

TABLE DES MATIÈRES

Dédicace -----	II
Résumé-----	V
Abstract -----	V
ملخص	VI
Liste des figures-----	XI
Liste des tableaux -----	XIII
Acronymes et abréviations -----	XIV
INTRODUCTION GÉNÉRALE -----	1

CHAPITRE I: L'ENERGIE ET SA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LE BATIMENT

I. INTRODUCTION -----	4
II. DEFINITION DE L'ÉNERGIE-----	4
II.1. Les types d'énergies -----	5
II.1.1. Les Combustibles Fossiles-----	5
II.1.2. Les Énergies Renouvelables (EnR) -----	5
III. DE L'ÉNERGIE PRIMAIRE À L'ÉNERGIE FINALE -----	6
IV. LE BESOIN D'ÉNERGIE DANS LE BÂTIMENT -----	7
V. LES TYPES D'ENERGIES RENOUVELABLES UTILISEES DANS LES BATIMENTS -----	8
V.1 L'énergie du soleil-----	8
V.1.1. Le Solaire Photovoltaïque -----	9
V.1.2. Le Solaire Thermique -----	9
V.2. L'énergie du vent (l'éolien)-----	9
V.3. L'énergie de la terre (la géothermie)-----	10
V.4. L'hydraulique : -----	10
VI. LA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LE SECTEUR DU BÂTIMENTS-----	11
VI.1. Contexte énergétique mondial -----	11
VI.2. Contexte environnemental-----	13
VI.2.1. Effet de serre et changements climatiques -----	13
VI.2.2. Impact du secteur bâtiment -----	14
VI.3. Énergétique du bâtiment -----	14
VI.3.1. Le bâtiment est un gros consommateur d'énergie -----	14
VI.3.2. Le bâtiment devrait être confortable -----	14
VI.3.3. Applications de l'énergétique du bâtiment -----	15

VI.4. Modes de transfert de chaleur	16
VI.5. Déperdition thermique	18
VII. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES LOGEMENTS ANCIENS ET RÉCENTS	19
VII.1. Le chauffage (en rouge)	19
VII.2. L'électricité spécifique (Éclairage et équipement électrique : en jaune)	19
VII.3. La cuisson (en vert)	20
VII.4. L'eau chaude sanitaire (en bleu)	20
VIII. CONCLUSION	20

CHAPITRE II: EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT

I. INTRODUCTION	22
II. QU'EST-CE QUE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ?	22
III. ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV) D'UN BÂTIMENT	22
IV. L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET LES ÉNERGIES RENOUVELABLES	24
V. L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE	24
VI. L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT	25
VI.1. La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique	26
VI.1.1. Diminuer les besoins : efficacité énergétique « passive »	26
VI.1.2. Superviser et gérer les équipements techniques du bâtiment : efficacité énergétique « active »	26
VI.2. Les étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique	26
VI.2.1. Les leviers d'action :	28
VI.2.2. La construction durable	29
VI.3. Les équipements :	29
VI.3.1. Le chauffage :	30
VI.3.2. L'eau chaude sanitaire :	30
VI.3.3. La climatisation	30
VI.3.4. L'éclairage	30
VI.4. Le confort thermique	30
VI.4.1. Température de l'air	30
VI.4.2. Humidité de l'air	31
VI.4.3. Courants d'air	31
VI.5. Enveloppe du bâtiment :	31
VI.6. Contexte et enjeux de l'efficacité énergétique dans les bâtiments (approche bioclimatique et isolation thermique)	31
VI.6.1. La conception bioclimatique des bâtiments	32

VI.6.2. Isolation thermique -----	33
VI.7. La Haute Qualité Environnementale (HQE) -----	38
VI.8. Diagnostic De Performance Énergétique -----	39
VII. CONCLUSION -----	40

CHAPITRE III : EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE BATIMENT EN ALGERIE

I. INTRODUCTION -----	42
II. LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE EN ALGÉRIE -----	42
III. LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR TYPE D'ÉNERGIE -----	43
III.1. Produit pétroliers -----	43
III.2. Gaz naturel -----	43
III.3. Électricité -----	43
IV. LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR SECTEUR -----	44
IV.1. Le secteur industriel : -----	44
Le secteur de transport : -----	44
Le secteur ménages et autres -----	44
V. LA STRATÉGIE NATIONALE DE LA MAITRISE D'ÉNERGIE -----	46
V.1. L'agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE) -----	46
V.2. La Comité Sectoriel de la Maitrise de l'énergie (CIME) -----	47
V.3. Le Fond National de Maitrise de l'énergie (FNME) -----	47
V.4. Le Programme Nationale de Maitrise de l'Énergie (PNME) -----	47
VI. LE CONTEXTE SUR LA MAITRISE DE L'ÉNERGIE EN MATIÈRE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS A USAGE RÉSIDENTIEL -----	47
VII. LA RÉGLEMENTATION ALGÉRIENNE -----	49
VIII. MISE EN APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS -----	49
IX. LES DIFFERENTS TYPES D'ISOLANTS THERMIQUES EN ALGERIE -----	50
IX.1. Isolation végétale (Liège) -----	50
IX.2. Isolation minérale (les laines minérales) -----	50
IX.3. Les isolants synthétiques -----	51
IX.4. Autres types d'isolants -----	51
X. CONCLUSION -----	52

CHAPITRE IV : SIMULATION THERMIQUE D'UN BATIMENT ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE TYPE SOCIAL SIS À TLEMCEN

I.	INTRODUCTION	54
II.	PLATEFORME D'OUTILS ET LOGICIELS STD (Simulation Thermique Dynamique)	54
II.1.	Design-Builder	55
II.2.	Pléiades + Comfie	55
II.3.	TRaNsient SYstem Simulation	56
II.4.	Wufi	56
III.	PRESENTATION DU PROJET	58
III.1.	Présentation de l'ouvrage :	58
III.1.1.	Caractéristiques géométriques :	58
III.1.2.	Les plans	59
III.1.3.	Présentation des différents éléments constructifs du logement	60
III.1.4.	Présentation du climat Algérien (Tlemcen)	61
IV.	SIMULATION THERMIQUE	63
IV.1.	Calcul manuel	63
IV.1.1.	Calcul des déperditions thermique	63
IV.1.2.	Amélioration de la construction énergivore par les matériaux Knauf	63
IV.1.3.	Fenêtre double vitrage	64
IV.1.4.	Les résultats	64
IV.1.5.	Besoins énergétiques	69
IV.1.6.	Analyse de la courbe de l'énergie consommée :	71
IV.2.	Simulation et analyse hygrothermique du logement social par le logiciel wufi	72
IV.2.1.	Présentation et analyse des résultats du comportement du bâtiment énergivore avec le climat de Tlemcen	72
IV.2.2.	Analyse de la courbe de l'énergie consommée	73
IV.3.	Comparaison entre calcul manuel et simulation thermique dynamique par WUFI	75
IV.4.	Estimation (calcul de rentabilité de la réhabilitation d'un bâtiment)	76
IV.4.1.	Les prix des énergies domestiques en Algérie	76
IV.4.2.	Les prix des énergies domestiques en France	77
V.	CONCLUSION	80
	CONCLUSION GÉNÉRALE	81
	BIBLIOGRAPHIE	82
	WEB GRAPHIE	85
	ANNEXES	86

Liste des figures

Figure 1-1 : Organisation des contenus sur le thème de l'énergie (DEPECKER.P, 1985).....	5
Figure 1-2 : Différentes sources d'énergie renouvelable	6
Figure 1-3 : Bilan de l'énergie primaire et finale.....	7
Figure 1-4 : Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique. Source : (Bertrand CHATEAU & Bruno LAPPILONNE ,1977)	8
Figure 1-5 : le solaire thermique et le solaire photovoltaïque.....	9
Figure 1-6 : Schéma d'une installation-type de géothermie	10
Figure 1-7: Centrale hydraulique,	11
Figure 1-8 : Répartition de la consommation mondiale d'énergie finale par secteurs en 2008, (Agence internationale de l'énergie, 2010).....	11
Figure 1-9: Les Pays Du Sud Et De l'Est Méditerranéen (PSEM).	12
Figure 1-10 : Structure du potentiel d'efficacité énergétique dans la région de la méditerranée du sud sur la période 2010-2030.	13
Figure 1-11: Évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, sans effet des installations techniques de chauffage ou climatisation (N.Morel et E.Gnansounou ,2008). ...	15
Figure 1-12 : Différence de température et transfert de chaleur (N.Morel et E.Gnan sounou ,2008).	17
Figure 1-13 : Pertes d'énergie dans un bâtiment non isolé- (Ademe).....	18
Figure 1-14 : Schéma montrant la consommation d'énergie selon la date de construction et les choix écologiques.....	19
Figure 2-2 : les 3 fondements du développement durable	25
Figure 2-3 : La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique [Alix DESSONS ,Giles CAMBILLAU,David DESSONS]	26
Figure 2- 4: Les leviers de l'efficacité énergétique.....	27
Figure 2-5 : L'implantation et l'orientation du bâtiment ou de la maison et des différentes pièces.....	33
Figure 2-6 : Comparaison entre une construction bien isolé et non isolé (ADEME).....	34
Figure 2-7 : A gauche, isolation intérieure : de nombreux ponts thermiques sont inévitables à chaque étage. A droite, isolation extérieure, entourant complètement la structure [N. Morel et E.Gnansounou . 2008].....	36
Figure 2-8 : Résumé des principales valeurs qui permettent de caractériser les performances thermiques d'une paroi opaque, [PLACO SAINT-GOBAIN ,2016]	38
Figure 2-9 : les 14 cibles	39
Figure 2-10 : Modèle de DPE applicable aux logements et bâtiments d'habitation pour la vente	40
Figure 3-1 : Consommation finale par secteur d'activité en 2005.....	42
Figure 3-2: Bilan des émissions de GES par secteur, an 2005 en	43
Figure 3-3 : La consommation énergétique finale par type d'énergie en 2010	44
Figure 3-4 : la consommation énergétique finale par secteur d'activité en 2010	45
Figure 3-5 : <i>Label énergétique européen</i> (R.Kharchi, 2013).	46
Figure 3-6 : la priorité dans le choix des investissements d'efficacité.....	48
Figure 4-1 : Vue en plan du logement social à usage d'habitation.	59
Figure 4-2 : Image en 3D réalisée par Wufi, représentant la façade orientée vers le sud.	59
Figure 4-3 : Image en 3D réalisée par Wufi, représentant la façade orientée vers le nord.	60

Figure 4-4 : image qui montre une coupe d'un mur double parois en brique creuse.	61
Figure 4-5: courbe d'humidité relative et de température extérieure du climat de Tlemcen analysées par Wufi.	62
Figure 4-6 : image qui montre les différents composants du Mur-chaud.....	65
Figure 4-7 : comparaison entre les besoins des deux bâtiments pour T_{confort}	71
Figure 4-8 : courbe montrant la consommation énergétique du chauffage et du climatiseur en KWh durant l'année.	72
Figure 4-9 : courbe montrant la consommation énergétique du chauffage et climatisation d'un bâtiment énergivore.....	73
Figure 4-10 : courbe montrant la consommation énergétique du chauffage et climatisation d'un bâtiment isolée.	73
Figure 4-11 : courbe montrant les pertes et les gains énergétique d'une maison énergivore. .	74
Figure 4-12 : courbe montrant les pertes et les gains énergétique d'une maison isolée.	74
Figure 4-13 : Comparaison de la consommation énergétique (chauffage /climatisation) d'un bâtiment énergivore.....	75
Figure 4-14 : Comparaison de la consommation énergétique (chauffage /climatisation) d'un bâtiment isolé.	75
Figure 4-15 : Coût énergétique global sur une période de 100 ans avec un temps de retour sur investissement (TRI) de 10 ans (chauffage et climatisation à l'électricité)	78
Figure 4-16 : Coût énergétique global sur une période de 100 ans avec un temps de retour sur investissement (TRI) de 73 ans (Chauffage au gaz et climatisation à l'électricité)	79

Liste des tableaux

Tableau 2-1 : Comparaison entre l'isolation par l'extérieur et l'isolation par l'intérieur	35
Tableau 4-1 : Tableau récapitulatif de quelques logiciels utilisés dans la simulation thermique dynamique du bâtiment	56
Tableau 4-2 : Caractéristiques géométriques	58
Tableau 4-3 : programme surfacique du logement (1 ^{ère} étage)	58
Tableau 4-4 : Mur double paroi avec isolation (de l'extérieur vers l'intérieur)	65
Tableau 4-5 : Plancher haut (terrasse)	65
Tableau 4-6 : plancher bas	66
Tableau 4-7 : Mur double paroi avec isolation (de l'extérieur vers l'intérieur)	66
Tableau 4-8 : Enveloppe de bâtiment isolé	67
Tableau 4-9 : Enveloppe de bâtiment non isolé	68
Tableau 4-10 : Calcul du nombre de degrés jours mensuel (Dj)	70
Tableau 4-11 : Les besoins annuels en chauffage/climatisation pour le bâtiment	71
Tableau 4-12 : Le nombre d'années pour récupérer l'argent investissement au niveau de l'isolation	77
Tableau 4-13 : Le coût d'énergie annuelle en chauffage/climatisation	78

Abréviations

EnR : Énergie Renouvelable

ADEME: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

PSEM : Pays du Sud Et de l'Est Méditerranéen

ACV : Analyse du Cycle de Vie

GTB : Gestion Technique du Bâtiment

ECS : Eau chaude sanitaire

HQE : La Haute Qualité Environnemental

DPE : Diagnostic De Performance Énergétique

APRUE : Agence de la promotion et de rationalisation de l'utilisation de l'énergie

GES : Gaz à Effet de Serre

TCAM : Taux De Croissance Annuel Moyen

TEP : Tonne Équivalent Pétrole (unité énergétique).

MEM : Ministère de l'Énergie et des Mines.

CIME : Comité Sectoriel de la Maitrise de l'Énergie

PNME : programme nationale de maitrise de l'énergie

FNME : Fond National de Maitrise de l'Énergie

CNERIB : Centre National de la Recherche de l'industrie du Bâtiment

DTR : Documents Techniques Réglementaires

PUR : Le polyuréthane

EPS : Expansé

XPS : Extrudé

Wufi : Wärme Und Feuchte Instationär

STD : Simulation Thermique Dynamique

ETCS : External Thermal Insulation Composite Système (Système Composites d'Isolation Thermique Extérieure)

CVC : Chauffage-Ventilation-Climatisation

ECS : Eau chaude sanitaire

SED : Simulation Énergétique Dynamique

CNERIB : centre national d'étude et de recherche intégré du bâtiment

Acronymes

Pa : Pression de vapeur

λ : conductivité thermique ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)

R : Résistance thermique ($\text{m}^2^\circ\text{C/W}$)

e : l'épaisseur (m)

T : Température ($^\circ\text{C}$)

K: Coefficients de transmissions surfaciques ($\text{W/m}^2^\circ\text{C}$)

Ds: Déperditions surfaciques ($\text{W} / ^\circ\text{C}$)

D: Déperditions d'énergie dans le bâtiment (W)

Dt: Déperditions totale (W)

Dr : Déperditions thermiques par renouvellement d'air ($\text{W} / ^\circ\text{C}$)

U : Coefficient de Transmission ($\text{m}^2^\circ\text{C/W}$)

Ti : Température intérieure ($^\circ\text{C}$)

Te : Température extérieure ($^\circ\text{C}$)

Tc : Température de confort ($^\circ\text{C}$)

Tm : Température moyenne ($^\circ\text{C}$)

DJ : Degré nombre de jours

DJU : Degrés nombre de jour unifiés

he: Coefficient extérieure d'échange superficiels

hi : Coefficient intérieure d'échange superficiels

C : Capacité thermique massique

G : Coefficient de déperdition volumique

V_h: Volume habitable du local ou hors œuvre (m^3)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

En ce début du 21ème siècle, le contexte énergétique rappelle sous certains aspects celui des années 1980, au cours desquelles la problématique de l'énergie, conséquence du second choc pétrolier, s'est révélée comme une préoccupation planétaire de premier plan. Cette crise énergétique allait brutalement mettre au-devant de la scène l'importance du volume de combustible utilisé pour le chauffage et la climatisation des bâtiments et ses répercussions sur les économies nationales en termes de coûts d'exploitation et d'impact écologique et environnemental.

Le secteur du bâtiment est, parmi les secteurs économiques, le plus gros consommateur en énergie au niveau mondial, est une cible de choix dans la réduction des consommations, vu que la cause de ce résultat est due à la forte demande de logement qui résulte d'une grande augmentation démographique. À l'échelle planétaire, le secteur du bâtiment représente de 30 à 40 % de la consommation totale d'énergie et une forte part des impacts environnementaux d'origine anthropique. De ce fait, il présente un fort potentiel d'amélioration à la fois sur les plans énergétiques et environnementaux. Pour répondre à ces défis énergétiques et environnementaux, plusieurs éléments de solution peuvent être mis en œuvre de manière complémentaire.

La diminution de la consommation énergétique des bâtiments constitue un enjeu majeur de ce début de siècle. La réalisation de bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe qui nécessite le développement d'outils performants d'assistance à leur conception, leur construction et leur maintenance.

L'efficacité énergétique dans le bâtiment est donc un indicateur précieux pour répondre en partie aux enjeux énergétiques actuels (économie des ressources, réduction des gaz à effets de serre et de l'empreinte carbone, utilisation d'énergies renouvelables, etc.), et l'isolation thermique est l'un des points clés pour agir sur d'atteindre l'objectif de réduire la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment. Pour cela L'isolation se trouve au cœur des bouquets de solutions retenues pour réaliser les futures économies d'énergie. En agissant sur les déperditions thermiques, l'isolation permet en effet de moins chauffer l'hiver et d'éviter de recourir à la climatisation l'été.

La plupart des logements construits aujourd'hui en Algérie sont relativement non isolés, ce qui signifie que ces bâtiments ont de fortes déperditions thermiques et de fait consomment beaucoup plus d'énergie, et l'efficacité énergétique n'est toujours pas appliquée dans la production des bâtiments. De plus, ceux-ci sont chauffés grâce à des énergies fossiles, donc fortement pourvoyeurs de gaz à effet de serre responsable en partie des changements climatiques. L'élévation globale des températures et la forte consommation énergétique nécessitent l'élaboration des concepts à forte efficacité énergétique qui seront appliqués aux bâtiments. L'isolation thermique est complexe et très diversifiée. Selon les matériaux utilisés et les pièces à isoler, l'économie résultant de l'isolation thermique est très variables.

Le présent travail a pour objectif l'étude de l'impact des mesures d'efficacité énergétique passives sur les besoins énergétiques thermiques d'un bâtiment résidentiel conditionné par des données météorologiques de la ville de TLEMCEM, pour l'optimiser afin de le rendre le plus performant. Cet objectif exige une méthodologie axée sur les méthodes numériques par la simulation thermique dynamique avec logiciel de simulation Wufi. La simulation se fera sur un bâtiment modélisé et qui servira de cas de base et de référence, pour déterminer l'impact des mesures d'efficacité énergétique passives séparément et ressortir à chaque fois les paramètres des cas optimaux qui seront regroupés pour former le cas optimisé.

Pour arriver à atteindre ces objectifs nous devons d'abord nous poser les questions suivantes : La consommation énergétique augmente du jour au jour, la réglementation thermique en Algérie n'est pas applicable, l'émission de gaz à effet de serre et tous ce qui en suit sont souvent entendu ;

- Quel est la solution adéquate pour s'en sortir de tous ça ?
- Est ce que la mise en vigueur d'une réglementation thermique suffira ?
- Si dès maintenant la réglementation thermique sera exigé comment faire pour les bâtiments anciens ? Et quelles sont les techniques et les moyens de la rénovation énergétique ?
- Quelle est l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique ?

La présentation de ce travail est scindée en 4 chapitres qui se présentent comme suit :

La première phase (chapitre 1) introductif définit les différents concepts rappelant le rapport entre les bâtiments et la consommation d'énergie. Nous présenterons un état de l'art sur la consommation énergétique du secteur du bâtiment en général, en précisant ses spécificités, les postes les plus énergivores, ainsi que les perspectives de développement.

La seconde phase (chapitre 2) concerne l'efficacité énergétique dans le bâtiment. Ce chapitre expose les enjeux de l'efficacité énergétique dans le bâtiment. Et l'importance du confort de l'utilisateur (confort thermique, acoustique, hygrothermique), pour avoir un environnement agréable.

La troisième phase (chapitre 3) aborde la question énergétique en Algérie. Aussi les moyens mis en œuvre pour l'utilisation rationnelle de l'énergie et les différents politiques d'efficacité énergétique en Algérie.

La quatrième et dernière phase (chapitre 4) de ce travail est consacrée à une étude expérimentale sur le comportement thermique d'un bâtiment isolé et non isolé, traite les paramètres influençant le confort thermique à l'intérieur du bâtiment et le calcul des besoins énergétiques pour le chauffage et/ou le refroidissement à satisfaire. Ensuite, une estimation du coût de l'isolation, ainsi que du coût de l'énergie consommée nous permettra d'avoir une idée sur la période de retour sur l'investissement.

