the consideration of the basic principles of bioclimatic architecture ...)

In this context and in order to achieve these energy targets, technological developments are needed, modeling is an indispensable instrument because it responds to the constant need to provide solutions to the energy balance problem, which is why this research is interested to a thermal assessment of an administrative block in the wilaya of Tebessa, more precisely the town of Hammamet with a -Codyba- thermal simulation software, this simulation are going to be based on two essential parameters are: the orientation and dimensioning openings and to assess their impact on the temperature of the interior space because they represent key parameters of the thermal interactions.

Following perform interpretation of results obtained in order to identify a set of recommendations to improve the design of such buildings while increasing energy efficiency.

**Keywords:** administrative building, energy efficiency, bio-climatic, thermal comfort, simulation, CoDyBa

# Listes des figures tableaux et photos

---

Listes des figures

<b>Chapitre I</b>	
<b>Figure I .1:</b> organisation des contenus sur le thème de l'énergie.....	<b>07</b>
<b>Figure I.2:</b> Chaîne énergétique .....	<b>09</b>
<b>Figure I.3:</b> Les leviers de l'efficacité énergétique.....	<b>13</b>
<b>Figure I. 4:</b> Les leviers de l'efficacité énergétique.....	<b>15</b>
<b>Figure I.5 :</b> Consommation finale par secteur d'activité.....	<b>16</b>
<b>Figure I.6.</b> Evolution de la consommation en énergie dans le secteur résidentiel.....	<b>17</b>
<b>Figure I.7.</b> Impact de la forme, la taille et la proximité sur la compacité.....	<b>21</b>
<b>Figure I.8.</b> les coordonnées solaires.....	<b>22</b>
<b>Figure I .9.</b> Stratégies d'ombres.....	<b>23</b>
<b>Figure I.10.</b> vitesse du vent selon l'altitude et la nature du sol.....	<b>25</b>
<b>Figure I.11.</b> vitesse du vent selon l'altitude et la nature du sol.....	<b>26</b>
<b>Figure I.12.</b> La rose des vents.....	<b>26</b>
<b>Figure I.13.</b> les facteurs de la ventilation naturelle.....	<b>27</b>
<b>Figure I.14.</b> évolution des températures dans une maison individuelle pour trois niveaux d'inertie.....	<b>28</b>
<b>Figure I.15.</b> répartition moyenne des déperditions dans une maison individuelle neuve...	<b>28</b>
<b>Figure I.16.</b> variation de la température dans une paroi isolée.....	<b>29</b>
<b>Figure I.17.</b> concepts de la stratégie du chaud.....	<b>30</b>
<b>Figure I.18.</b> concepts de la stratégie du froid.....	<b>30</b>
<b>Figure I.19.</b> gains thermique interne d'un espace.....	<b>32</b>
<b>Figure I.20.</b> diagramme bioclimatique.....	<b>33</b>
<b>Figure I.21.</b> Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de givoni.....	<b>34</b>
<b>Chapitre II</b>	
<b>Figure II.1:</b> la bibliothèque des matériaux.....	<b>47</b>
<b>Figure II 2:</b> L'écran de régulateurs-climatisation.....	<b>48</b>
<b>Figure II.3:</b> l'écran de traceur (puissance sensible).....	<b>48</b>
<b>Figure II .4:</b> l'écran de météo.....	<b>48</b>



### Chapitre III

<b>Figure III.1.</b> Situation de la commune de Hammamet.....	<b>56</b>
<b>Figure III.2.</b> Type de bioclimat de la ville de Tébessa.....	<b>57</b>
<b>Figure III.3.</b> Valeurs des températures moyennes mensuelles Pour la période 2002-2012.....	<b>57</b>
<b>Figure III.4.</b> Précipitation en (mm) période 2013-2014.....	<b>59</b>
<b>Figure III.5.</b> La situation du bloc administratif cas d'étude.....	<b>60</b>
<b>Figure III.6.</b> La situation du bloc administratif cas d'étude Plan RDC – Plan R+1 –plan de terrasse + Façade principale A du bloc administratif cas d'étude.....	<b>62</b>
<b>Figure III.7:</b> composition des murs extérieurs, source BET :Bouterraa Adel.....	<b>63</b>
<b>Figure III.8:</b> ouverture d'une nouvelle étude avec CoDyBa .....	<b>64</b>
<b>Figure III.9:</b> ouverture d'une nouvelle étude avec CoDyBa.....	<b>64</b>
<b>Figure III.10:</b> ouverture d'une nouvelle étude avec CoDyBa , introduction des paramètres de paroi.....	<b>65</b>
<b>Figure III.11:</b> ouverture d'une nouvelle étude avec CoDyBa , introduction des paramètres de, introduction des paramètres de fenêtre.....	<b>66</b>
<b>Figure III.12:</b> ouverture d'une nouvelle étude avec CoDyBa , introduction des paramètres de paroi , introduction des paramètres de fenêtre.....	<b>66</b>
<b>Figure III.13:</b> les entités à l'intérieur du volume.....	<b>67</b>
<b>Figure III.14:</b> Onglet du lancement de la simulation.....	<b>68</b>
<b>Figure III.15:</b> Evolution de la température extérieure.....	<b>68</b>
<b>Figure III.16:</b> Evolution de la température intérieure estimée.....	<b>69</b>
<b>Figure III.17:</b> Evolution de la température intérieure estimée.....	<b>70</b>
<b>Figure III.18:</b> Changement de l'orientation de projet.....	<b>71</b>
<b>Figure III.19:</b> Consommation en énergie du bâtiment en fonction de l'angle de rotation.....	<b>72</b>
<b>Figure III.20 :</b> évolution de consommation d'énergie en fonction de rapport d'ouverture.....	<b>74</b>