CHAPITRE I

L'ÉNERGIE ET SA CONSOMMATION DANS LE BATIMENT

I. INTRODUCTION

L'énergie est un produit vital, elle est utilisée dans l'activité humaine sous différentes formes notamment mécanique, thermique, chimique, électrique et nucléaire, permettant à chacune des utilisations différentes. Considérée aussi comme un bien social, l'énergie nous fait vivre et assure notre bien-être. Le bâtiment avec ses différents secteurs (habitation, tertiaire, résidentiel, ...) utilise cette énergie pour répondre aux multiples besoins et confort (éclairage, cuisson, chauffage, climatisation, etc.).

L'énergie utilisée pendant la construction, la rénovation et l'utilisation d'un bâtiment peut être calculée de façon globale et considérablement réduite. Une évaluation globale du bâtiment nécessite de prendre en compte la consommation d'énergie lors de sa fabrication, son fonctionnement et sa démolition.

La flambée de la consommation d'énergie dans le monde durant ces dernières décennies est un fait incontestable. Actuellement malgré un monde économique au ralenti, la consommation énergétique est restée très vorace.

Cette croissance a engendré de nouveaux défis, sur le plan environnemental et économique sachant que le changement climatique liée à l'augmentation des gaz à effets de serre est généré en grande partie par le CO₂ dû à la production et la consommation d'énergie.

II. DEFINITION DE L'ÉNERGIE

Le mot énergie est d'origine latine, « *energia* » qui veut dire « puissance physique qui permet d'agir et de réagir ». L'énergie est capable de produire soit du travail, soit de la chaleur, soit tous les deux, qui sont fondamentaux pour notre vie.

La définition de l'énergie est vague, à une acceptation large suivant les différents domaines ou on se trouve [DONALD. W. CURRAN, 1981] :

- Par rapports aux physiciens et naturalistes ; l'énergie est la puissance matérielle du travail ;
- Par rapports aux économistes ; C'est la quantité de l'énergie mécanique commercialisée ;

C'est-à-dire l'ensemble des sources et des formes d'énergie susceptibles d'utilisation massive, aussi bien pour produire de la chaleur que pour actionner des machines.

Vu qu'elle est indispensable au confort, L'énergie peut s'introduire dans l'architecture à travers deux axes principaux [P. DEPECKER, 1985] (figure 1-1) :

- 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.

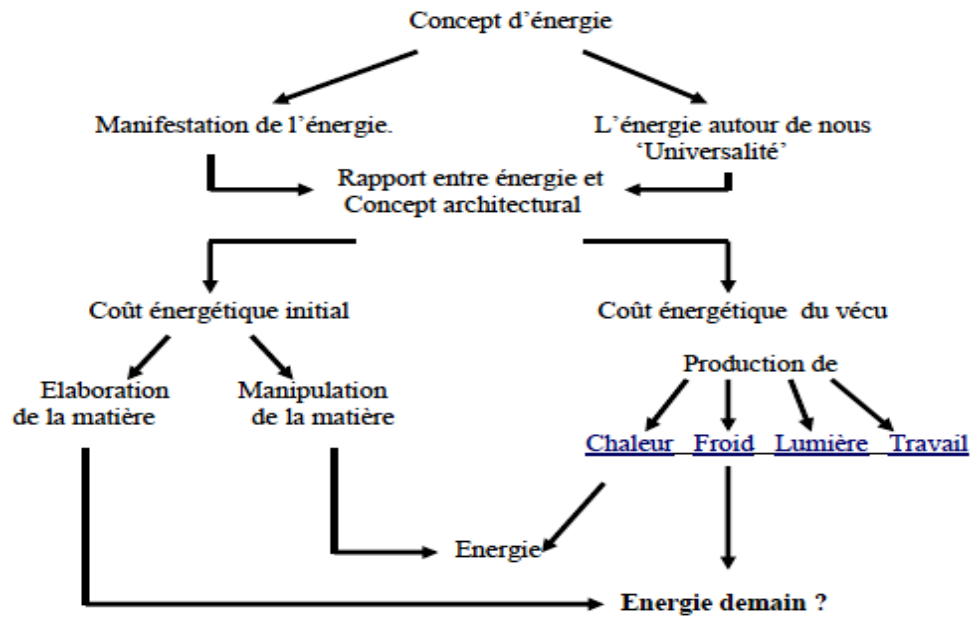


Figure 1-1 : Organisation des contenus sur le thème de l'énergie

(DEPECKER.P, 1985)

II.1. Les types d'énergies

Les énergies sont multiples et diversifiées, des énergies fossiles aux énergies renouvelables, un véritable défi énergétique et environnemental à mener par tous les pays développés et ceux en voie de développement.

Les ressources énergétiques peuvent globalement être classées en deux catégories [**Robert ANGIOLETTI. Hubert DESPRETZ**] :

II.1.1. Les Combustibles Fossiles

L'énergie fossile désigne l'énergie que l'on produit à partir de roches issues de la fossilisation des êtres vivants : pétrole, gaz naturel et houille. Elles sont présentes en quantité limitée et non renouvelable, leur combustion entraîne des gaz à effet de serre.

Le pétrole, le charbon et le gaz naturel, trois énergies polluantes et non renouvelables, fournissent plus de 80 % de la consommation quotidienne mondiale d'énergie. Aujourd'hui la communauté scientifique reconnaît la responsabilité de cette consommation sur le réchauffement climatique qui risque d'avoir des effets dramatiques sur les équilibres physiques, économiques, sociaux et politiques de notre planète.

II.1.2. Les Énergies Renouvelables (EnR)

Les énergies renouvelables sont créées à partir de sources d'énergies naturelles et écologiques comme le soleil, le vent, l'eau, la marée ou les matières organiques (figure 1-2).

Ces énergies sont issues de phénomènes naturels, réguliers ou constants qui les rendent inépuisables. Elles sont également parfois appelées énergies vertes ou propres car elles émettent moins de CO₂ que les énergies issues de sources fossiles. Aujourd'hui, les différents gouvernements cherchent à accroître la part d'énergie d'origine renouvelable sur le marché de l'énergie afin de lutter pour la sauvegarde de l'environnement.

L'intégration de ces énergies renouvelables dans l'habitat, vise un plus grand confort et favorise un nouvel être énergétique, plus performant et propre. Elles présentent d'énormes avantages dans la mesure où elles ne produisent pas de gaz à effet de serre. Les prochaines années s'annoncent donc prometteuses pour ces énergies dites énergies propres.

Les énergies renouvelables sont des énergies primaires inépuisables à très long terme, car issues directement de phénomènes naturels, réguliers ou constants, liés à l'énergie du soleil, de la terre ou de la gravitation. Le bilan carbone des énergies renouvelables est par conséquent très faible et elles sont, contrairement aux énergies fossiles, un atout pour la transition énergétique et la lutte contre le changement climatique ; **Selon ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, 2010).**



Figure 1-2 : Différentes sources d'énergie renouvelable
(<http://lepoinstur.com/energies-renouvelables-et-le-defi-de-lemergence>)

III. DE L'ÉNERGIE PRIMAIRE À L'ÉNERGIE FINALE

Lorsque l'on parle de la consommation d'énergie, on distingue deux stades : La consommation d'énergie primaire et celle d'énergie finale (Figure 1-3).

L'énergie primaire correspond aux sources d'énergie que l'on trouve dans la nature : combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) dont la combustion fournit de la chaleur; hydraulique et éolien qui utilisent l'énergie mécanique de l'eau ou du vent pour produire de l'électricité; géothermie qui permet d'utiliser la chaleur de l'eau du sous-sol; énergie solaire thermique (chauffage de l'eau par le rayonnement solaire); énergie photovoltaïque (production directe d'électricité par le rayonnement solaire sur des panneaux de matériaux particuliers).

L'énergie finale correspond aux produits énergétiques qui sont fournis au consommateur : charbon, fioul et essence, gaz naturel, bois, chaleur (réseaux de chaleur), électricité, etc. Dans certains cas, le produit énergétique final est identique au produit primaire (c'est le cas du gaz naturel) ; mais dans la plupart des cas, le produit final résulte d'une transformation à partir des produits primaires : carburants produits par les raffineries de pétrole, électricité produite par les centrales électriques à combustibles fossiles,

La différence quantitative entre énergie **primaire** et énergie **finale** vient des consommations d'énergie des industries du système de production, transport et distribution des produits énergétiques, des pertes dans leur transport (lignes électriques, gazoducs) et surtout des pertes d'énergie liées à la transformation de la chaleur en électricité dans les centrales thermiques à combustibles fossiles [Bernard LAPONCHE .2010].

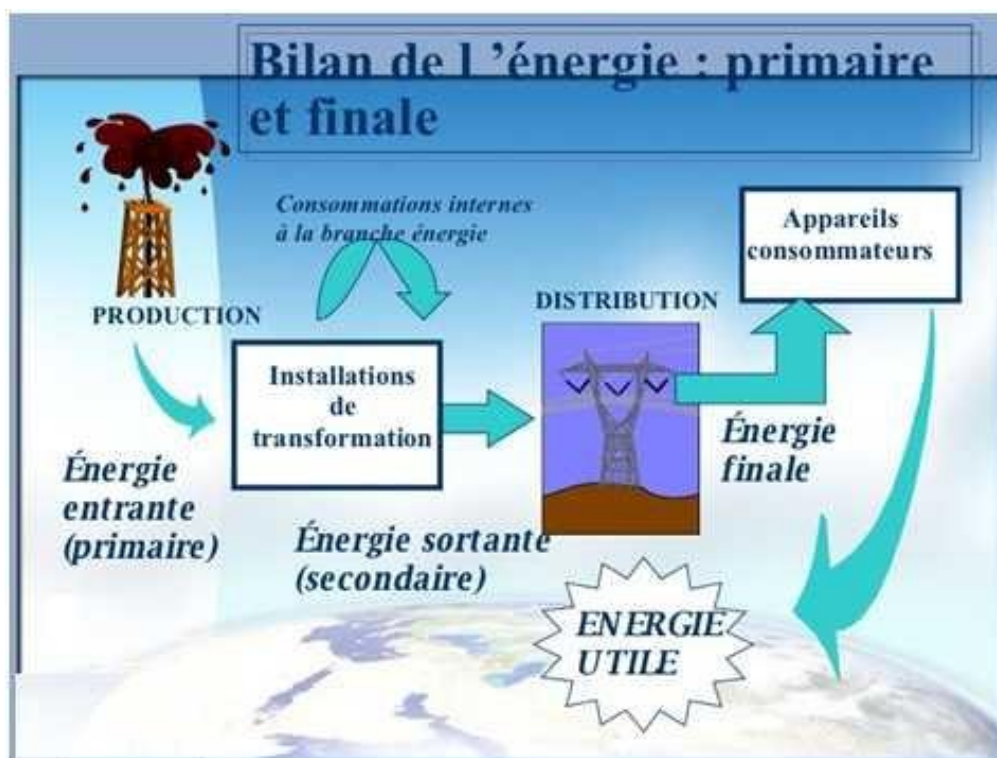


Figure 1-3 : Bilan de l'énergie primaire et finale
(ADEME, Thierry LAFFONT, Énergies renouvelables et quartiers durables ,2008)

IV. LE BESOIN D'ÉNERGIE DANS LE BÂTIMENT

Le besoin brut du bâtiment est la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir, pendant une période de temps donné, un climat intérieur convenable et satisfaire les prestations du bâtiment (eau chaude, cuisson, éclairage, chauffage, climatisation, ...). Elle se caractérise par les différentes formes, c'est pourquoi elle est appelée « protéiforme ».

Dans le bâtiment, le maintien d'un confort thermique agréable semble s'opposer aux recherches d'économie d'énergie. D'où, on ne pourra répondre à cette apparente contradiction que par une conception "globaliste" du bâtiment. Pour se faire, il faut posséder de bonnes notions sur les paramètres climatiques, l'inertie thermique des bâtiments et leur localisation.

Cette approche du besoin d'énergie de chauffage et de climatisation renvoie trois facteurs explicatifs [Bertrand CHATEAU & Bruno LAPPILONNE ,1977] :

- Le besoin en température ; est un besoin de climat intérieur, caractérisé par la température intérieure moyenne (qui explique principalement de façon quantitative le besoin d'énergie de chauffage ou climatisation) ce besoin en température est, un besoin « social » ;
- Les caractéristiques physiques du logement qui interviennent de façon prépondérante dans la création du besoin d'énergie sont le volume et le degré d'isolation. D'autres caractéristiques importantes telles que l'exposition au soleil, au vent, le vitrage qu'on doit prendre en considération dès la conception et l'implantation ;
- Le climat du site, qui détermine la période du besoin.

Le besoin d'énergie se traduit par la demande d'énergie finale, par exemple les besoins de chaleur pour le chauffage d'une maison donnent naissance à une demande d'électricité, du fuel-oil ou de gaz cette demande est schématisée dans la figure 1-4 :

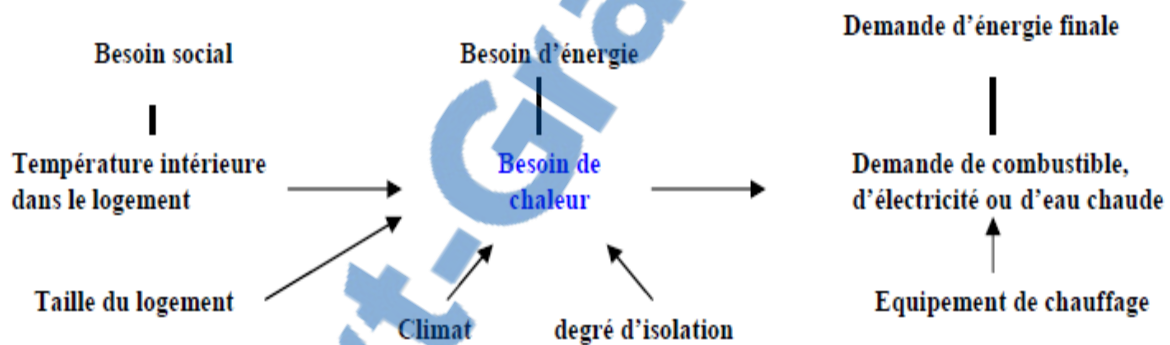


Figure 1-4 : Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique. (Bertrand CHATEAU & Bruno LAPPILONNE ,1977)

V. LES TYPES D'ÉNERGIES RENOUVELABLES UTILISÉES DANS LES BATIMENTS

Le renouvelable se décline en plusieurs familles : le solaire, l'éolien, la géothermie. S'il ne s'agit pas d'une énergie renouvelable, au sens où elle n'est pas automatiquement issue d'une source renouvelable d'énergie, la cogénération n'en est pas moins une source d'énergie verte, car elle s'appuie sur une meilleure utilisation des sources d'énergie primaires et contribue ainsi à réduire les émissions de dioxyde de carbone [Fabienne Collard, 2015].

V.1 L'énergie du soleil

Les bâtiments peuvent être conçus pour tirer profit de l'action de chauffage et d'éclairage du soleil de manière à réduire la consommation d'énergie. Les techniques "passives" visent ainsi à exploiter l'énergie solaire au moyen de grandes fenêtres, placées côté sud dans les régions nordiques, et de murs qui emmagasinent la chaleur.

L'énergie solaire est largement utilisée pour chauffer l'eau, surtout dans les régions méditerranéennes. Un chauffe-eau solaire consiste en un panneau à travers lequel l'eau se réchauffe en circulant. Un tel système peut fournir de l'eau chaude sanitaire ou alimenter un circuit de chauffage central. À plus grande échelle, le solaire thermique a été mis en œuvre dans des réseaux de chauffage urbain.

Au sein de l'énergie solaire, il faut différencier le solaire photovoltaïque et le solaire thermique. Le premier génère de l'électricité grâce à la conversion de la lumière du jour.

V.1.1. Le Solaire Photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque utilise également le rayonnement solaire, mais le transforme directement en électricité. La lumière du soleil peut directement être transformée en électricité par des panneaux photovoltaïques.

V.1.2. Le Solaire Thermique

L'énergie solaire thermique consiste à capter le rayonnement solaire pour augmenter la température d'un objet. Ce type d'énergie est connu depuis longtemps, puisqu'être au soleil réchauffe. L'emploi de l'énergie solaire thermique s'effectue directement pour chauffer de l'eau sanitaire par exemple, avec un chauffe-eau solaire, ou encore des fours solaires. [Grégory DE OLIVEIRA ,2013]

Capteurs solaires thermiques
(photo : IERA)



Pose de capteurs solaires photovoltaïques en
intégration à la toiture
(photo : IERA)



Figure 1-5 : le solaire thermique et le solaire photovoltaïque
(Jacques WIART ,2008)

V.2. L'énergie du vent (l'éolien)

L'énergie éolienne utilise l'énergie mécanique produite par les mouvements des différentes masses d'air, le vent. Elles transforment l'énergie mécanique en électricité, ou autre énergie. Des champs d'éoliennes existent, fonctionnant comme une petite centrale. Des éoliennes plus

petites existent pour les particuliers, elles produisent de l'électricité qui sera consommée sur place.

V.3. L'énergie de la terre (la géothermie)

La géothermie utilise la chaleur naturelle émanant des nappes aquifères présentes dans le sol pour fournir un système durable de chauffage pour les bâtiments (habitations, commerces, etc.) (Figure 1-6). Si cette énergie géothermique peut être à l'origine de chaleur, elle permet également de produire de l'électricité, moyennant l'utilisation de turbines.

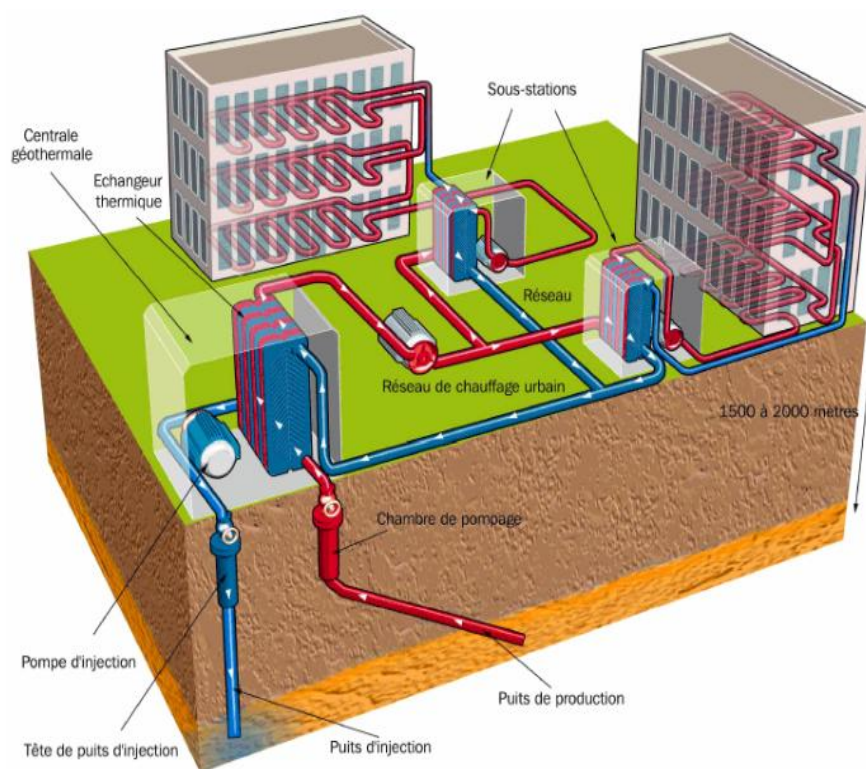


Figure 1-6 : Schéma d'une installation-type de géothermie
(D'énergie renouvelables et leur exploitation ,2015).

V.4. L'hydraulique :

L'énergie hydraulique utilise l'énergie des cours d'eau ou des chutes pour transformer la force motrice de l'eau en électricité. L'eau, par son poids et sa vitesse, actionne une turbine et transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique. La turbine entraîne à son tour une génératrice qui transforme l'énergie mécanique en électricité.



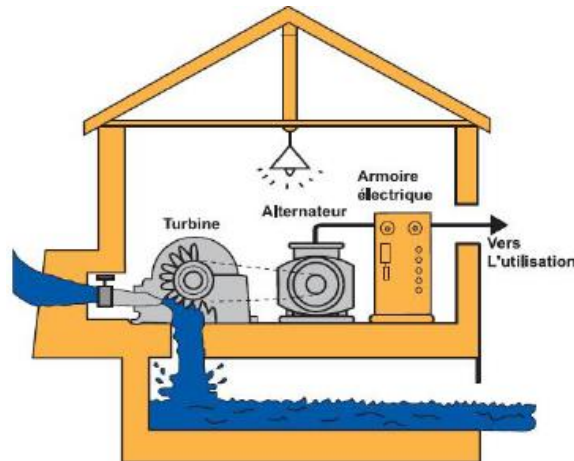


Figure 1-7: Centrale hydraulique,
(Guide des Énergies Renouvelables, 2007).

VI. LA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LE SECTEUR DU BÂTIMENTS

VI.1. Contexte énergétique mondial

Le secteur des bâtiments a des enjeux énergétiques mondiaux et régionaux importants. Au niveau mondial, Le secteur des bâtiments représente à lui seul autour de 32 % de la consommation d'énergie finale et contribue à hauteur d'un tiers environ des émissions de CO₂, comme le montre la figure 1-8 suivant :

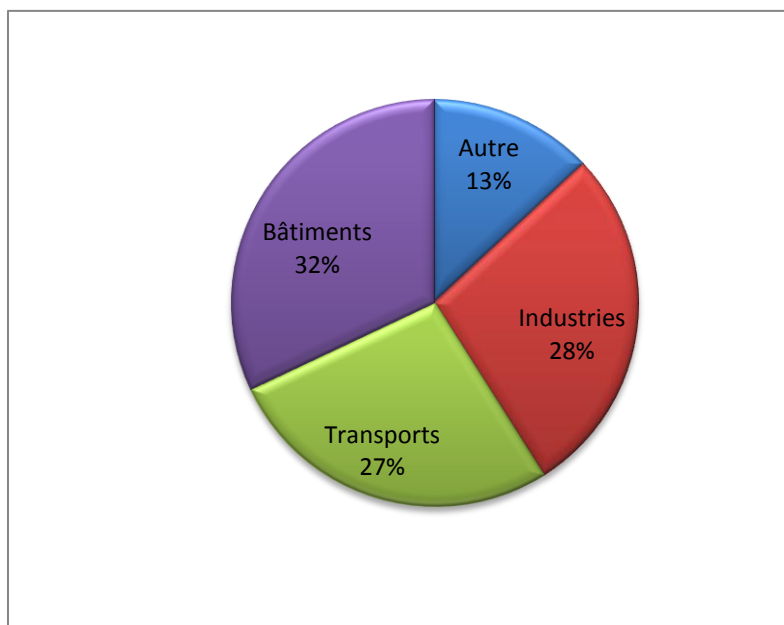


Figure 1-8 : Répartition de la consommation mondiale d'énergie finale par secteurs en 2008, (Agence internationale de l'énergie, 2010).

Le potentiel d'économies d'énergie dans le secteur du bâtiment est estimé autour de 40 %, **Selon ADEME 2010**, en grande partie via des mesures économiquement viables selon **l'Agence internationale de l'énergie (2009)**.

Dans les pays du Sud méditerranéen, le bâtiment est responsable de plus d'un tiers de la consommation d'énergie (38 % en moyenne, variant entre 27 % et 65 % dans les PSEM (figure 1-9) pour l'énergie, et entre 21 % et 51 % pour l'électricité). Agir sur ce secteur constitue donc un levier d'action significatif pour intervenir à la fois sur la demande (mesures d'efficacité énergétique) et sur l'offre (intégration d'énergies renouvelables).



Figure 1-9: Les Pays du Sud et de l'Est Méditerranéen (PSEM).
[Henri-Luc Thibault Et El Habib El Andaloussi, 2011]

Parmi les divers types de bâtiments existant dans les PSEM, résidentiels, administratifs, commerciaux, le résidentiel représente à lui seul plus de 60 % des émissions de gaz à effet de serre du secteur. Ces tendances ne devraient pas s'infléchir dans les années à venir compte tenu de la croissance attendue de la population de la région et de l'augmentation prévisible du niveau de vie global impliquant un taux d'équipement croissant.

Le secteur résidentiel recèle donc un important potentiel d'économies d'énergie et ceci à des coûts relativement compétitifs. Ainsi, des projets pilotes ont montré qu'avec un surcoût de 10 % à 25 % à la construction, jusque 60 % d'économies d'énergie (principalement liées aux usages de la climatisation et du chauffage) pouvaient être réalisées **[Henri-Luc Thibault Et El Habib El Andaloussi, 2011]**.

La région du sud de la méditerranée ne déroge pas à ce constat puisque, en moyenne, le secteur du bâtiment représente environ 38% de l'énergie consommée (ce pourcentage varie

entre 27 et 65% selon les pays). Il représente, par ailleurs, le gisement d'économie le plus important qui se situe souvent autour de 40% dans la plupart des pays de la région. Ce potentiel peut être atteint à travers l'agrégation de l'effet de plusieurs mesures individuelles, comme le montre le graphique (Figure 1-10) suivant issu d'une étude réalisée par **Plan Bleu** en 2009.

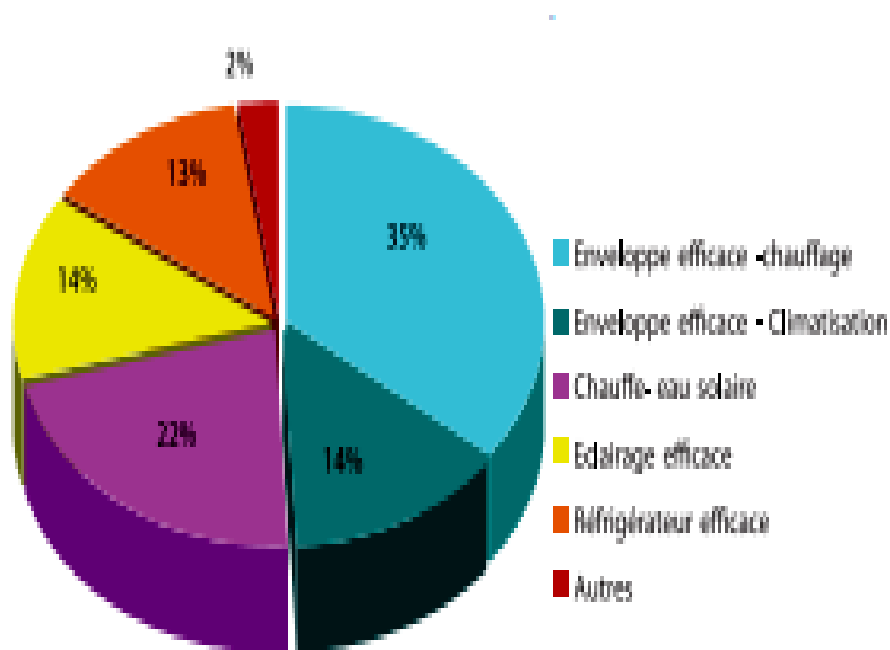


Figure 1-10 : Structure du potentiel d'efficacité énergétique dans la région de la méditerranée du sud sur la période 2010-2030.

(Étude régionale sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment, Plan Bleu, 2009).

Notons que la mesure de l'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe des bâtiments couvre à elle seule 50% de ce potentiel, grâce aux économies d'énergie qu'elle implique pour les besoins de chauffage et de climatisation. Il en découle l'importance des mesures réglementaires relatives aux performances thermiques des bâtiments [**Henri-Luc Thibault Et El Habib El Andaloussi., 2011**].

VI.2. Contexte environnemental

VI.2.1. Effet de serre et changements climatiques

L'énergie se trouve au cœur de la problématique du changement climatique. L'augmentation de la teneur en CO₂ constatée dans l'atmosphère est liée à l'activité humaine et en premier lieu à la production d'énergie ; en deuxième lieu, à la consommation d'énergie finale dans le secteur du bâtiment (climatisation des bâtiments, le chauffage, etc.). Près des deux tiers sont directement imputables au secteur de bâtiment, et proviennent essentiellement des installations de chauffage et de production d'eau chaude et de froid. Elles ont augmenté de plus de 23% en 2012, ici nous prenons en compte les seules émissions de CO₂ qui ont été

relativement stables dans le secteur résidentiel et tertiaire, en incluant l'électricité et les réseaux de chaleur comptabilisés dans le secteur de l'industrie d'énergie. Nous estimons que la consommation d'énergie du secteur entraîne l'émission d'environ 120 million de tonnes de CO₂.

VI.2.2. Impact du secteur bâtiment

La croissance du nombre de bâtiments est un facteur explicatif de la croissance de la consommation d'énergie du secteur tertiaire.

Le secteur du bâtiment n'arrive qu'en deuxième position avec 23% des émissions après le secteur du transport mais reste un secteur très fortement contributif. Sa contribution moindre est due en partie à l'utilisation d'énergie moins émettrice de CO₂ et plus diversifiée que pour le secteur du transport qui utilise du pétrole à plus de 90 % [ADEME, 2010].

Le bâtiment peut être considéré comme un nœud énergétique complexe car il est relié à de nombreux flux énergétiques : réseaux de chaleur, réseau électrique, réseau de gaz et apport gratuit (solaire, vent).

VI.3. Énergétique du bâtiment

VI.3.1. Le bâtiment est un gros consommateur d'énergie

Le bâtiment est classé comme étant un secteur énergivore ; en conséquence, il est source d'une partie non négligeable de la pollution [N. Morel et E. Gnansounou, 2008].

Cette énergie est l'objet de nombreux usages, notamment :

- **Le chauffage** et/ou le **refroidissement**, pour assurer un climat intérieur confortable ;
- **La circulation** de fluides tels que l'air (ventilation), l'eau (eau chaude, chauffage) ;
- **Les transports** (ascenseurs) ;
- **L'éclairage** ;
- **Les communications** (téléphone, radio, télévision) ;
- **La production** de biens (fabriques, cuisines, couture, etc.).

Dans les **climats tempérés et froids**, la plus grande part de l'énergie utilisée par un bâtiment sert au chauffage. Le flux de chaleur généré dans le système de chauffage aboutit inévitablement à l'extérieur par différentes voies plus ou moins directes.

Dans les **climats plus chauds**, il peut être nécessaire et en tous cas confortable d'abaisser la température intérieure des bâtiments. Ce refroidissement, et l'assèchement de l'air (sous les tropiques) peut aussi être un grand consommateur d'énergie.

VI.3.2. Le bâtiment devrait être confortable

Si un bâtiment est bien conçu et construit, il peut fournir un confort nettement supérieur (courbe de la Figure 1-11). Un tel bâtiment ne surchauffe pas ou peu en été et profite des gains solaires pendant les périodes froides, pour raccourcir la saison de chauffage [N. Morel et E. Gnansounou, 2008].

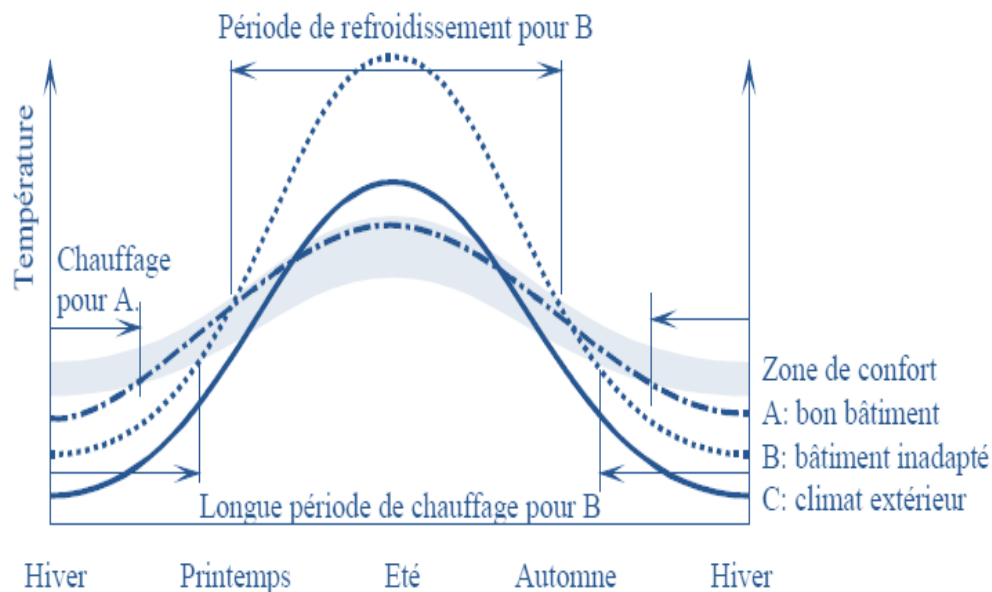


Figure 1-11 : Évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, sans effet des installations techniques de chauffage ou climatisation (N.Morel et E.Gnansounou ,2008).

La bande grisée représente les exigences de confort. C représente la température extérieure, A un bâtiment bien conçu et B un bâtiment inadapté à son climat.

Un bâtiment inadapté à son climat, a tendance à surchauffer en saison chaude et à être glacial en saison froide. Ces bâtiments consomment de grandes quantités d'énergie pour assurer un confort acceptable.

VI.3.3. Applications de l'énergétique du bâtiment

Pour limiter la consommation d'énergie à des valeurs raisonnables, il est nécessaire de savoir où agir. Il faut donc pouvoir prédire les flux d'énergie dans le bâtiment, afin d'agir là où les mesures d'économie d'énergie seront les plus efficaces et les mieux à même d'offrir un confort élevé.

La connaissance des flux d'énergie au travers d'un bâtiment est nécessaire à la prise de décisions ou à la planification de travaux, notamment pour les tâches suivantes :

- Tenir compte de tous les critères voulus dans le choix de stratégies possibles lors de rénovation ou de construction d'ensemble d'immeubles. Parmi les critères à envisager, il y a non seulement le coût, l'esthétique ou l'habitabilité, mais aussi la consommation d'énergie.
- Dimensionner correctement les installations énergétiques, en calculant la puissance de pointe minimum nécessaire ;
- Prévoir la consommation annuelle et la minimiser en choisissant la variante la plus économique globalement, tout en tenant compte du confort et des contraintes architecturales.

Diminuer la consommation d'énergie primaire en minimisant tous ces flux, en les faisant passer aux bons endroits et en captant au mieux la chaleur de l'environnement (énergie solaire, pompes à chaleur) est un problème où la physique a déjà apporté des solutions et qui continue à être étudié. Les solutions à ce problème particulier peuvent entraîner des problèmes ailleurs, et en tous cas ont une influence sur les diverses caractéristiques du bâtiment. De ce fait, il ne faut pas se restreindre à des examens sectoriels pour résoudre des problèmes dans le bâtiment, mais toujours envisager toutes les conséquences d'une modification [N.Morel et E.Gnansounou , 2008].

VI.4. Modes de transfert de chaleur

« La chaleur passe toujours d'un lieu plus chaud à un lieu plus froid ».

La chaleur a toujours tendance, en hiver, à se déplacer des espaces de vie chauffés vers l'extérieur de la maison et vers des espaces mitoyens non chauffés, tels que les greniers, les garages ou les sous-sols (tout espace dont la température est plus basse). En été au contraire, la chaleur se dirige de l'extérieur vers l'intérieur de la maison (figure 1-12).

Pour maintenir un certain niveau de confort, la perte de chaleur en hiver doit être compensée par un système de chauffage, tandis que la chaleur accumulée en été doit être évacuée par un système de climatisation. Une grande quantité d'énergie est ainsi gaspillée dans la majorité des bâtiments.

Les systèmes de chauffage fonctionnent généralement au gaz naturel ou à l'électricité, et la plupart des systèmes de climatisation fonctionnent à l'électricité.

La demande de chauffage des bâtiments d'habitation durant les périodes froides est ce qui consomme le plus d'énergie. Si l'on réduit la demande de chauffage grâce à une meilleure isolation, à la récupération de chaleur, à l'installation de vitrages performants, à l'utilisation d'énergie solaire passive et à d'autres mesures, le système de chauffage peut être petit à petit simplifié, et non seulement les besoins en énergie pour chauffer les bâtiments en sont alors réduits, mais la facture de chauffage et les émissions de CO₂ également. [S. García Beltrán, L. Kochova, G. Pugliese, P. Sopoliga, 2010]

La chaleur passe naturellement des zones chaudes aux zones froides, en utilisant essentiellement quatre modes de transport : [N.Morel et E. Gnan ; sounou , 2008]

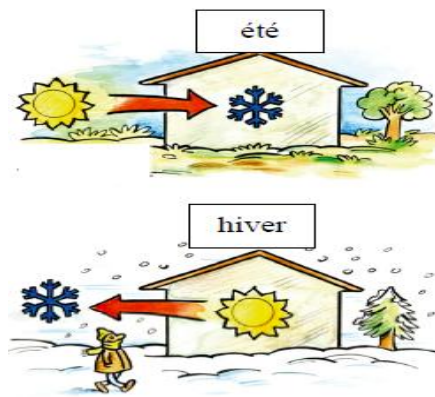
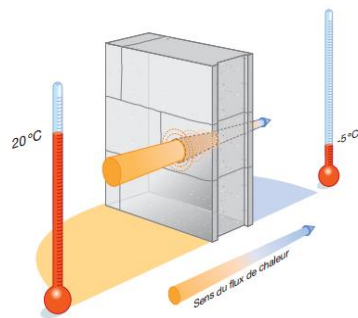
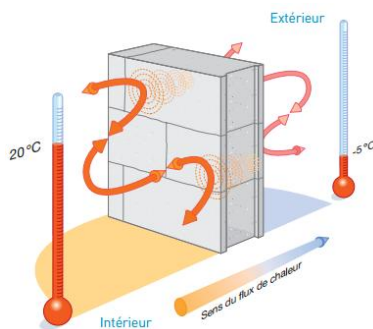


Figure 1-12 : Différence de température et transfert de chaleur (N.Morel et E.Gnan sounou ,2008).

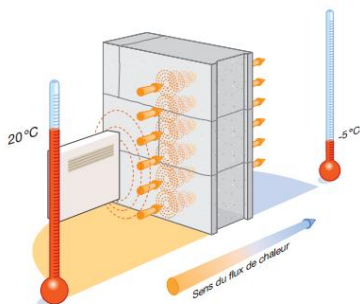


La **conduction** : C'est la transmission d'énergie de proche en proche dans la partie solide d'un matériau.

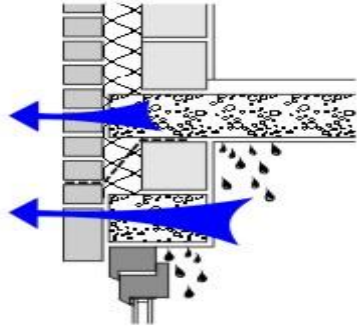
La chaleur se transmet par contact, du milieu le plus chaud vers le milieu le plus froid. En hiver, la chaleur émise dans une pièce va se transmettre à l'enveloppe du bâtiment par contact et se dissiper progressivement vers l'extérieur.



La **convection** : transport de chaleur par transport (naturel ou forcé) de matières chaudes vers une zone froide ou vice versa.



Le **rayonnement**, ou transport de chaleur par émission et absorption de rayonnement électromagnétique par les surfaces des corps.



L'évaporation-condensation : La chaleur cédée à un matériau pour l'évaporer est restituée à la surface sur laquelle la vapeur se condense.

Ce dernier phénomène implique une migration combinée de chaleur et d'eau. Il peut être la source de problèmes d'humidité (moisissures, gel, dégâts) rencontrés dans des bâtiments.

VI.5. Déperdition thermique

Les déperditions représentent la quantité d'énergie qu'il est nécessaire d'émettre en œuvre pour chauffer une pièce, un bâtiment.

Les pertes d'énergie d'un bâtiment sont en majorité dues à une enveloppe inadaptée. L'enveloppe comprend les murs, les sols, le toit, les portes et les fenêtres. La figure ci-après nous montre d'où provient généralement le transfert de chaleur, à savoir des murs extérieurs et des espaces mitoyens non-chauffés.

Des majorations doivent être appliquées aux déperditions. Ces majorations sont dues :

- **A l'orientation** : les parois orientées vers le nord ou vers l'est sont soumises à des déperditions plus importantes
- **Aux vents** : les parois exposées aux vents sont soumises à des déperditions plus importantes.