### Liste des tableaux

### Chapitre I

<b>Tableau I.1.</b> Consommation d'énergie par branche d'activité.....	<b>17</b>
<b>Tableau I.2.</b> Elément d'analyse pour implanter un bâtiment bioclimatique.....	<b>20</b>
<b>Tableau I.3.</b> Paramètre influents sur la sensation de confort thermique.....	<b>31</b>

---

**Chapitre III**

<b>Tableau III.1.</b> Données météorologiques de la ville de Tebessa (période de 2013- 2014)..	<b>60</b>
<b>Tableau III.2.</b> : Valeurs de consommation en fonction d'orientation.....	<b>72</b>

---

**Liste des photos**

---

**Chapitre I**

<b>Photo I.1.</b> Protections solaires extérieures.....	<b>24</b>
<b>Photo I.2.</b> Matériaux isolant.....	<b>29</b>

---

# Bibliographie

---

1. Chercheur au centre du développement et des énergies renouvelables (C.D.E.R) dans une intervention à Oran en 2012.
2. la rousse
3. La Commission Européenne, intelligent energy "Efficacités Energétique dans le secteur industriel" manuel de l'élève Edition, FR 1.0 - Octobre 2010, p.7.
4. CHITOUR.Ch.E, L'énergie -les enjeux de l'an 2000 – vol/2 offices des publications universitaires, 1994 p.
5. M<sup>r</sup> MAZARI Mohamed "étude et évaluation du confort thermique des bâtiments a caractère public :cas du département d'architecture de Tamda (Tizi Ouzou),thèse de magister en architecture, université Mouloude Mammeri de Tizi Ouzou ,faculté du génie de la construction, département d'architecture, septembre 2012.p.60.
6. Grignon-masse, "développement d'une méthodologie d'analyse cout-bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liée au confort d'été : cas des climatiseurs individuels fixe en France métropolitaine". Thèse de doctorat, l'école nationale supérieure des mines de paris, 2010, p305
7. Les origines et le fondement de la construction soucieuse de l'environnement Office des Publications Universitaire
8. Shobhakar.D "Comment inflechir les émission de CO2 dans quatre mégapoles d'Asie" in la Revue Durable "vivre ensemble en mégapole", n°14.2005.
9. L'intégration de l'efficacité énergétique et du développement urbain durable dans les études de faisabilité –thèse morillon
10. Livre blanc de l'efficacité énergétique, Février 2011, Schneider Electric, p 13.
11. Yves ROBILLARD Président groupe efficacité énergétique FIEEC" Efficacité énergétique des bâtiments", dossier de presse, septembre 2011.p.4.
12. Groupe d'étude des marches GEM-EF " Equipements de bureau, enseignement et formation " Comité" E" (établissements scolaires et énergies renouvelables) « guide relatif a l'efficacité énergétique dans les bâtiments : application a un établissement scolaire» Mars 2013, v.10.
13. [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr): site de l'environnement et de la maitrise de l'énergie
  - ✓ [www.cec.org](http://www.cec.org) évaluation des avantage environnementaux associe à l'énergie renouvelable et à l'efficacité énergétique
  - ✓ -Directive n° 2012/27/UE du 25/10/12 relative à l'efficacité énergétique, modifiant les directives 2009/125/CE et 2010/30/UE et abrogeant les directives 2004/8/CE et 2006/32/CE
  - ✓ <http://europa.eu.int>: site de l'union européenne
14. Yves ROBILLARD Président groupe efficacité énergétique FIEEC" Efficacité énergétique des bâtiments", dossier de presse, septembre 2011.p.5.