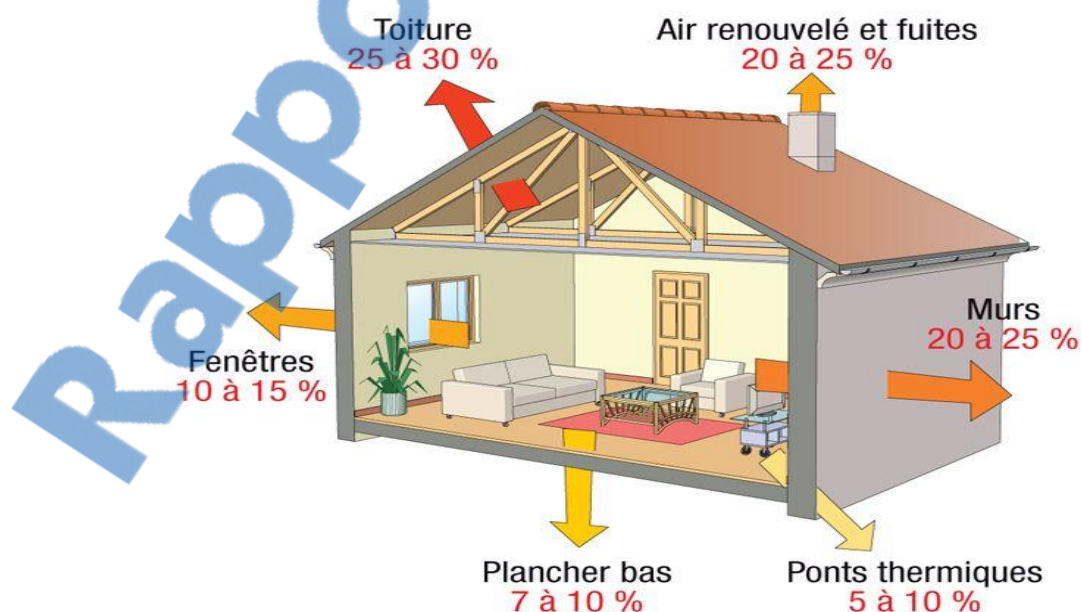


Figure 1-13 : Pertes d'énergie dans un bâtiment non isolé- (Ademe)

L'impact des ponts thermiques sur les déperditions thermiques globales du logement sera fonction de leur nombre et de leur importance (matériaux, longueur et épaisseur).

Les ponts thermiques sont les déperditions provoquées par des liaisons d'éléments constructifs entre eux (dalle, mur, menuiserie, poutres...). Ces pertes de chaleur (ou de fraîcheur en été) s'ajoutent aux déperditions dites surfaciques [Thierry Rieser, 2012].

VII. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES LOGEMENTS ANCIENS ET RÉCENTS

Le schéma de la consommation d'énergie, ci-dessous, montre les très fortes variations dans la performance énergétique des logements "anciens" par rapport aux logements "actuels". Cependant, malgré le renforcement de l'isolation thermique et l'efficacité des équipements de chauffage, la consommation d'énergie globale ne cesse d'augmenter. Les raisons principales sont l'augmentation de la surface des logements par rapport au nombre d'occupants et une amélioration générale du confort.

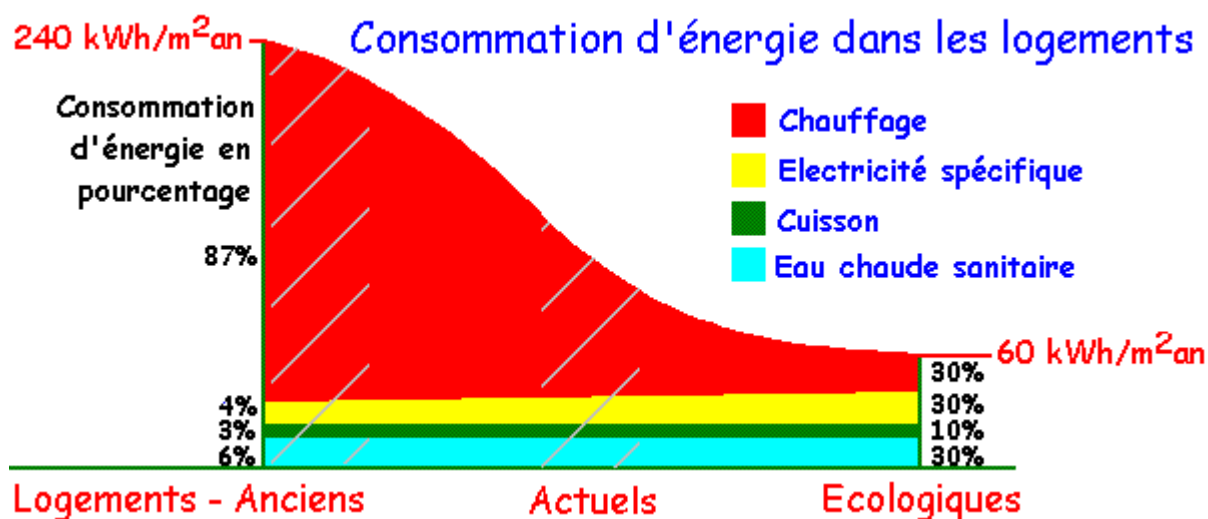


Figure 1-14 : Schéma montrant la consommation d'énergie selon la date de construction et les choix écologiques

VII.1. Le chauffage (en rouge)

La consommation d'énergie pour le chauffage d'un logement ancien est facilement divisée par 2 grâce à l'isolation thermique, l'utilisation de menuiseries et de vitrages performants, ainsi que l'installation d'équipements de chauffage moderne. Le chauffage représente 87% de la consommation d'énergie globale dans les logements anciens et seulement 30% dans les logements les plus performants.

VII.2. L'électricité spécifique (Éclairage et équipement électrique : en jaune)

La consommation a tendance à augmenter dans tous les logements à cause de l'accroissement du nombre des équipements ménagers et de loisirs.

VII.3. La cuisson (en vert)

La consommation d'énergie pour la cuisine reste inchangée. Mais, ce poste marginal dans les logements anciens prend beaucoup plus d'importance quand la consommation baisse par ailleurs.

VII.4. L'eau chaude sanitaire (en bleu)

La consommation d'énergie pour produire de l'eau chaude est en légère augmentation, car le niveau de confort recherché dans les logements actuels est supérieur aux conditions acceptées dans le passé. Dans les logements anciens, ce poste ne représente que 6% de la consommation d'énergie globale, mais avec la réduction des besoins de chauffage, le poste "production d'eau chaude sanitaire" représente près de 30% de la consommation d'énergie dans un logement moderne.

VIII. CONCLUSION

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

La conception des bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe qui nécessite une approche particulière. En effet, les choix techniques et architecturaux retenus pour ce genre de conception influent de manière très importante sur le comportement énergétique du bâtiment. Ainsi, la forme du bâtiment, sa compacité, son orientation, ont des conséquences significatives sur sa performance énergétique.

L'efficacité énergétique peut aider à lever cet obstacle. Il peut sembler paradoxal de promouvoir les économies d'énergie pour ceux qui n'ont pas d'énergie à économiser.

Donc dans le prochain chapitre nous allons voir que l'efficacité énergétique des bâtiments apparaît comme un moyen incontournable pour aller vers des bâtiments plus économes.

CHAPITRE II

EFFICACITÉ ÉNERGETIQUE DANS LE BATIMENT

I. INTRODUCTION

L'efficacité énergétique est rapidement devenue l'un des grands enjeux de notre époque et les bâtiments en sont une des composantes majeures. Ils consomment plus d'énergies que tout autre secteur et contribuent donc dans une large mesure au changement climatique, sans mesure immédiate des milliers de nouveaux bâtiments qui seront construits sans aucune considération pour l'efficacité énergétique, et des millions de bâtiments existants qui consomment plus d'énergie que nécessaire seront toujours présents. Agir maintenant implique de réduire leur consommation énergétique et de faire de réels progrès en faveur de la lutte contre la dégradation et le changement climatique.

Un bâtiment efficace énergétiquement et avant tout un concept d'ensembles saisissant dans un même processus (l'architecture, le climat, l'enveloppe et les équipements...).

Pour agir sur l'énergie d'un bâtiment il faut améliorer les propriétés techniques intrinsèques du bâtiment (enveloppe et installation) selon le type d'occupation et optimiser sur leur utilisation qui repose sur l'ajustement du besoin énergétique de l'utilisateur (action sur les comportements).

II. QU'EST-CE QUE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ?

Il existe plusieurs définitions de l'efficacité énergétique, nous retiendrons que quelques-unes :

- C'est le rapport entre le service délivré au sens large (performance, produit, énergie, confort, service) et l'énergie qui y a été consacrée **[Yves. Robillard, 2011]**.
- C'est de réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service, mieux utiliser l'énergie à qualité de vie constante **[Salomon, et al, 2004]**.
- L'efficacité énergétique se définit comme une consommation en énergie moindre pour le même service rendu **[De Béthencourt, et al, 2013]**.

De ces trois définitions se dégage un point commun, l'efficacité énergétique est le rapport entre ce que produit le dispositif ou le système, et ce qu'il absorbe comme énergie. Elle est d'autant meilleure que le système énergétique utilise le moins d'énergie possible, que cela soit le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, la climatisation, l'éclairage ou toute sorte de besoin énergétique. Consommer moins et mieux pour le même confort thermique, tel est l'objectif de tout concept d'efficacité énergétique.

III. ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV) D'UN BÂTIMENT

Le cycle de vie d'un bâtiment comprend plusieurs phases qui vont de l'extraction des éléments primaires et la fabrication des composants de construction, jusqu'à sa déconstruction sélective en fin de vie et à la remise en état du site.

Pour préserver notre environnement, le secteur du bâtiment doit jouer un rôle primordial, car il est responsable d'un large impact environnemental (les données suivantes diffèrent d'un pays à un autre) **[A. Liébard et A. de Herde, 2004]** :

- 50% des ressources naturelles exploitées ;

- 45% de la consommation totale d'énergie ;
- 40% des déchets produits (hors déchet ménager) ;
- 30% des émissions de gaz à effet de serres ;
- 16% de la consommation d'eaux dont 1 à 2% pour l'alimentation humaine.

Conscient de l'importance du défi à relever, il faut se mobiliser de plus en plus pour maîtriser et réduire autant que possible ces impacts environnementaux en cherchant à prendre en considération l'ensemble des différentes phases du cycle de vie (figure 2-1) des produits de construction et plus largement du bâtiment :

- Fabrication des produits de construction ;
- Construction ;
- Exploitation et maintenance ;
- Réhabilitation ou adaptation ;
- Déconstruction.

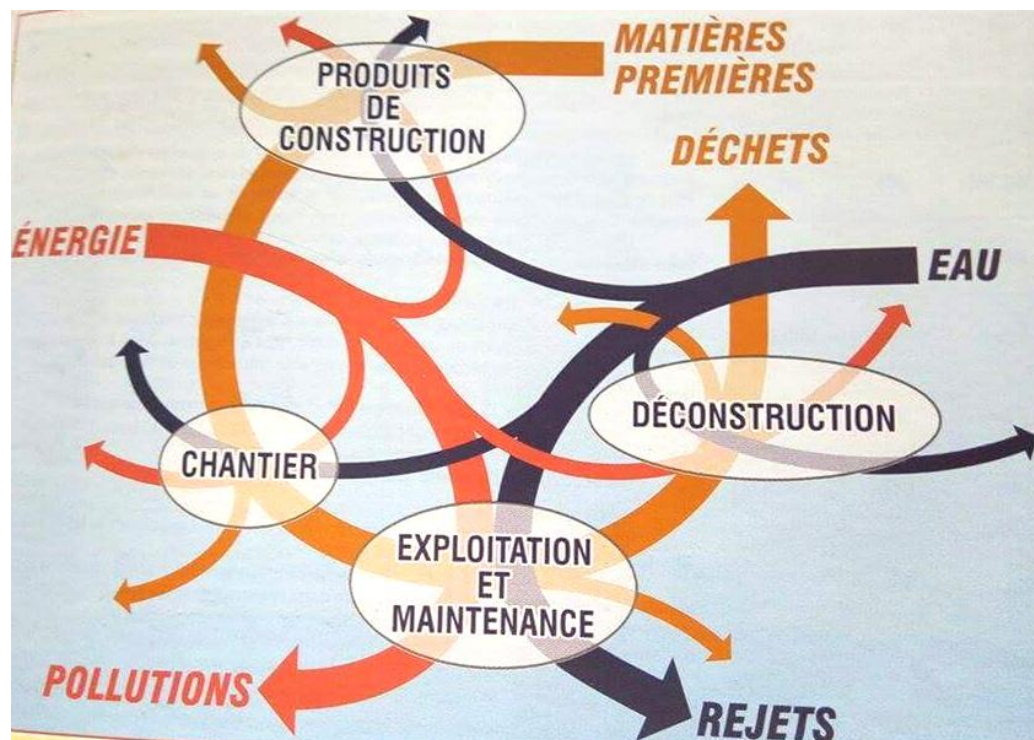


Figure 2-1 : Cycle de vie d'un bâtiment (d'après E.Dufasnes).

(A.Liébard et A.de Herder 2004)

« Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques »

A chacune de ces phases, dès la fabrication des produits de construction, les travaux entrepris constitueront une charge importante pour notre environnement en termes de :

- Consommation énergétique pour l'extraction des matières premières, le transport et la production des produits de construction ;
- Production des déchets de construction et de démolition (matières inertes, bois, métaux, pots de peinture...) ;
- Pollution de l'air, de l'eau et du sol (gaz d'échappement, huiles usagées, eaux usées non traitées...) ;

- Destruction de la flore ou de la faune existante ;
- Nuisances diverses sur l'environnement proche (bruits, poussières...).

Cependant, c'est au cours de sa vie que le bâtiment (*voir illustration au-dessus*) sera réellement le plus pénalisant pour l'environnement. La phase d'exploitation-maintenance contribue pour une large part aux impacts environnementaux d'un bâtiment : consommation de fuel, de gaz ou d'électricité pour le chauffage, le rafraîchissement, ou l'éclairage, d'eau potable pour l'alimentation ou les sanitaires, production de déchets ménagers, rejets d'eaux usées, émission de gaz à effet de serres émis par les systèmes de chauffage (CO₂, poussières,).

En fin de vie, le bâtiment devra être finalement démoli, voire déconstruit de manière à récupérer sélectivement ce qui sera devenu un ensemble de déchets. Le bâtiment disparu, il conviendra de procéder à une remise en état du site (récupération des fondations, dépollution du sol, replantation,).

IV. L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

L'efficacité énergétique et les énergies renouvelables sont deux éléments essentiels et complémentaires pour parvenir à un développement durable.

La synergie entre l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables peut être exploitée de différentes façons.

- Des mesures d'efficacité énergétique, en diminuant la consommation totale d'énergie, permettent aux énergies renouvelables de remplir une plus grande partie de la demande, de ce fait diminue le besoin d'énergies fossiles, et facilitent l'atteinte des objectifs nationaux pour les énergies renouvelables.
- L'efficacité énergétique contribue à optimiser l'utilisation de systèmes décentralisés basés sur les énergies renouvelables.
- Dans les bâtiments, les énergies renouvelables et les technologies d'efficacité énergétique sont complémentaires : des ressources renouvelables locales pour rafraîchir, chauffer l'eau et produire de l'électricité peuvent être optimisées par des mesures d'efficacité énergétique [Praia, Cap Vert, 2012].

Mais La rentabilité des énergies renouvelables est encore faible par rapport aux énergies traditionnelles, car si elles sont abondantes, encore faut-il les capter, les collecter, les concentrer et les transporter. La résultante est que les investissements sont très élevés et les coûts restent souvent plus importants que pour les énergies fossiles. Les politiques publiques de soutien sont donc indispensables. Des aides sont nécessaires pour permettre aux énergies renouvelables de prendre leur envol.

V. L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Les avantages de l'efficacité énergétiques pour le développement sont nombreux : réduction des importations d'énergies fossiles et baisse de la facture énergétique, consolidation de la productivité de l'industrie, amélioration des conditions de vie des populations, réduction des impacts sur l'environnement des consommations d'énergie.

En développant l'efficacité énergétique, non seulement des emplois peuvent être créés, mais cela peut aussi entraîner des baisses des coûts de production de l'électricité. L'efficacité énergétique est donc un facteur clé du développement sobre en carbone. C'est d'ailleurs l'objet de l'article 2 du Protocole de Kyoto qui indique que l'accroissement de l'efficacité énergétique serait profitable au développement durable et à l'économie. [Ange BAIMEY & al, 2012]

Le développement durable est la recherche, tout au long d'un projet, d'un juste équilibre entre les aspects sociaux, économiques et environnementaux. C'est *"un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs"*. [Madame Gro Harlem Brundtland, Premier Ministre Norvégien, France (1987)]. Chaque logement doit respecter, les 3 fondements du développement durable :

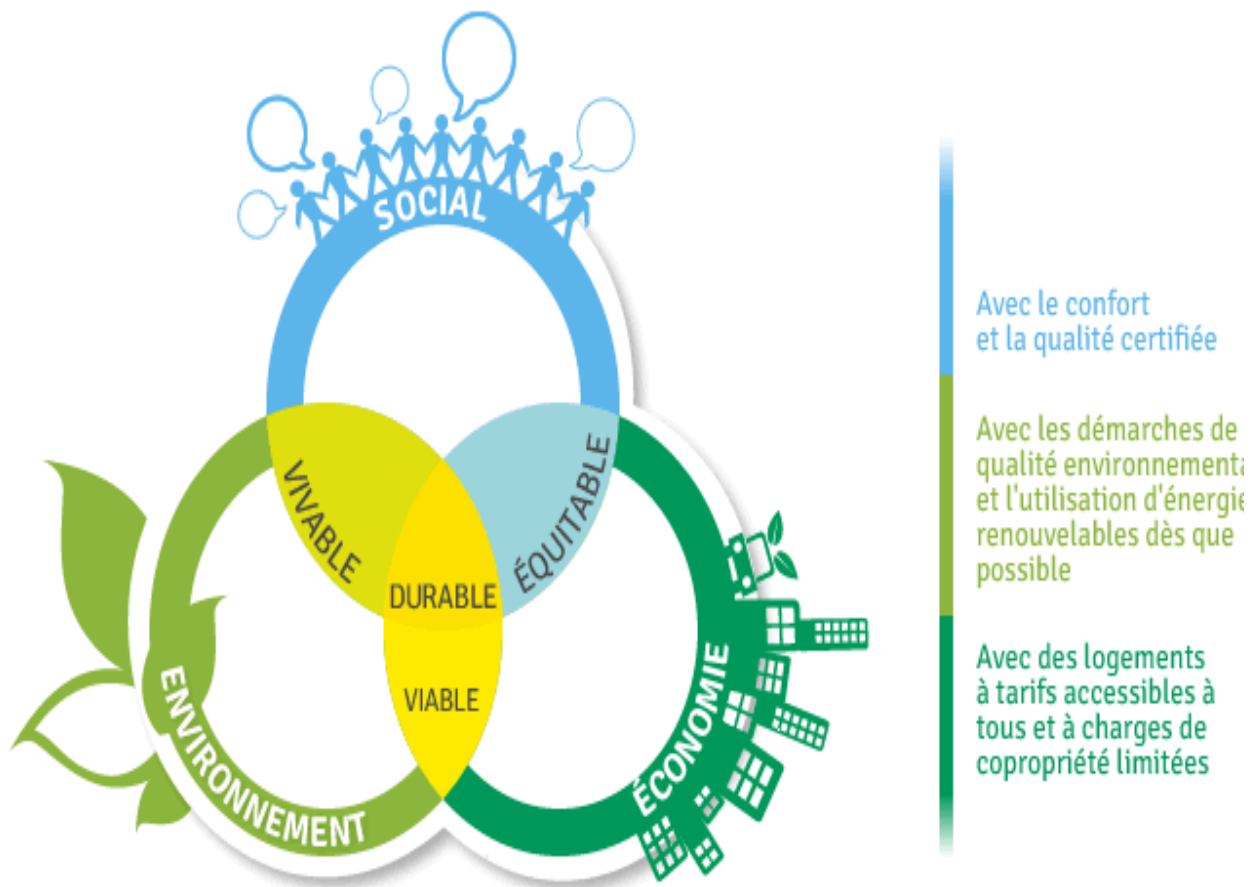


Figure 2-2 : les 3 fondements du développement durable
(Crédit Agricole Immobilier)

VI. L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT

L'efficacité énergétique d'un bâtiment est influencée par divers facteurs : orientation, forme, qualité de l'isolation thermique, choix des fenêtres, utilisation de protections solaires, etc. Pour limiter les besoins en chauffage et en climatisation, et par là même les rejets polluants dans l'atmosphère, les communes pourront veiller à ce que tous ces aspects soient optimisés dès le stade de la construction.

VI.1. La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique

En matière d'efficacité énergétique, il faut principalement jouer sur deux leviers : diminuer les besoins qui sont relatifs au bâti proprement dit, et améliorer les équipements techniques du bâtiment et leur gestion. Un troisième levier très difficile à quantifier et qui est le comportement de l'utilisateur être inclus.

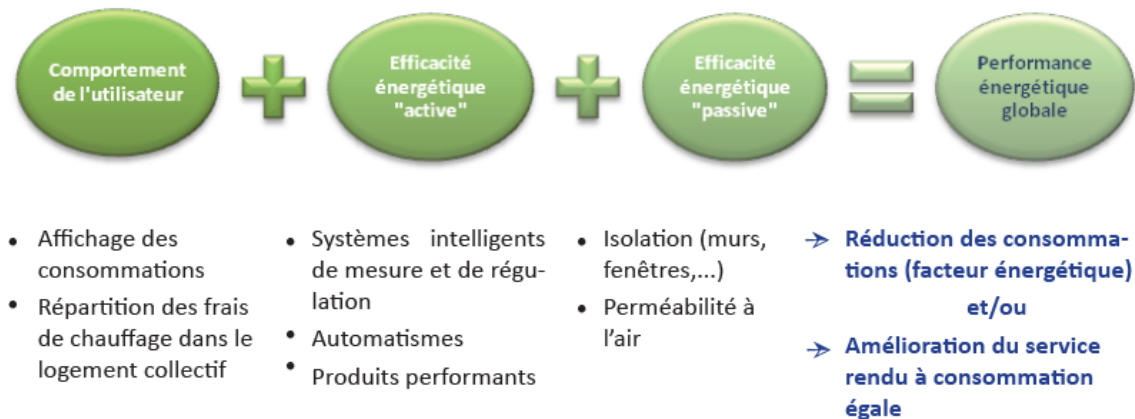


Figure 2-3 : La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique (Alix DESSONS ,Giles CAMBILLAU,David DESSONS)

VI.1.1. Diminuer les besoins : efficacité énergétique « passive »

L'efficacité énergétique passive résulte d'une part de l'isolation du logement et sa perméabilité à l'air, en utilisant par exemple des matériaux performants d'isolation thermique ou des menuiseries à triple vitrage, d'autre part, du choix d'équipements les plus performants c'est à dire des produits qui rendront le même service en consommant moins.

VI.1.2. Superviser et gérer les équipements techniques du bâtiment : efficacité énergétique « active »

Basée sur une offre de produits performants et de systèmes intelligents de régulation, d'automatismes et de mesure, l'efficacité énergétique active permet de :

- Réduire les consommations d'énergie, donc la facture énergétique ;
- Améliorer la qualité et la disponibilité de l'énergie en consommant l'énergie juste nécessaire.

VI.2. Les étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique

L'amélioration de l'efficacité énergétique consiste, par rapport à une situation de référence soit à [Yves. Robillard ,2011] :

- augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie constante ;
- économiser l'énergie à service rendu égal ;
- réaliser les deux simultanément.

Les solutions d'efficacité énergétique consistent le plus souvent à économiser l'énergie à service rendu égal ou à augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie

constante. Elles visent donc à améliorer la performance délivrée avec une moindre consommation d'énergie.

Un projet d'amélioration de l'efficacité énergétique d'un bâtiment comporte plusieurs étapes qui vont, à travers des actions cohérentes, permettre des gains énergétiques en agissant sur différents paramètres humains et matériels.

L'approche conceptuelle d'amélioration de l'efficacité énergétique est identique pour les secteurs résidentiels et tertiaires. En revanche la mise en pratique sur le terrain sera différente en raison des divergences liées :

- Aux aspects techniques ;
- Aux matériels à mettre en œuvre ;
- Aux coûts d'exploitation et de maintenance ;
- Aux méthodes de financement ;
- Aux temps de retour sur investissement.



Figure 2- 4: Les leviers de l'efficacité énergétique
(Guide vers un bâtiment durable : les équipements et solutions d'efficacité énergétique (Yves. Robillard, 2011))

VI.2.1. Les leviers d'action :

a. L'utilisation de produits performants

Pour réduire les consommations d'énergie, il est indispensable de choisir des équipements possédant le meilleur rendement énergétique possible, c'est-à-dire le meilleur rapport entre l'énergie consommée et le service rendu.

b. L'intégration des énergies renouvelables

Le recours aux énergies renouvelables dans une démarche d'amélioration énergétique permet d'obtenir une partie de l'énergie nécessaire au bâtiment (électricité, chauffage, eau chaude sanitaire) de façon renouvelable et donc de diminuer voire supprimer l'apport d'énergie extérieur.

c. Mesure des consommations

La gestion de l'énergie d'un bâtiment consiste en premier lieu à compter/mesurer les consommations. Pour la partie électrique et gazière, une installation classique comporte un compteur général qui fournit les consommations globales en vue de leur facturation par le distributeur d'énergie. Une installation optimisée comporte en plus du compteur général, des compteurs divisionnaires permanents. Leur rôle principal est d'établir la répartition des consommations d'énergie par poste (chauffage, eau chaude sanitaire, ventilation, ...).

Le comptage ou la mesure des consommations permet la réalisation du bilan énergétique, la prise de conscience par l'utilisateur ou gérant des consommations et sert pour l'estimation du gisement d'économie d'énergie. Elle garantit également un suivi dans le temps de la performance énergétique.

d. L'affichage des consommations

Un afficheur permet une visualisation pour les différents usages de la consommation ou des coûts instantanés, horaires, journaliers, ou mensuels, l'historique des consommations voire les économies réalisées, ...

Pour un impact optimum, les consommations doivent être affichées en temps réel et l'afficheur positionné dans le lieu de vie pour que l'utilisateur soit sensibilisé « en permanence ». Cet affichage permet à l'utilisateur, par effet pédagogique, d'adapter son comportement, de prévoir des travaux ou des investissements en équipements ou en solutions d'efficacité énergétique, de remarquer toutes dérives de consommation que ce soit à court terme ou à long terme.

Cette solution est simple à installer tant en neuf qu'en rénovation, elle ne nécessite pas de travaux lourds sur le bâti. En moyenne, une information claire et simple du consommateur ou des usagers, par poste dans le lieu de vie en temps réel permet des économies d'énergie de l'ordre de 10%.

e. Les systèmes intelligents de Régulation et Gestion

La régulation est gérée par des automates qui sont plus au moins complexes selon les exigences du cahier des charges initial et selon le type de bâtiment : habitat individuel, collectif ou tertiaire. Ces automates permettent de traiter les informations de mesure (température, humidité...) et d'état (marche/arrêt...) des équipements de chauffage, de

climatisation et d'éclairage pour les régler, les optimiser, les sécuriser et compter l'énergie consommée.

Dans le milieu tertiaire, nous arrivons à des systèmes complexes de GTB (Gestion Technique du Bâtiment). Dans l'habitat individuel, un simple thermostat d'ambiance constitue le premier système de régulation. Ils s'installent sur des sites neufs, mais également sur des sites existants.

Ces systèmes permettent ainsi de :

- Consommer ce qui est nécessaire pour maintenir ou améliorer la qualité de vie dans le bâtiment (notion de confort) tout en contribuant à économiser l'énergie. En effet, la notion de confort et la notion d'économies d'énergie sont des indicateurs clefs de la qualité de la régulation. Ils contribuent efficacement à la performance de l'installation ;
- Fournir un outil de pilotage de l'installation à l'utilisateur ;
- Aider à modifier le comportement humain afin d'adopter de bon réflexe (comme par exemple éteindre le chauffage lorsqu'une fenêtre est ouverte).

C'est notamment le cas des systèmes de régulation pour les équipements de chauffage, de ventilation ou d'éclairage (systèmes centralisés ou embarqués) qui permettent d'adapter la consommation aux conditions extérieures et en fonction de la présence des utilisateurs (capteurs).

f. Le maintien de la performance

La conception efficace ne se suffit pas à elle-même. Elle doit être appuyée à chaque instant par une gestion rationnelle de l'énergie. La maîtrise des consommations consiste à devenir acteur conscient de ses consommations.

Partie intégrante de la maîtrise de l'énergie, le suivi de la performance permet de repérer toute déviance. En effet, le simple contrôle des factures ne suffit pas à connaître la performance de son installation. Grâce aux outils de mesure déployés, des indicateurs de performance permettent de détecter des écarts avec les consommations de référence et sont une aide à la décision pour l'utilisateur ou le gestionnaire dans la maintenance des systèmes (réglage, intervention technique, changement d'utilisation etc.).

Un entretien régulier des installations par des professionnels et le suivi par les usagers des conseils d'utilisation fournis par les fabricants sont également des éléments essentiels au maintien de la performance des installations.

VI.2.2. La construction durable

Elle s'applique pour toute construction ou rénovation qui, tout en assurant la qualité de vie des occupants, maîtrise ses impacts sur l'environnement et assure une performance énergétique optimale, en utilisant autant que possible les énergies renouvelables et les ressources naturelles et locales. On parle aussi d'éco construction.

VI.3. Les équipements :

L'efficacité énergétique d'un logement est certes dépendante de l'isolation des parois vitrées et opaques mais les équipements de chauffage, de climatisation, d'éclairage et d'eau chaude

sanitaire sont tous aussi importants dans le bilan énergétique d'un logement et demandent une attention particulière quant à leur utilisation.

VI.3.1. Le chauffage :

Le chauffage est une installation servant à la production et la distribution de la chaleur dans les locaux (habitation, bureaux, ...) afin de permettre un confort thermique.

Chauffer un local c'est lui fournir une quantité de chaleur qui compense ses pertes vers l'extérieur, de manière à amener sa température à un niveau déterminé (18 à 20 °C pour les habitations). C'est pourquoi, il est considéré comme étant l'un des aspects les plus importants à prendre en charge dans une opération de réhabilitation énergétique après l'isolation.

VI.3.2. L'eau chaude sanitaire :

La réduction de nos besoins en eau chaude constitue un poste non-négligeable d'économie d'énergie. En effet, lorsque l'on met en place des systèmes d'économie d'eau, le besoin en eau chaude baisse, et la facture énergétique également. Il faut donc penser à intégrer l'énergie solaire particulièrement efficace pour l'ECS.

VI.3.3. La climatisation

Le développement de la climatisation augmente significativement les consommations d'énergie et les émissions de gaz fluorés, qui n'existent pas à l'état naturel et dont l'impact sur l'effet de serre est de 1 000 à 8 000 fois supérieur à celui du CO₂ et qui sont d'autre part source de pollutions visuelles et sanitaires d'importance variable selon la technique choisie.

VI.3.4. L'éclairage

Privilégier la lumière du jour en tant qu'élément de maîtrise des consommations d'électricité : elle constitue un apport gratuit d'éclairage, en plus du confort visuel qu'elle procure. Veiller toutefois, à ce que cet apport de lumière naturelle ne soit pas source d'inconfort en été, et prévoir des occultations extérieures sur les façades exposées au soleil.

VI.4. Le confort thermique

Le confort thermique à l'intérieur des bâtiments est toujours souhaitable, mais parfois difficile à obtenir, en particulier l'hiver en période de chauffage et l'été lors de canicules. Les facteurs ayant une incidence sur le confort thermique sont les suivants : l'activité physique ; l'habillement ; la température de l'air ; l'humidité de l'air ; le rayonnement thermique ; la vitesse de l'air (circulation de l'air) ; la température des objets avec lesquels la personne est en contact.

VI.4.1. Température de l'air

Une température idéale de chaque espace dépend de l'activité qu'on y pratique, du moment de la journée et des préférences de chacun. L'idéal est d'éviter les grands écarts de température dans le temps entre le jour et la nuit ou entre les saisons.



VI.4.2. Humidité de l'air

L'humidité relative de l'air influence aussi la sensation de confort thermique. Idéalement, elle doit se situer entre 30 % et 70 % en hiver. En été, il est préférable que l'air soit sec pour favoriser la transpiration du corps.

VI.4.3. Courants d'air

Les courants d'air, très agréables en été, puisqu'ils favorisent la transpiration, sont très pénibles en hiver, car ils facilitent les échanges thermiques entre le corps et l'air, c'est le principe de convection :

- En été, des ouvertures bien conçues peuvent créer des courants d'air utiles et rafraîchissants.
- En hiver, au contraire, il est préférable de les diminuer ou de les canaliser afin qu'ils ne balayent pas tout l'espace.

VI.5. Enveloppe du bâtiment :

Pour certains bâtiments, l'enveloppe (les murs, les toitures, les sols, les fenêtres, les portes) peut avoir un impact significatif sur la consommation d'énergie. L'auditeur énergétique doit déterminer les caractéristiques actuelles de l'enveloppe. Pendant l'enquête, une fiche d'évaluation de l'enveloppe du bâtiment sera établie pour inclure les informations sur les matériaux de construction (niveau d'isolation des murs, sols et toitures), la surface et le nombre des différents composants de l'enveloppe (type et nombre de vitrages pour les fenêtres). De plus, les commentaires sur les besoins de réparation et les remplacements récents seront notés pendant l'enquête.

Quelques mesures classiques pour améliorer la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment sont indiquées ci-dessous [Moncef Krarti, Dominique Marchio, 2016] :

- **Ajout d'isolation thermique** : pour les parois de bâtiments sans aucune isolation thermique, cette mesure peut être rentable.
- **Remplacement des fenêtres** : si les fenêtres occupent une partie importante des surfaces exposées des bâtiments, l'utilisation des fenêtres à haut rendement (une valeur de rendement élevé, un vitrage avec couche à faible émissivité, l'étanchéité à l'air, etc.) peut réduire la consommation d'énergie et améliorer le confort intérieur.

VI.6. Contexte et enjeux de l'efficacité énergétique dans les bâtiments (approche bioclimatique et isolation thermique)

Le secteur du bâtiment est aujourd'hui l'un des premiers postes de consommation énergétique et l'un des principaux responsables des émissions de gaz à effet de serre. Derrière ce constat, les enjeux environnementaux en termes d'épuisement des ressources et de changement climatique sont très importants. Pour ces raisons, de nombreux efforts de recherche se portent sur l'efficacité énergétique des bâtiments et plus précisément sur la réduction de leur consommation énergétique. Cette volonté conduit à deux voies de recherche distinctes :

VI.6.1. La conception bioclimatique des bâtiments

La conception bioclimatique des bâtiments permet de réaliser des constructions intégrées à leur environnement et optimales pour les besoins énergétiques. Aussi elle a pour objectif de réduire les besoins énergétiques des bâtiments et d'obtenir des conditions de vie adéquates et confortables (température, taux d'humidité, luminosité...etc.) de manière la plus naturelle possible grâce à une conception intelligente des bâtiments [HESPUL, 2015].

a. Architecture bioclimatique :

L'architecture bioclimatique n'est pas chose nouvelle, nos ancêtres suivaient déjà la plupart de ses principes. Malheureusement, ce type de construction a été oublié pendant quelques temps et est remis au goût du jour récemment en y incluant des progrès de la technique.

Quelques principes qui guident la conception des maisons bioclimatiques :

- **L'implantation et l'intégration au relief** : les façades vitrées sont à placer vers le sud et le bâtiment sera abrité par un talus ou un écran de végétation afin d'optimiser l'ensoleillement et de minimiser les pertes dues aux vents froids.
- **Le volume de la maison** : une forme compacte est à préférer pour éviter les déperditions thermiques (en été comme en hiver). Afin d'augmenter le confort thermique, des matériaux tels que la dalle massive, l'argile, ...seront utilisés pour leurs propriétés d'inertie thermique et ainsi créer des accumulations de chaleur ou de fraîcheur.
- **La disposition des pièces de vie** : Au Sud, peut accueillir une serre non chauffée. C'est un espace tampon, capteur de calories et de lumière habité temporairement. Au côté Nord, on place les pièces nécessitant peu de chauffage (garage cellier...) pour jouer le rôle de 'zone tampon' entre l'extérieur et l'habitation. C'est le principe de la « double enveloppe » (Figure 2-5).
- **Des parois performantes** : permettant des gains en chaleur passive et en lumière naturelle.
 - **L'inertie thermique** : utilisation de matériaux lourds à l'intérieur ayant la capacité de stocker les calories (exemple : un sol en pierre sombre isolé dans une serre bien exposée), permettant un déphasage jour/nuit [ÉCOCONSO, 2009].
 - **L'isolation** : performante et de préférence posée par l'extérieur pour réduire les ponts thermiques.
 - **Le vitrage** : à placer de préférence au sud pour profiter des apports caloriques du soleil et de la lumière.
 - **Les matériaux** : l'utilisation de matériaux 'bio', respirant et hygroscopiques permet une régulation naturelle de l'humidité ambiante.
 - **Les murs** : les murs exposés au soleil doivent être plutôt sombres (les couleurs sombres accumulent le rayonnement solaire tandis que les couleurs claires le réfléchissent), l'entrée principale doit être protégée par un sas pour limiter l'entrée/sortie de l'air chaud ou froid [ÉCOCONSO, 2009].

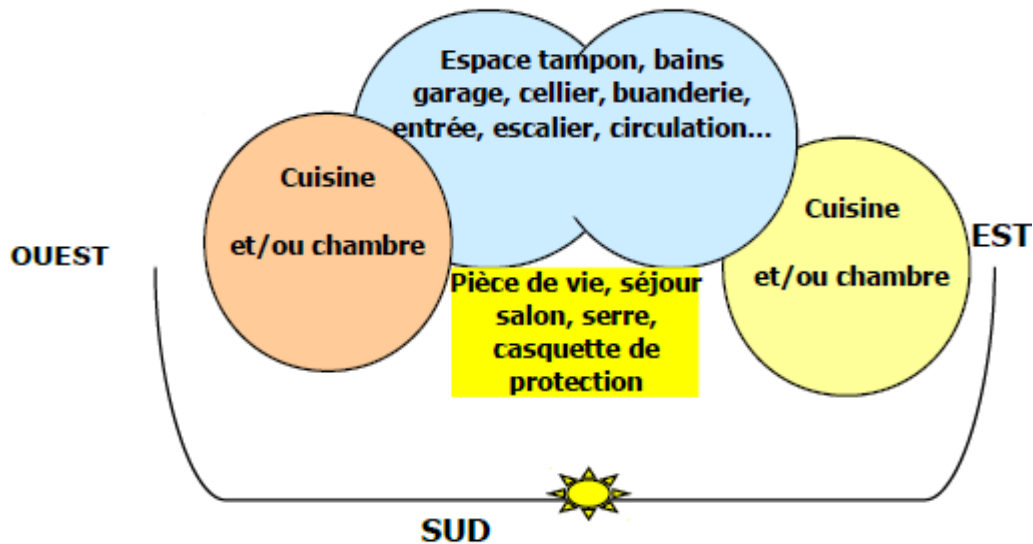


Figure 2-5 : L'implantation et l'orientation du bâtiment ou de la maison et des différentes pièces.
(HESPUL, Les grands principes de l'architecture bioclimatique, 2015)

VI.6.2. Isolation thermique

a. Thermique des bâtiments

L'ensemble des parties d'un bâtiment est soumis aux transferts thermiques, qui sont des échanges de chaleur entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur. La connaissance et la maîtrise de ces transferts thermiques permet une gestion de la facture énergétique d'un bâtiment. La diminution de ces échanges thermiques permet de maintenir une température tempérée à l'intérieur du bâtiment en y apportant le moins d'énergie possible. Elle permet également d'orienter la conception du bâtiment dans un cadre réglementaire tout en visant un compromis entre coût énergétique et confort.

➤ Conductivité thermique

Un matériau isolant thermique est un matériau à basse conductivité thermique apparente. Avec épaisseur relativement faible, il présente une résistance thermique suffisante pour les besoins envisagés. C'est donc un matériau qui transmet mal la chaleur, que ce soit par conduction, convection ou rayonnement [Claude-Alain Roulet, 2007].

- Pour éliminer la **conduction**, il faut éliminer la matière. Le vide ne conduit pas la chaleur.
- Pour éliminer la **convection**, il faut immobiliser ou supprimer les fluides. Il n'y a de convection possible ni dans le vide, ni dans un fluide immobilisé.
- Pour éliminer le **rayonnement**, il faut des écrans opaques au rayonnement, ou des surfaces non émissives (donc réfléchissantes) au rayonnement thermique.
- Pour éliminer l'**évaporation - condensation**, il faut utiliser des matériaux secs.

b. L'isolation comme solution d'urgence face à la crise

En hiver, l'enveloppe du bâtiment doit limiter les déperditions de chaleur, pour trois raisons importantes :

- Éviter que la température intérieure des parois extérieures soit trop basse, ce qui crée un inconfort ;

- Éviter les moisissures et la condensation, qui créent un climat intérieur malsain ;
- Limiter la consommation d'énergie pour le chauffage, aussi bien pour des raisons économiques que pour protéger l'environnement.
- En été, l'enveloppe doit aider à maintenir une température agréable dans le volume habité en évitant que la chaleur de l'air extérieur et des surfaces extérieures chauffées au soleil se propage à l'intérieur.