15. Santamoris M. Demosthenes et Asimakopoulos, N. (2001) "Energy and climate in the Urban Built Environment" James and James edition Ltd, p.412
16. MHU. "La revue de habitat" revue d'information du ministère de l'habitat et de l'urbanisme N°03-Mars 2009, Alger, p.74
17. Ibid, p.74
18. MLL EBOUAMAMA Wahiba, "au sujet de la politique d'efficacité énergétique en Algérie : approche systémique pour un développement durable cas de : programme éco-bat" thèse de magister, université Abou-Bakr Belkaid - Tlemcen, faculté de technologie, département de génie-civil, 2013, p.9.
19. Izard, J-L "Archi bio" Edition parenthèse, France, 1979
20. Adem [en ligne] [www.wanado.com](http://www.wanado.com).
21. Givoni, B "l'homme, l'architecture et le climat" Edition de Moniteur, Paris 1978
22. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement "assure une bonne protection solaire, recommandation pratique" in guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits batiments, Belegique 2007
23. 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 batiments, Belgique. 2007
24. Gandemer, Guyot "intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti" 1976
25. Collection technique CIMBETON "Béton et confort thermique" revue technique du centre d'information sur les ciment et ces applications, n°B 40, France 2007
26. Langlais et Klarsfeld. «Isolation thermique à température ambiante .Propriété "technique de l'ingénieur. document n° c3 371. France.
27. De Herde. A et liebard. A "guide de l'architecture, T4 système solaires" l'observatoire des energies renouvelable France .2002
28. De Herde. A et liebard. A "guide de l'architecture, T4 système solaires" l'observatoire des energies renouvelable France .2002
29. Cantine R et al, "complexité de confort thermique dans les bâtiments" in acte du 6eme congrée européen de science des systèmes, tenu a paris du 19 au 22 septembre 2005
30. Izard -L "l'architecture d'été construire : pour le confort d'été" Edition Edisud 1994.
31. Ibid., p 28.

32. Iazard,J-L.Kacala,O "le diagramme bioclimatique "environbat- méditerrané ,laboratoire abc,Ensa-Marseille,2008 télécharger à partir du site <http://www.marseille.archi.fr/~izard/.2008>.
33. The démonstration component of the joule thermie programme european commission thermie.
34. Iazard,J-L.Kacala,O "le diagramme bioclimatique "environbat- méditerrané ,laboratoire abc,Ensa-Marseille,2008 télécharger à partir du site <http://www.marseille.archi.fr/~izard/.2008>.
35. Ibid p.31
36. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Simulation\\_Thermique\\_Dynamique#p-search](http://fr.wikipedia.org/wiki/Simulation_Thermique_Dynamique#p-search)
37. ABDELATIF Merabtine «Modélisation Bond Graphs en vue de l'Éfficacité Énergétique du Bâtiment» recherche pour obtenir le grade de Doctorat, Université de Lorraine, novembre 2012.
38. Petit Amélie, Nimaga Fatoumata, Medou Delphin« Analyse de confort thermique dans CoDyBa» IUP M1 GSI Maîtrise de l'énergie, université de Rouen, année universitaire 2007-2008.
39. Petit Amélie, Nimaga Fatoumata, Medou Delphin« Analyse de confort thermique dans CoDyBa» IUP M1 GSI Maîtrise de l'énergie, université de Rouen, année universitaire 2007-2008.p 8.
40. Ibid., p 8
41. Centre d'Energétique et de Thermique de Lyon.
42. <http://www.jnlog.com/codyba1.htm>
43. <http://www.jnlog.com/codyba1.htm>
44. Cheikh Seck« Analyse Et Modélisation Du Comportement Thermique D'un Système De Préchauffage D'air Neuf Pour L'habitat »recherche docteur de l'université, spécialité : sciences pour l'ingénieur, université d'Artois faculté des sciences appliquées de Béthune.
45. Ibid, p.12
46. Ibid.p.13
47. MOKHTARI Fethia" Formation sur le logiciel TRNSYS, Environnement complet et extensible dédié à la simulation dynamique des systèmes", Division Solaire Thermique.
48. MOKHTARI Fethia" Formation sur le logiciel TRNSYS, Environnement complet et extensible dédié à la simulation dynamique des systèmes", Division Solaire Thermique P.3.
49. Werner KEILHOLZ, Paul SETTE" les evolutions de trnsys –la version 16", Centre Scientifique et Technique du Bâtiment 290 Route des Lucioles, BP 209, F-06904 Sophia Antipolis Cedex.p .2

50. Werner KEILHOLZ, Paul SETTE " les evolutions de trnsys –la version 16", Centre Scientifique et Technique du Bâtiment 290 Route des Lucioles, BP 209, F-06904 Sophia Antipolis Cedex.p .3
51. Simon Sansregret" SIMEB, outil de simulation énergétique des bâtiments" Institut de recherche d'Hydro-Québec, 27<sup>e</sup> congrès de l'AQME - 10 mai 2013
52. Simon Sansregret " SIMEB Logiciel de simulation énergétique de bâtiment" hydro Québec, Mars 2012.p.1
53. Simon Sansregret " SIMEB Logiciel de simulation énergétique de bâtiment" hydro Québec, Mars 2012.p.1
54. . Source : ABDOU, S- Investigation Sur L'intégration Climatique De L'habitat Traditionnel En Région Aride Et semi- Aride D'Algérie.
55. <http://www.iai-france.org/frame.php3?page=http://www.iai-france.org/projets/910-claire.htm>
56. [http://www.jnlog.com/pdf/codyba\\_bestest.pdf](http://www.jnlog.com/pdf/codyba_bestest.pdf)
57. <http://www.mitsubishielectric.com/company/environment/report/products/randd/simulation/>
58. <http://www.rncan.gc.ca/energie/logiciels-outils/7418>
59. <http://europa.eu.int>