L'isolation thermique réduit ces échanges de chaleur, donc contribue à améliorer le confort, à réduire les risques de dégâts dans les bâtiments, et à réduire la consommation d'énergie tant pour le chauffage que pour un éventuel refroidissement. C'est l'utilisation systématique, dans l'enveloppe du bâtiment, de composants qui laissent difficilement passer la chaleur.

c. Comparaison entre une construction bien isolée et non isolée :

➤ *Construction non isolée*

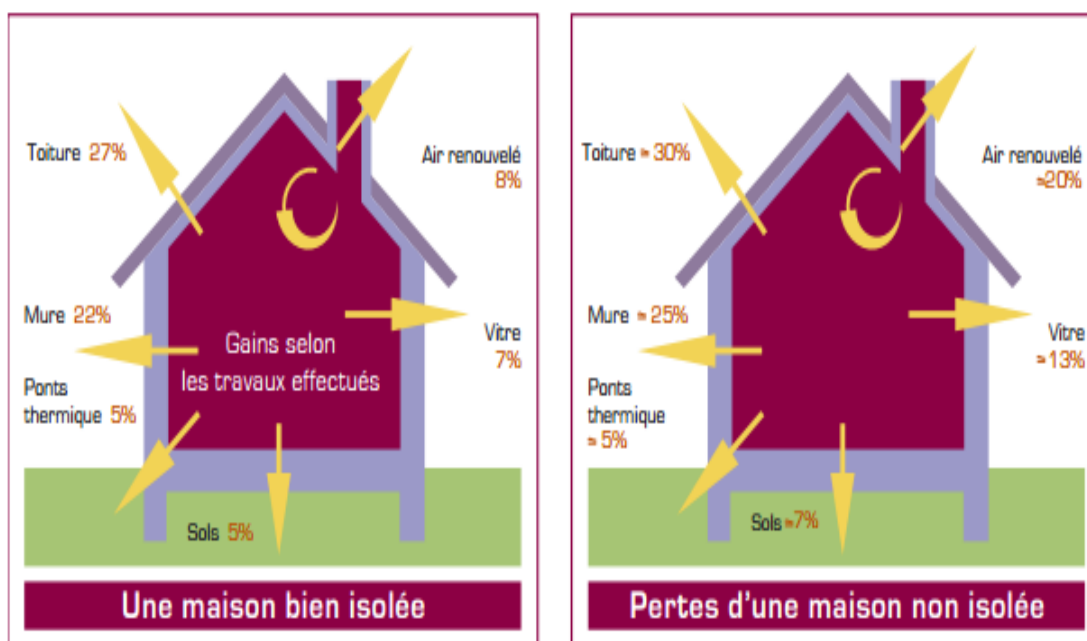
En hiver, les déperditions sont maximales au niveau de l'ensemble des parois opaques et vitrées et des liaisons structurales. La ventilation naturelle n'est pas contrôlée et augmente les déperditions. En été, le soleil surchauffe l'ambiance intérieure.

➤ *Construction bien isolée*

En hiver comme en été, les transferts de chaleur sont réduits sur l'ensemble des parois. La ventilation mécanique contrôlée, optimise le renouvellement d'air pour le moins de déperditions possibles. Selon l'orientation, la taille des baies, le mode de vie des occupants, et les apports gratuits d'énergie peuvent représenter jusqu'à 20 % des besoins. Ils réduisent d'autant les besoins d'énergie [Erik Blin, Pascal Eveillard, 2007].

d. Systèmes d'isolation

➤ L'isolation par l'extérieur



Source ADEME

Figure 2-6 : Comparaison entre une construction bien isolée et non isolée (ADEME)

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

➤ L'isolation par l'intérieur

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

d. Comparaison entre l'isolation par l'extérieur et l'isolation par l'intérieur

Chacune des solutions présente des avantages et des inconvénients. Dans le tableau suivant nous dressons le comparatif entre les différentes méthodes. [ALI BEN HMID & al, 2010].

Tableau 2-1 : Comparaison entre l'isolation par l'extérieur et l'isolation par l'intérieur

Critère	Isolation par l'intérieur	Isolation par l'extérieur
Inertie	L'inertie du mur n'est pas utilisée.	Le confort intérieur est amélioré par la capacité d'accumulation de chaleur des murs.
Ponts thermiques	Ne sont pas traités ou Difficilement traitable.	Les ponts thermiques sont pratiquement inexistantes.
Protection contre les Écarts de température	Le mur est sujet à toutes les variations extérieures.	La paroi est protégée des écarts de température trop importants.
Mise en œuvre	Facile mais nécessite beaucoup d'attention pour le traitement des ponts thermiques.	Nécessite une main d'œuvre Spécialisée avec un Apprentissage préalable.
Durabilité	Moyenne	Bonne

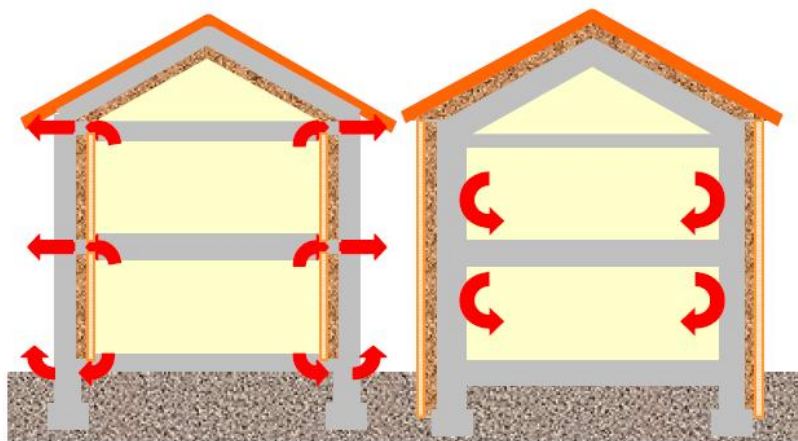


Figure 2-7 : A gauche, isolation intérieure : de nombreux ponts thermiques sont inévitables à chaque étage. A droite, isolation extérieure, entourant complètement la structure (N. Morel et E.Gnansounou . 2008)

e. Conception du système d'isolation par intérieur :

➤ Chauffage

La qualité d'une installation de chauffage est définie par la qualité du système de production de chaleur, de la distribution, du système d'émission ou des corps de chauffe, et de la régulation. Chacun de ces aspects devra être analysé pour vérifier qu'il convient à la nouvelle situation, après la réalisation du système d'isolation par l'intérieur. Une installation performante, bien entretenue et bien régulée permettra des économies d'énergie importantes.

➤ Ventilation

La ventilation est une nécessité absolue dans nos logements très isolés et bien chauffés, pour notre bien-être, notre santé et celle de notre habitation. Elle évacue en effet les nombreux polluants qui peuvent s'accumuler et dont certains, comme le monoxyde de carbone, sont extrêmement dangereux. Elle contrôle l'excès d'humidité, responsable de l'apparition de moisissures et de dégradations du bâti. Elle fournit l'oxygène nécessaire à notre vie et au bon fonctionnement des appareils de chauffage à combustion.

L'optimisation du système de ventilation est nécessaire lorsque l'isolation est renforcée. La ventilation peut être naturelle ou assistée mécaniquement. Ainsi, il est incontournable de maîtriser le renouvellement de l'air par un bon équipement de ventilation pour le confort des habitants et une bonne conservation du bâti.

f. Matériaux d'isolation et de construction

Les matériaux utilisés communément dans l'isolation des maisons peuvent être classés selon leur nature :

- Les isolants synthétiques qui sont produits par l'industrie du pétrole, le plus souvent à partir d'un ou plusieurs dérivés du processus de raffinage : polystyrène expansé ou extrudé, polyuréthane...
- Les isolants d'origine minérale sont issus de matières premières minérales (silice, argile, roches volcaniques...) : laines de roche et de verre, verre cellulaire, perlite, vermiculite, argile expansé...

- Les isolants d'origine végétale sont les plus couramment employés en construction écologique : laine et fibre de bois, laine de chanvre, de coton, de coco, de lin, ouate de cellulose, liège, bottes de paille...
- Les isolants d'origine animale : laine de mouton, plumes de canard...

g. Isolation et L'inertie thermique

L'isolation d'un bâtiment doit être envisagée via :

- Son coefficient d'isolation ;
- Son déphasage thermique ; c'est-à-dire la capacité des matériaux composant l'enveloppe de l'habitation à ralentir les changements de température (l'inertie thermique utile, par exemple, pour stocker des calories solaires le jour et les redistribuer lentement la nuit).

L'inertie thermique est la capacité d'un bâtiment à absorber puis, à restituer la chaleur de manière diffuse. Plus l'inertie est importante (plus les matériaux utilisés lors de la construction sont lourds, plus l'inertie est importante), plus le matériau stockera d'énergie. Dans les combles où la couverture freine peu le transfert de chaleur, l'inertie des matériaux isolants est très importante. **[HERVÉ BOCQUET ,2013]**

h. Les caractéristiques thermiques d'un isolant performant :

Les performances d'un isolant thermique sont déterminées par un certain nombre de coefficients qu'il est intéressant de comparer lors du choix d'un matériau.

➤ La conductivité thermique (λ) (en W/m. °C)

La conductivité thermique d'un matériau Représente sa capacité à véhiculer un flux de chaleur, traversant un matériau d'un mètre d'épaisseur pour une Différence de température de 1 degré entre les deux faces. Elle s'exprime en W/m°C. Cette valeur permet de quantifier le pouvoir isolant de chaque matériau. Plus elle est faible, plus le matériau sera isolant.

➤ Résistance thermique « R » (en m². °C/W)

Un autre indicateur est la mesure la plus significative pour représenter la performance d'une isolation. La résistance thermique noté (R), elle exprime la capacité d'un matériau à résister au froid et à la chaleur c.à.d. sa capacité à s'opposer au transfert de chaleur plus l'indice(R) est élevé plus le matériau est isolant, moins la maison perd de chaleur et donc plus il y a économie d'énergie. L'indice R s'obtient par le rapport de l'épaisseur en mètre sur la conductivité thermique du matériau on peut alors facilement calculer la résistance thermique par la relation $R=e/\lambda$ (avec e : l'épaisseur en m et λ : la conductivité en W/m. °C).

➤ L'épaisseur (e)

C'est la largeur en millimètres de l'isolant posé. Plus l'isolant est épais, plus la résistance thermique est forte.

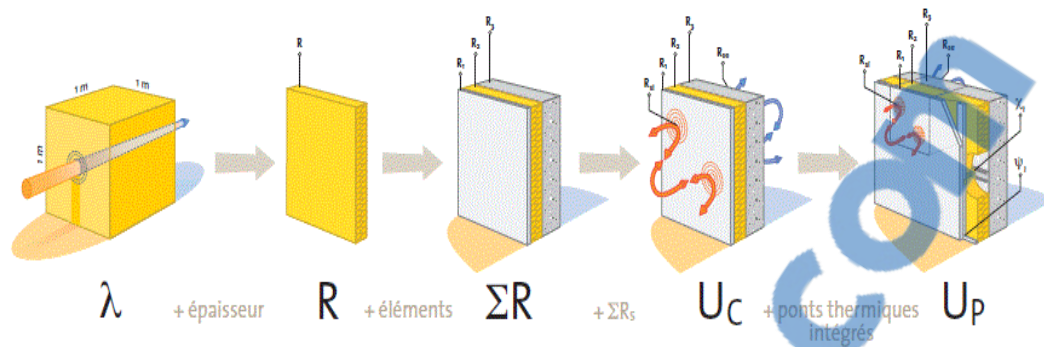


Figure 2-8 : Résumé des principales valeurs qui permettent de caractériser les performances thermiques d'une paroi opaque, (PLACO SAINT-GOBAIN ,2016)

VI.7. La Haute Qualité Environnementale (HQE)

La Haute Qualité Environnementale, ou HQE, est une démarche de management dédiée aux projets de construction dans le secteur du bâtiment.

Elle poursuit un double objectif :

- Maîtriser et limiter, pendant la construction et l'exploitation d'un bâtiment, les impacts sur l'environnement.
- Assurer, dans l'édifice, des conditions de vie saines et confortables pour ses occupants.
- La construction et les attentes en matière d'habitat évoluent. Le rôle d'un matériau est de ce point de vue essentiel, puisqu'il se doit aujourd'hui de contribuer à la fois au confort, à l'esthétique, à la protection de ses utilisateurs et de leur environnement.

➤ La démarche HQE

Elle intègre toutes les étapes de la vie du bâtiment, de la programmation à la déconstruction, en passant par la conception et l'exploitation. Elle se décompose en 14 cibles, pour aider le maître d'ouvrage à structurer et réaliser les objectifs qu'il s'est fixés. Ces cibles sont regroupées en 4 familles, qui couvrent à la fois les impacts environnementaux extérieurs et intérieurs.

Les cibles HQE sont au cœur de la démarche. Ces objectifs, au nombre de 14, sont déclinés en quatre catégories : éco-construction, éco-gestion, confort et santé.

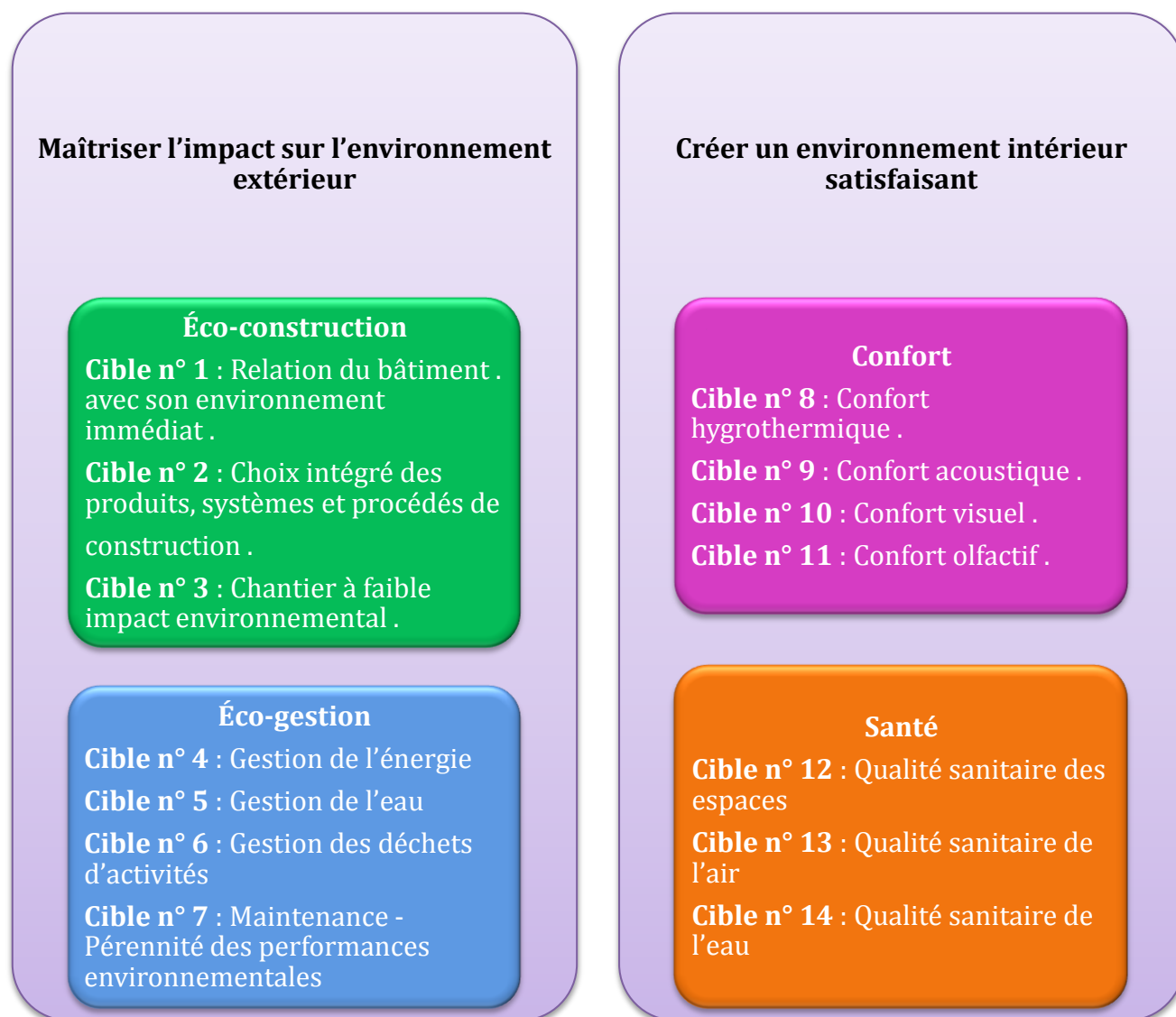


Figure 2-9 : les 14 cibles

VI.8. Diagnostic De Performance Énergétique

Reconnu comme un dispositif essentiel pour atteindre les objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement, le diagnostic de performance énergétique (DPE) permet d'estimer la performance énergétique d'un logement à un instant donné, en évaluant sa consommation d'énergie et son impact en termes d'émission de gaz à effet de serre.

Cette évaluation de la qualité thermique des bâtiments et de leur quantité d'énergie primaire consommée se fait soit sur la base de factures, soit pour une utilisation conventionnelle du bâtiment et pour 3 usages (chauffage / refroidissement, ventilation, production d'eau chaude sanitaire). Ainsi, bien qu'elle prenne en compte les conditions climatiques ainsi que la localisation géographique, celle-ci ne tient pas compte du comportement des occupants.

Le DPE permet de positionner un bâtiment selon sa performance énergétique (en kWh/m².an) et ses émissions de CO₂ (en kg CO₂/m².an) selon une échelle graduée de 7 classes : Il comprend

également des recommandations de travaux visant à améliorer son efficacité énergétique ainsi que des indicateurs sur les économies réalisables et le temps de retour sur investissement associé.

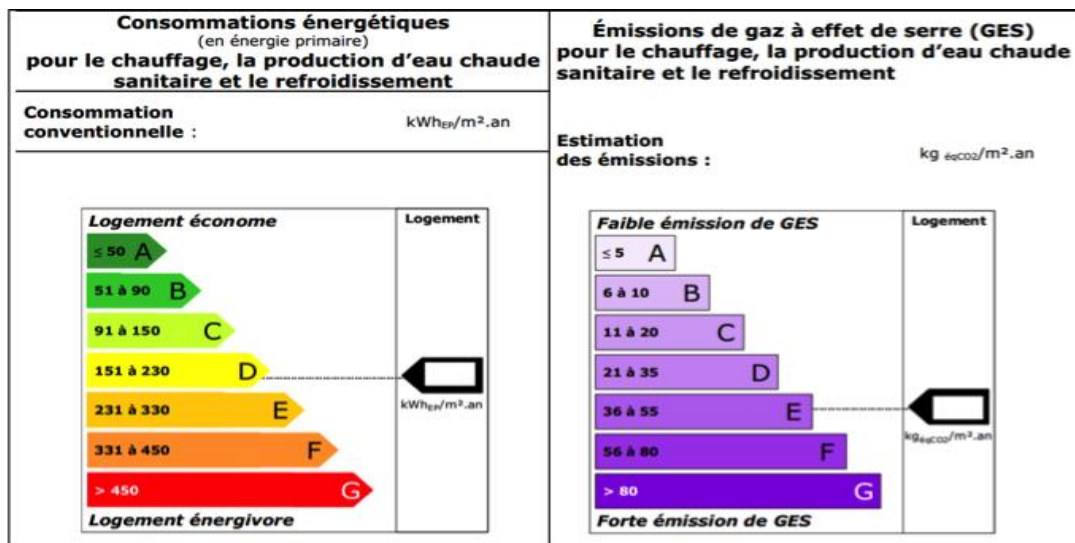


Figure 2-10 : Modèle de DPE applicable aux logements et bâtiments d'habitation pour la vente

VII. CONCLUSION

Pour une bonne efficacité énergétique, nous devons prendre en considération une conception efficace du bâtiment et une performance des équipements de chauffage, ventilation et climatisation.

Une conception efficace de l'habitat revient à bien choisir l'orientation, l'isolation thermique et le type de vitrages ainsi que les matériaux de l'enveloppe.

En augmentant l'efficacité énergétique, nous utilisons moins d'énergie et nous réduisons du même coup les émissions de gaz à effet de serre, protégeant ainsi 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.

En Algérie, le secteur du bâtiment est le secteur le plus énergivore. Sa consommation représente plus de 42% de la consommation finale. Dans Le chapitre qui suit, nous essayons de développer cette thématique pour l'Algérie et de comprendre les actions de maîtrise de l'énergie et d'efficacité énergétique proposée pour ce secteur portant notamment sur l'introduction de l'isolation thermique des bâtiments qui permettront de réduire la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation des logements.

CHAPITRE III

**EFFICACITÉ ÉNERGETIQUE DANS
LE BÂTIMENT EN ALGERIE**

I. INTRODUCTION

A l'échelle nationale, le secteur résidentiel est considéré comme étant le secteur le plus énergivore, il présente 42% de la consommation finale.

L'Algérie doit faire face à un problème énergétique croissant lié à l'évolution de sa démographie. En effet, que ce soit dans le secteur du logement, le secteur tertiaire ou autre, les besoins en énergies fossiles ou renouvelables sont proportionnels à l'évolution de la population. Dans le domaine du bâtiment, le nombre de constructions en logements ou en bâtiments tertiaires est amené à augmenter considérablement. L'absence d'application de réglementation thermique alliée à des contraintes économiques de coût de construction et des pratiques architecturales importées a longtemps favorisé la réalisation de bâtiments totalement inadaptés aux climats.

L'Algérie est un pays qui jouit d'une position relativement enviable en matière énergétique. La consommation d'énergie peut être considérablement réduite par l'adoption des stratégies d'efficacité énergétique dans le bâtiment.

II. LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE EN ALGÉRIE

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

Le bâtiment est un secteur énergivore par excellence. Selon l'APRUE (l'Agence de la promotion et de rationalisation de l'utilisation de l'énergie), sa consommation représente plus de 40% (figure 3-1) de la consommation finale d'énergie.

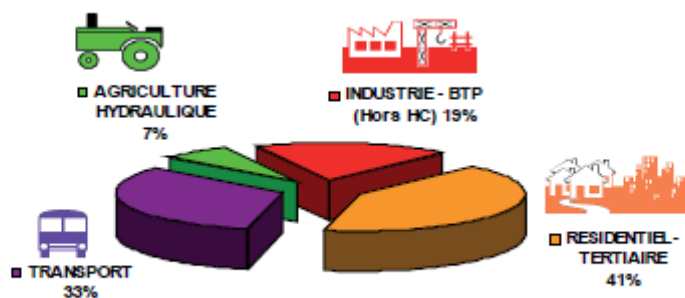


Figure 3-1 : Consommation finale par secteur d'activité en 2005 (APRUE ,2007)

Cette grande consommation énergétique a généré des émissions des gaz à effet de serre (GES) qu'ont atteint 40 milliers de Teq CO₂ en 2005. Le secteur d'industrie énergétique est le plus gros émetteur des gaz à effet de serre (GES) avec 47% des émissions globales, suivi du secteur du transport de 24% et en suite le secteur du bâtiment avec 16% (figure 3-2).

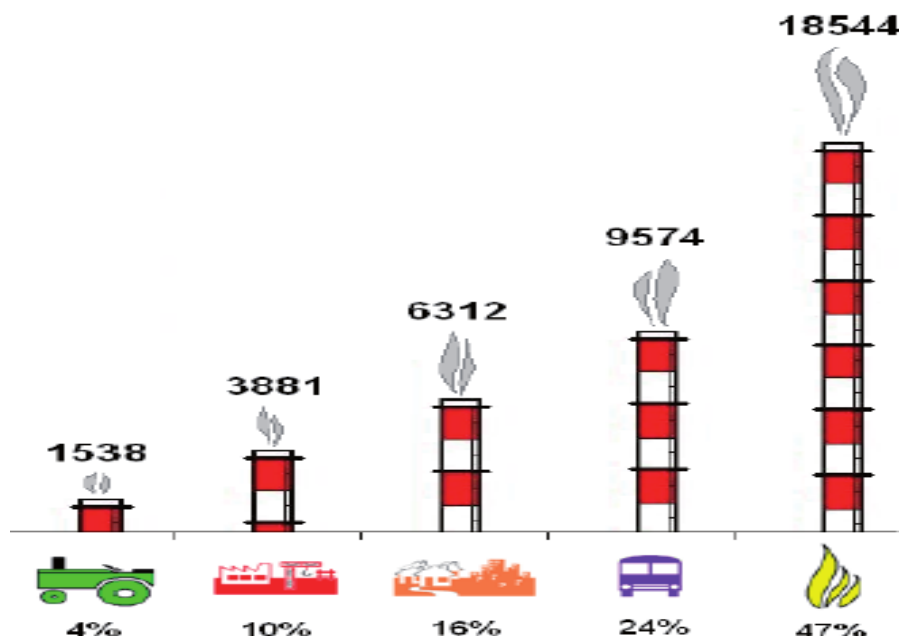


Figure 3-2: Bilan des émissions de GES par secteur, an 2005 en Teq CO₂ (APRUE, 2007)

APRUE, 2007, *consommation énergétique finale de l'Algérie. Chiffres clés année 2005.*

III. LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR TYPE D'ÉNERGIE

La consommation finale par type d'énergie est répartie comme suit [APRUE, 2007] (figure 3-3) :

III.1. Produit pétroliers

La consommation finale de ce produit a augmenté de 7.9 million de TEP en 2005 à 12.3 millions de TEP en 2010. Ce produit est utilisé dans des usages multiples et différents et presque dans tous les secteurs d'activités (la production de chaleur pour l'industrie, le chauffage pour les ménages, le tertiaire et le transport...).

III.2. Gaz naturel

La consommation finale du gaz naturel a connu un taux de croissance annuel moyen (TCAM) de 6.14% entre 2000 et 2005, ce TCAM est élevé jusqu'à 12.42% entre 2005 et 2010 ce qui est exprimé par l'augmentation de 4.9 million de TEP en 2005 à 8 million de TEP en 2010.

III.3. Électricité

La consommation finale d'électricité a augmenté de 2.1 million de TEP en 2005 à 8.6 millions de TEP en 2010. La consommation de l'électricité en Algérie a été en forte progression, notamment dans le secteur résidentiel, à cause de la croissance démographique élevée, l'amélioration du niveau de vie, et le phénomène de l'urbanisation qui est de plus en plus important.

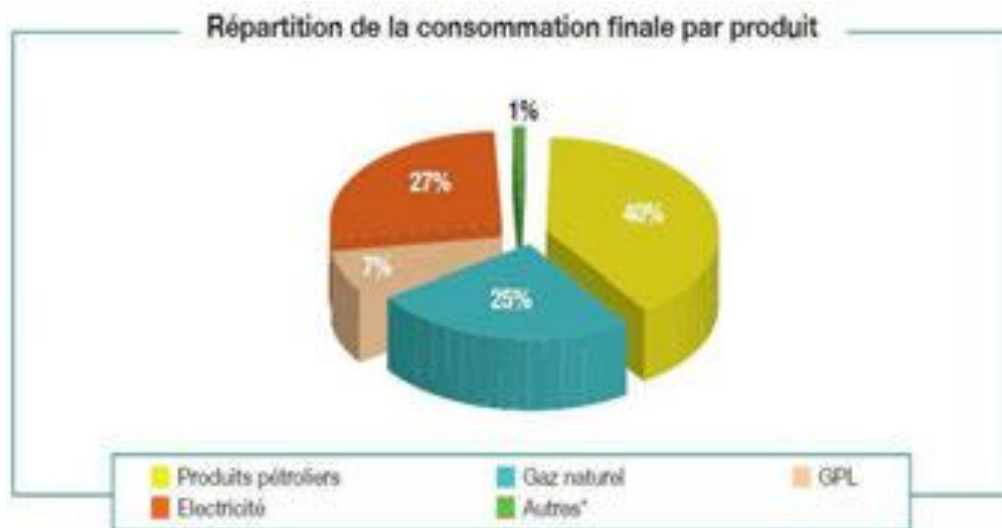


Figure 3-3 : La consommation énergétique finale par type d'énergie en 2010
(MEM, 2011)

IV. LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR SECTEUR

La consommation énergétique par secteur d'activité est donnée comme suite [APRUE, 2007] (figure 3-4) :

IV.1. Le secteur industriel :

La consommation énergétique de ce secteur a un taux de croissance annuel moyen de 5.86% entre 2000 et 2005 pour atteindre 3.2 million de TEP qui est augmenté à 8.0 million de TEP en 2010.

Le secteur de transport :

Le taux de croissance annuel moyen de la consommation finale de ce secteur entre 2000 et 2005 est de 4.49% pour atteindre 5.5 million TEP. En 2010 la consommation est élevée jusqu'à 11.2 million TEP.

Le secteur ménages et autres

La consommation énergétique est augmentée de 31.4% entre 2000 et 2005 pour atteindre 7 million TEP. Cette consommation a atteint 12.4 million TEP en 2010. Ce qui est expliqué par les efforts d'électrification et amélioration du confort des ménages en matière d'équipement et d'appareils.



Figure 3-4 : la consommation énergétique finale par secteur d'activité en 2010

(MEM, 2011)

En Algérie, la part la plus importante de la consommation a été enregistrée dans le secteur des ménages et autre qui représente 40% de la consommation finale globale. Ainsi, la consommation électrique dans le secteur résidentiel a atteint 807 KTEP, elle représente 38% de la consommation totale d'électricité. En conséquent, ce secteur a un effet de 16% dans les émissions des gaz à effet de serre globale.

Donc, le secteur des ménages et autres constitue une priorité dans l'élaboration de la stratégie et des programmes de maîtrise d'énergie. La section suivante présente quelques pistes représentent un début de réflexion sur l'économie d'énergie en général et dans le secteur du bâtiment en particulier.

La lecture de la figure ci-dessus fait ressortir que la consommation du gaz et l'électricité pour le chauffage et pour l'eau chaude sanitaire présente le taux le plus élevé.

Sachant qu'ils consomment de l'électricité ne sont pas négligeable par rapport à d'autre consommations ménagères, ce qui explique la forte demande pour le secteur habitat dont le premier besoin est le chauffage en hiver et la climatisation en été, cette évolution rapide de la consommation énergétique montre que le niveau de vie de l'individu algérien est en nette amélioration.

Pour cette raison le besoin d'énergie de chauffage ou de climatisation dans un logement résulte du maintien d'une certaine température à l'intérieur. Et ce maintien dépend des caractéristiques physiques du logement et du contexte climatique dans lequel il se trouve.

La caractéristique du logement intervient sur le besoin énergétique ; où la relation du volume de l'habitation, du degré d'isolation et de son exposition au soleil et au vent demeure essentielle [DGE, 2012].

En moyenne, l'habitat en Algérie se situe à la D voir (figure 3-5), en consommant plus que 151 kWh/an pour le chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire et éclairage [R. Kharchi, 2013].

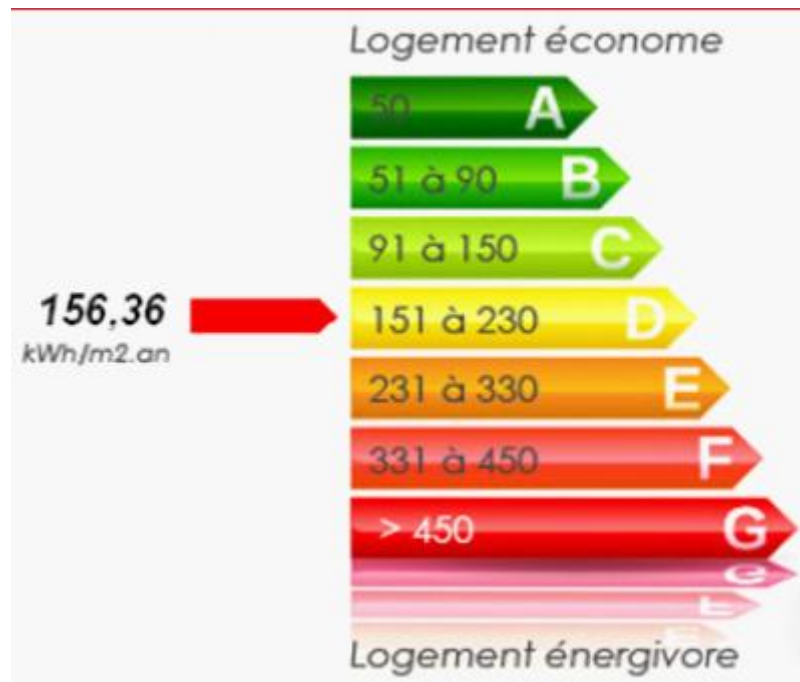


Figure 3-5 : Label énergétique européen (R.Kharchi, 2013).

V. LA STRATÉGIE NATIONALE DE LA MAITRISE D'ÉNERGIE

En effet, la maîtrise d'énergie couvre l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en point de vue utilisation rationnelle de l'énergie et du développement des énergies renouvelables. Elle répond aux soucis suivants [APRUE, 2005] :

- La préservation des ressources nationales d'hydrocarbures.
- La préservation des capacités de financement de pays utilisable dans d'autres domaines que le secteur énergétique.
- La protection de l'environnement.
- Pour maitre en œuvre cette nouvelle orientation et politique, le ministère de l'énergie et des mines (MEM) adopte les instruments suivants [APRUE, 2005] :

V.1. L'agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE)

L'APRUE représente l'élément central des instruments, elle est chargée de missions d'information, de communication et de formation en direction de tous les acteurs publics impliqués dans la maîtrise de l'énergie.

L'APRUE dispose d'un certain nombre de programmes et d'initiative visant la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment parmi ces programmes il y a :

- **Le programme ECO-BAT**

Le programme prévoit l'amélioration du confort thermique dans les logements et la réduction de la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation par :

- La mobilisation des acteurs du bâtiment autour de la problématique de l'efficacité énergétique.
- La réalisation d'une action démonstrative, preuve de la faisabilité des projets à haute performance énergétique en Algérie.
- La provocation d'un effet d'entraînement des pratiques de prise en considération des aspects de maîtrise de l'énergie dans la conception architecturale et enfin, favoriser la mise en application des normes réglementaires.

Contrairement au rôle complémentaire de la plupart des programmes précédents, le programme Eco-Bât à l'air important parce qu'il consiste à concevoir des bâtiments performant en matière d'énergie. Ainsi, Le secteur résidentiel apparaît donc bien comme une cible prioritaire pour la maîtrise de l'énergie parce qu'il est le plus consommateur.

V.2. La Comité Sectoriel de la Maitrise de l'énergie (CIME)

La CIME est un organisme consultatif, elle est chargée d'organiser la concertation et le développement du partenariat public/privé. Aussi, elle émet des avis sur toutes les questions relatives aux domaines de la maitrise de l'énergie, sur les travaux d'élaboration, de mise en œuvre et de suivi du programme nationale de maitrise de l'énergie (PNME).

V.3. Le Fond National de Maitrise de l'énergie (FNME)

Le FNME est un instrument public spécifique d'incitation financière de la politique de maitrise de l'énergie. Il doit favoriser la continuité des moyens de cette politique.

V.4. Le Programme Nationale de Maitrise de l'Énergie (PNME)

Le PNME constitue le cadre de mise en œuvre de la maitrise de l'énergie au niveau national. Il comprend :

- Le cadre et les perspectives de la maitrise de l'énergie ;
- L'évaluation des potentiels et la définition des objectifs de la maitrise de l'énergie ;
- Les moyens d'action existants et à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs à long terme ;
- Un programme d'action quinquennal.

VI. LE CONTEXTE SUR LA MAITRISE DE L'ÉNERGIE EN MATIÈRE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS A USAGE RÉSIDENTIEL

La maîtrise de l'énergie constitue une des options stratégiques de la politique énergétique nationale. Elle est dictée par le souci de la préservation des ressources énergétiques nationales, le respect des engagements internationaux en matière de protection de l'environnement (réduction des gaz à effet de serre) et la sauvegarde de la santé des citoyens.

Le programme national pour la maîtrise de l'énergie regroupe l'ensemble des projets, des mesures et des actions dans plusieurs domaines.

Pour les actions en matière d'efficacité énergétique des bâtiments à usage résidentiel portent sur :

- Isolation thermique des bâtiments ;
- Développement du chauffage –eau solaire ;
- Généralisation de l'utilisation des lampes à basse consommation d'énergie ;
- Introduction des principales techniques de climatisation solaire.

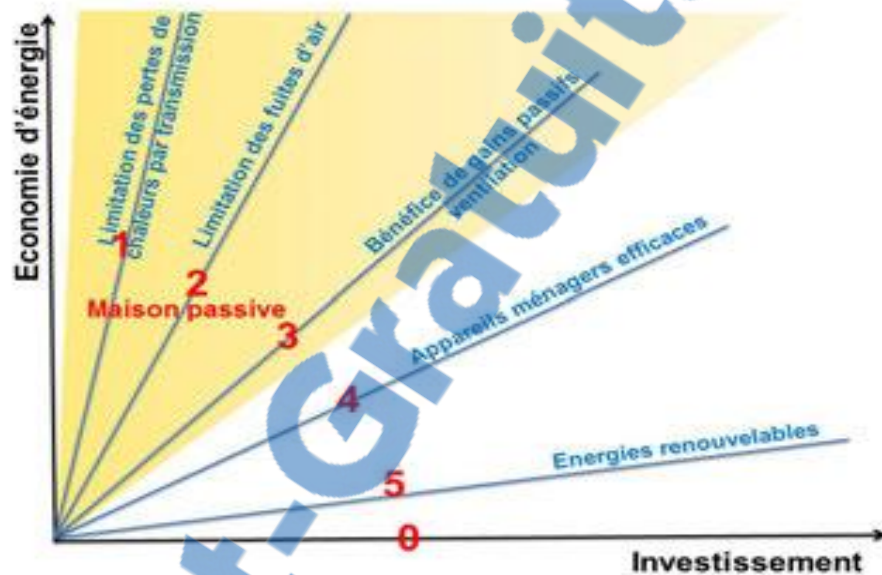


Figure 3-6 : la priorité dans le choix des investissements d'efficacité Énergétique. (RUELLE, F 2008)

En effet, lors d'un choix d'investissement, il apparaît clairement sur cette figure (figure 3-6) que le poste prioritaire doit être dédié à l'isolation (limitation des pertes de chaleur par transmission et les ponts thermiques). Viennent ensuite l'étanchéité (limitation des fuites d'air), le bénéfice des gains passifs et la ventilation (la conception architecturale adéquate du bâtiment).

Les mesures d'efficacité suivantes concernent les appareils ménagers efficaces (ou « à haute performance énergétique ») et les énergies renouvelables. On peut considérer que les mesures 1 à 3 sont « le gâteau », tandis que les mesures 4 et 5 sont « la cerise sur le gâteau ». Les panneaux solaires thermiques, photovoltaïques et autres mesures de l'état visant à promouvoir les énergies alternatives sont donc des mesures intéressantes, mais elles demeurent des mesures « complémentaires » par rapport aux priorités auxquelles elles devraient céder leur place.

Donc, l'investissement la plus important doit être à la conception architecturale performante du bâtiment qui est inscrit harmonieusement dans son environnement (site, climat, matériaux, ...).

VII. LA RÉGLEMENTATION ALGÉRIENNE

En Algérie, la réglementation thermique de 1997 des bâtiments à usage d'habitation a été conçue pour réduire la consommation de chauffage de l'ordre de 25%.

Une réflexion est engagée actuellement pour porter ce niveau d'économie à plus de 40%. Pour ce faire, des simulations numériques ont été menées sur des logements types. Il ressort de l'étude qu'en agissant sur la seule limitation des déperditions thermiques par transmission, il est possible d'atteindre ce nouvel objectif tout en réduisant substantiellement la charge de climatisation d'été. Une nouvelle réglementation thermique pourrait s'articuler autour des deux principes suivants : réserver la réglementation de 1997 à l'habitat individuel, définir de nouveaux coefficients réglementaires plus contraignants pour l'habitat en immeuble collectif.

[SIDI MOHAMED & al ,2002].

La réglementation Algérienne s'inspire en grande partie de la réglementation française, par contre les méthodes de calcul utilisées sont plus simples, elle autorise, tout du moins dans certaines limites, le calcul informatisé des besoins de chauffage. Ceci est un point positif puisque cela permet de profiter de l'inertie thermique d'un bâtiment ; un facteur très important étant donné le type de climat et de constructions existantes diffère en Algérie.

Une réglementation prenant en compte le confort thermique est prise en considération surtout durant les périodes chaudes. Une telle réglementation est d'une importance capitale étant donné le problème du confort en période d'été et de la consommation d'énergie due à la climatisation utilisée dans de nombreuses régions d'Algérie.

VIII. MISE EN APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS

La mise en application de la loi 99.09 relative à la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment s'est concrétisée par la promulgation le 24 avril 2000 d'un décret exécutif n°2000-90 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs.

Celle-ci a pour objectif l'introduction de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation et autres et dans les parties de constructions réalisées comme extension des bâtiments existants.

Dans le cadre de cette réglementation le Centre National de la Recherche de l'industrie du Bâtiment [CNERIB] a préparé trois documents techniques réglementaires à l'usage des professionnels du bâtiment à savoir :

- **Le DTR.C 3-2** qui établit les règles de calcul des déperditions calorifiques d'hiver pour les bâtiments à usage d'habitation.
- **Le DTR.C 3-4** relatif aux règles de calcul des apports calorifiques d'été pour les bâtiments à usage d'habitation.
- **Le DTR.C 3-31** relatif à la ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation.

Cette réglementation dont la finalité est le renforcement de la performance énergétique globale du bâtiment, laisse ainsi de larges possibilités aux concepteurs et aux maîtres d'ouvrage de choisir entre les performances thermiques globales du bâtiment aussi bien dans le choix des matériaux que la conception du cadre bâti.

La mise en application de cette réglementation permettra d'après nos estimations de réduire les besoins calorifiques de nouveaux logements de l'ordre de 40% pour les besoins en chauffage et en climatisation.

Cependant, sa mise en application effective nécessitera notamment, sa vulgarisation auprès des bureaux d'études, des architectes et des promoteurs à travers notamment des journées techniques dédiées à cet effet [kamel DALI, l'APRUE N° 10 ,2006]

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

Malgré cet arsenal juridique important, il faut reconnaître qu'actuellement, il n'existe aucune volonté politique pour prendre en charge la surconsommation énergétique dans notre bâtiment.

Les bâtiments en Algérie ne sont pas encore dotés d'une réglementation thermique spécifique, l'application des réglementations thermiques détaillées dans les différents documents techniques réglementaires (DTR.C 3-2, DTR.C 3-4, DTR.C 3-31) pour les bâtiments à usage d'habitation n'est pas obligatoire, c'est pour ces raisons que la quasi totalité des bureaux d'études n'ont pas une copie de cette réglementation.

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

IX. LES DIFFERENTS TYPES D'ISOLANTS THERMIQUES EN ALGERIE

Les actions de maîtrise de l'énergie proposées pour le secteur du bâtiment portent notamment sur l'introduction de l'isolation thermique des bâtiments qui permettront de réduire la consommation d'énergie liée au chauffage et la climatisation d'un logement d'environ 40% [APRUE, 2011].

IX.1. Isolation végétale (Liège)

Le liège est un matériau présent dans l'écorce de quelques arbres, et notamment celle du chêne-liège. Il a une faible densité, antistatique, résiste relativement bien au feu, bon isolant thermique, acoustique et vibratoire, et résistant à l'eau grâce à la subérine qui imprègne les cellules. Concassé en granulés, on le transforme en panneaux d'isolation, revêtement mural ou pour le sol. [Jürgen Gänßmantel, et al.2010]

IX.2. Isolation minérale (les laines minérales)

IX.2.1. Laine de roche

La laine de roche est un matériau naturel né de l'activité volcanique et du savoir-faire humain, utilisé dans le bâtiment comme isolant thermique, isolant acoustique ou absorbant acoustique,

ou pour la protection contre l'incendie. Les panneaux de laine de roche nu ou avec un pare vapeur sont appliqués dans les murs en double cloisons [Lotfi BEN SLIMANE, et al.2010].

IX.2.2. Laine de verre

La laine de verre est un matériau qui se présente comme un matelas de fibres de verre extrêmement fines. On l'utilise comme isolant thermique, isolant acoustique, absorbant acoustique et pour la protection contre l'incendie. La laine de verre prend la forme de rouleaux, panneaux et flocons selon l'accessibilité des parties à isoler, de la configuration de l'habitation et le confort de l'isolation recherché.

IX.3. Les isolants synthétiques

IX.3.1. Polyuréthane

Le polyuréthane (PUR) est obtenu par le mélange de trois composants, un polyol, un isocyanate et un agent d'expansion en présence de catalyseurs. Le polyuréthane se présente ainsi sous forme d'une structure alvéolaire renfermant un gaz encore plus isolant que l'air.

Aussi il est employé en panneaux pour des isolations sous chapes, sur terrasses ou pour l'isolation extérieure des murs, ainsi employé sous forme de mousse pour les doubles cloisons.

IX.3.2. Polystyrène

Expansé (EPS) Extrudé (XPS) :

Le polystyrène est un matériau qui présente de hautes performances en matière d'isolation et de nombreux avantages aussi bien pour les utilisateurs que pour les professionnels de la construction.

Le polystyrène expansé (EPS) à faible ou à moyenne densité pour l'isolation des parois verticales. Le polystyrène extrudé (XPS) est recommandé pour l'isolation des toitures inversée

IX.4. Autres types d'isolants

IX.4.1. Béton de Polystyrène

Le béton de polystyrène est constitué de billes de polystyrène expansé calibrées et traitées en surface par un adjuvant spécifique à base de protéines minérales permettant une bonne répartition et un produit final homogène. Le Béton de polystyrène est non structural et appartient à la famille des Bétons allégés isolants. Dans les bâtiments en habitat individuel ou collectif (Formes et chapes thermo-acoustiques isolantes, Support de plancher chauffant, Toitures - terrasses : formes de pente (jusqu'à 5 %), Terrasses inaccessibles, Coulage du béton de polystyrène sur une dalle intermédiaire) [Jürgen Gänßmantel, et al.2010].

IX.4.2. Béton de perlite

Le Béton de perlite est constitué d'agréats de perlite à différents dosages selon l'application. Les différents types de béton de perlite permettent d'obtenir une variété infinie de mélanges,

en fonction des besoins spécifiques suivant la granulométrie de la perlite, des agrégats utilisés, du dosage de ciment et des adjuvants intégrés. Le béton de perlite est utilisé pour la confection de toute chape isolante :

- Béton de remplissage léger
- Forme de pente
- Rattrapage de niveau
- Chape sous carrelage...

IX.4.3. Béton cellulaire

Le béton cellulaire est un matériau de construction sain et à faible impact sur l'environnement. Ces principales propriétés sont la légèreté et la facilité de mise en œuvre. Il résiste aussi aux flammes. Il ne répond pas non plus à la définition des isolants mais mentionné comme référence car il fait partie des bétons isolants et requière des dimensions plus importantes pour atteindre le même niveau d'isolation d'un isolant conventionnel.

- Forme de pente
- Rattrapage de niveau
- Chape sous carrelage
- Béton cellulaire à couler pour isolation des toitures et des planchers.

X.CONCLUSION

En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'absence d'une réglementation spécifique d'une part, par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage. L'amélioration des techniques au niveau des matériaux de construction et d'isolation permet aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques, tout en offrant un cadre de vie plus confortable en étant consommateur de très peu d'énergie. Une méthode de calcul thermique a été développée afin de réduire au minimum le coût d'énergie employée pour chauffer les bâtiments nouveaux ou existants.

Les recommandations publiées dans les documents techniques réglementaires du ministère de l'habitat, (Ministère de l'habitat, D.T.R C 3-2 et D.T.R C 3-4, 1998) soumises pour le climat algérien sont prises comme référence dans le choix du modèle informatique élaboré dans notre étude.

CHAPITRE IV

SIMULATION THERMIQUE D'UN BÂTIMENTS

**- *Étude du cas d'un bâtiment de type
social sis à Tlemcen -***

I. INTRODUCTION

L'étude thermique des bâtiments a longtemps reposé sur une modélisation statique des phénomènes. Dans un contexte énergétique mondial tendu, la réalisation de bâtiments énergétiquement performants est un enjeu majeur des prochaines décennies, pour réussir à relâcher la pression qui pèse sur l'énergie et le climat. Or, le comportement thermique du bâtiment met en jeu de nombreux phénomènes physiques dynamiques dont certains effets, négligeables dans un bâtiment traditionnel, deviennent déterminants dans un bâtiment très isolé. C'est pourquoi, la simulation thermique dynamique est aujourd'hui un outil incontournable pour la recherche, le développement et la conception de bâtiments peu consommateurs d'énergie.

La cause de perte d'énergie revient à ce qu'on utilise toujours des matériaux favorisant les transferts thermiques entre l'espace intérieur et l'espace extérieur de l'enveloppe de la construction. Bien sûr, utiliser la double paroi en brique creuse comme étant l'enveloppe, sans isolant d'une part et d'une autre part, une paroi bien isolée, n'est pas et ne sera jamais la même chose en termes de déperdition thermique et d'émission de GES (CO₂). C'est ce que subissent nos constructions en Algérie pendant une période qui remonte d'aussi loin.

Actuellement, plusieurs matériaux d'isolation de l'enveloppe des bâtiments sont devenus d'actualité partout dans le monde et particulièrement en Algérie.

Ceci nous a conduites à faire une simulation du comportement thermique d'un bâtiment à usage d'habitation du type social en Algérie en intégrant un matériau isolant et le rendre ainsi moins énergivore. Cela nous permettra aussi de voir son incidence sur le gain d'énergie et par conséquent une réduction du coût énergétique.

On pourra analyser le problème et voir la différence entre une construction efficace et une construction énergivore en comparant leurs bilans énergétiques annuels.

Notre étude fera objet d'une simulation en régime stationnaire avec un calcul manuel et en régime dynamique avec le logiciel Wufi (Wärme Und Feuchte Instationär, qui veut dire : chaleur et humidité in-stationnaire), afin de simuler la consommation énergétique d'un bâtiment social implanté à Tlemcen et de démontrer l'efficacité des systèmes d'isolation de l'enveloppe par l'extérieur « Murs-chauds » par rapport aux murs traditionnels « double-parois sans isolation ».

II. PLATEFORME D'OUTILS ET LOGICIELS STD (Simulation Thermique Dynamique)

Dans le contexte de l'efficacité énergétique dans les bâtiments, il est essentiel de pouvoir estimer de façon fiable les consommations prévisionnelles d'un bâtiment en exploitation. Sur le marché, il existe depuis de nombreuses années des outils qui permettent d'effectuer des simulations thermiques, qui vont de simples feuilles de calcul à des outils très sophistiqués.

La majorité de ces outils a été développée initialement pour calculer les besoins thermiques de chauffage et refroidissement d'un bâtiment, sur la base des caractéristiques de l'enveloppe.

La STD, dans son acception la plus courante, présente principalement deux limites :

- Le calcul est généralement limité à l'enveloppe (besoins thermiques) et n'intègre pas les pertes thermiques, ni les rendements des différents systèmes Chauffage-Ventilation-Climatisation (CVC) au niveau des émissions, régulation et génération.
- Le calcul intègre uniquement les besoins de chauffage et de refroidissement. Les consommations des auxiliaires de ventilation, des pompes, ainsi que les consommations telles que l'eau chaude sanitaire (ECS), l'éclairage ou encore les équipements ne sont généralement pas prises en compte ou alors ne sont prises en compte que de façon « forfaitaire ».

Afin de pallier ces limites, certains outils ont évolué graduellement pour prendre en compte les systèmes de CVC, d'ECS et d'éclairage : c'est ce qu'on appelle SED (Simulation Énergétique Dynamique). Cependant, l'évolution étant relativement récente, aucun logiciel à ce jour n'est adapté à tous les types de systèmes. Par ailleurs, la façon de simuler chaque type de système et de le paramétrer est très différente d'un logiciel à l'autre.

Pour cela, en essayant de définir les différentes fonctionnalités des logiciels SED et de clarifier quelles sont les fonctionnalités qui sont nécessaires ou souhaitables par rapport au type de bâtiment ou système ainsi qu'à la finalité de l'étude [Marcello CACIOLO, 2015].

II.1. Design-Builder

Design-Builder est un logiciel de simulation dynamique, possédant une interface graphique offrant de nombreuses fonctionnalités non disponibles simultanément dans les logiciels existants :

- Calcul des déperditions/gains thermiques de l'enveloppe en hiver/été ;
- Dimensionnement du chauffage ;
- Dimensionnement du rafraîchissement par ventilation naturelle et/ou climatisation ;
- Simulation dynamique (STD) restituant des données de confort, de bilan thermique, ventilation, etc. ;
- Modeleur du bâtiment incluant des assistants de création de fenêtre, composition de la construction, détection automatique du type de paroi qui vous évitent de nombreuses saisies ou dessin ;
- Gestion de l'occupation, de la ventilation mécanique, des ouvertures de fenêtre, de l'occultation des baies, des apports internes ... par planning paramétrable selon le type de jour, les mois, les heures (ou infra horaire).

II.2. Pléiades + Comfie

L'ensemble du logiciel PLEIADES + COMFIE permet la conception de projets bioclimatiques en régime dynamique, l'analyse des performances et des ambiances, la formation et l'enseignement sur le comportement thermique de l'habitat. PLEIADES + COMFIE est particulièrement adapté à la conception solaire bioclimatique et l'étude de bâtiments où la qualité thermique et environnementale des ambiances doit être particulièrement prise en compte .

COMFIE est un logiciel permettant de réaliser des simulations dynamiques de l'enveloppe du bâtiment dès les premières esquisses d'un projet. Le calcul consiste à réduire un modèle aux différences finies par analyse modale, les phénomènes non linéaires ou à paramètres variables étant introduits en phase de simulation. Il est associé à PLEIADES, une interface développée et diffusée par IZUBA énergies. Cet outil a été amélioré et complété par la génération de fichiers météo horaires, la visualisation des masques à l'ensoleillement, l'analyse par variations paramétriques et la visualisation graphique comparative.

II.3. TRaNsient SYstem Simulation

TRNSYS est un logiciel de simulation numérique du comportement thermique des bâtiments et de leurs équipements développés par **CSTB**, TRNSYS est particulièrement utile pour étudier avec précision des systèmes dont le comportement thermique varie fort dans le temps. TRNSYS permet, par exemple, de calculer avec précision les consommations énergétiques, d'évaluer les performances thermiques de systèmes très divers, d'effectuer des analyses de sensibilité en vue d'optimiser la conception d'un système énergétique, etc. Il possède une bibliothèque standard d'environ 50 composants (modèles génériques de bâtiments, de pompes à chaleur, de composants de réseaux hydrauliques, etc.) mais tout utilisateur ayant des connaissances en FORTRAN a la possibilité de créer ses propres bibliothèques de modèles. TRNSYS est aujourd'hui la référence au niveau mondial de la simulation dynamique de bâtiments et de systèmes.

II.4. Wufi

Le logiciel WUFI, permet d'évaluer le comportement des parois multicouches soumises à un régime climatique dynamique. Il considère non seulement la dynamique des flux de chaleur (transfert et stockage), mais aussi celle des flux d'humidité. Les comportements hydriques et thermiques d'un composant étant fortement liés, cela permet de prendre en compte leurs interactions et l'effet de celles-ci sur les performances d'ensemble des parois.

- WUFI Pro étudie les parois en une dimension.
- WUFI 2D permet de modéliser des nœuds constructifs en deux dimensions. WUFI 2D Motion propose une visualisation des comportements hygrothermiques au fil du temps sous forme de film. Différents paramètres sont donnés :
 - Pression de vapeur [Pa]
 - Température [°C]
 - Humidité relative [-]
 - Teneur en eau [kg/m³]
- WUFI Bio, couplé à l'un ou l'autre des logiciels précédents, permet d'étudier de façon plus détaillée le développement des moisissures selon leur type.
- WUFI Plus permet d'étudier l'évolution des conditions climatiques intérieures d'un bâtiment selon le climat extérieur et le type d'enveloppe.
- WUFI Graph permet de créer différents graphiques pour analyser chaque paramètre de façon plus précise : pendant un temps donné, à une date donnée, en un point précis de la paroi ou dans l'ensemble ...

Tableau 4-1 : Tableau récapitulatif de quelques logiciels utilisés dans la simulation thermique dynamique du bâtiment

Nom	Éditeur	Développés par	Paye	Modalité (s) d'accès	Lien (s)
Pleiades + COMFIE 	IZUBA énergies	ALCYONE Centre d'Énergétique (Bacot, 1984), (Peuportier, 1988), (Blanc Sommereux, 1989).	Français	Payant	www.izuba.fr/logiciel
Design-Builder - Energy Plus 	DesignBuilder Software Ltd	DOE (département de l'énergie des US)	États-Unis d'Amérique	Payant	www.designbuilder.co.uk
TRNSYS TRaNsient System Simulation Program' 	Thermal Energy System Specialists	Solar Energy Laboratory' (SEL) de l'Université du Wisconsin Madison (USA), en collaboration avec le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) de Sophia Antipolis (France)	États-Unis d'Amérique Allemagne France	Payant	www.trnsys.com http://logiciels.cstb.fr/Products/TRNSYS
WUFI	IBP Software	Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) en Allemagne.	Allemand	Payant	https://wufi.de/en/

III. PRESENTATION DU PROJET

III.1. Présentation de l'ouvrage :

L'ouvrage à étudier est un bâtiment R+4 étages, à usage résidentiel, dont le lieu de l'implantation est la wilaya de Tlemcen, Commune de Zenâta.

III.1.1. Caractéristiques géométriques :

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont récapitulées dans le tableau suivant:

Tableau 4-2 : Caractéristiques géométriques

Dimensions	(m)
Hauteur du sous-sol	-3.00
Hauteur du rez chaussée	+ 3.06
Hauteur des étages courants	+3.06
Hauteur totale (sans l'acrotère)	+15.3
Dimension en plan	(12.85*10.53)

Ce bâtiment présente une superficie d'environ **135,31 m²**. Sur chaque niveau, il est composé d'un espace commun de circulation (cage d'escalier) et de deux logements type F3 et F2 dont la distribution surfacique est comme suit :

Tableau 4-3 : programme surfacique du logement (1^{ère} étage)

Appartement de type F3		Appartement de type F2	
Espace	Surface (m ²)	Espace	Surface (m ²)
Séjour	19,20	Séjour	18,00
Chambre à coucher	13,20	Chambre à coucher	12,70
Chambre d'enfant	13,20		
Couloir	6,00	Couloir	5,90
Cuisine	10,00	Cuisine	9,00
Salle de bain + WC	5,00	Salle de bain + WC	5,20
Balcons (2)	8,80	Balcons (2)	8,60
Total	75 ,00	Total	59,00

III.1.2. Les plans

a. vue en plan

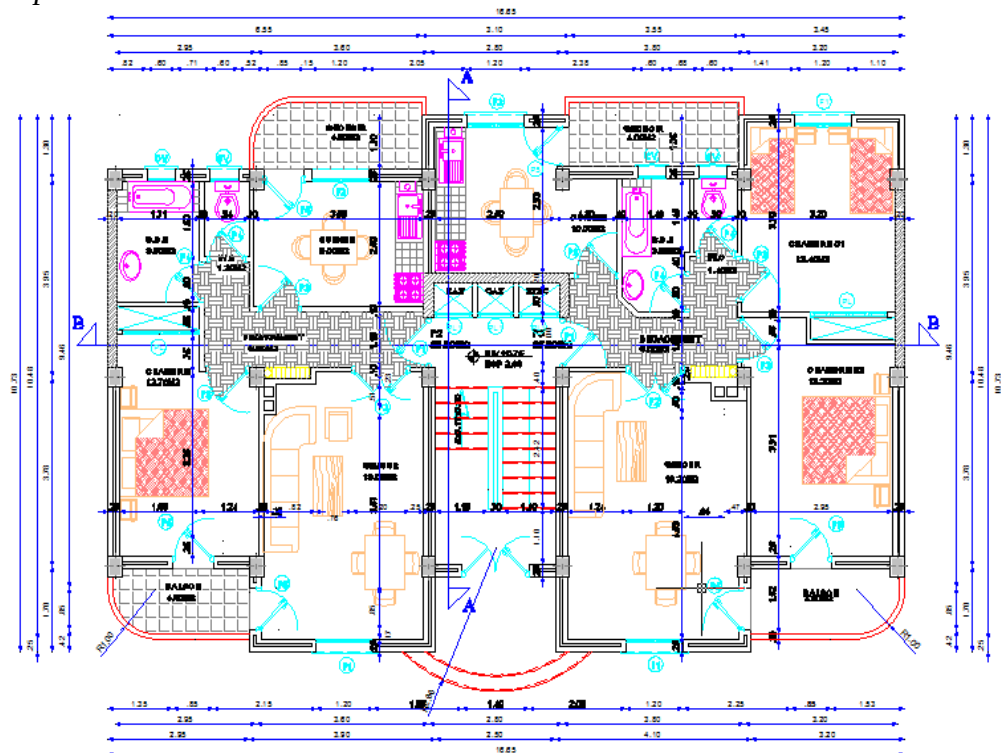


Figure 4-1 : Vue en plan du logement social à usage d'habitation.

b. Vue 3D du bâtiment élaboré par Wufi

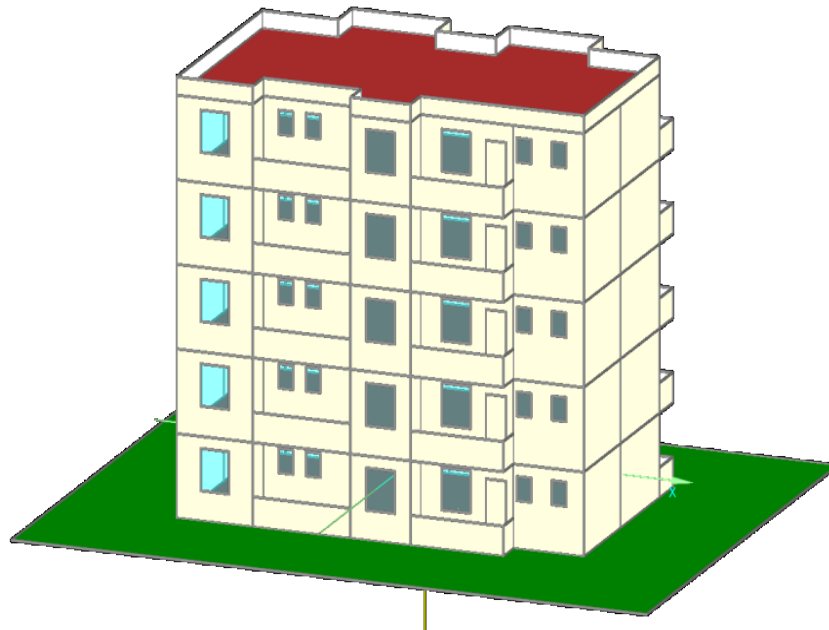


Figure 4-2 : la façade orientée vers le sud.

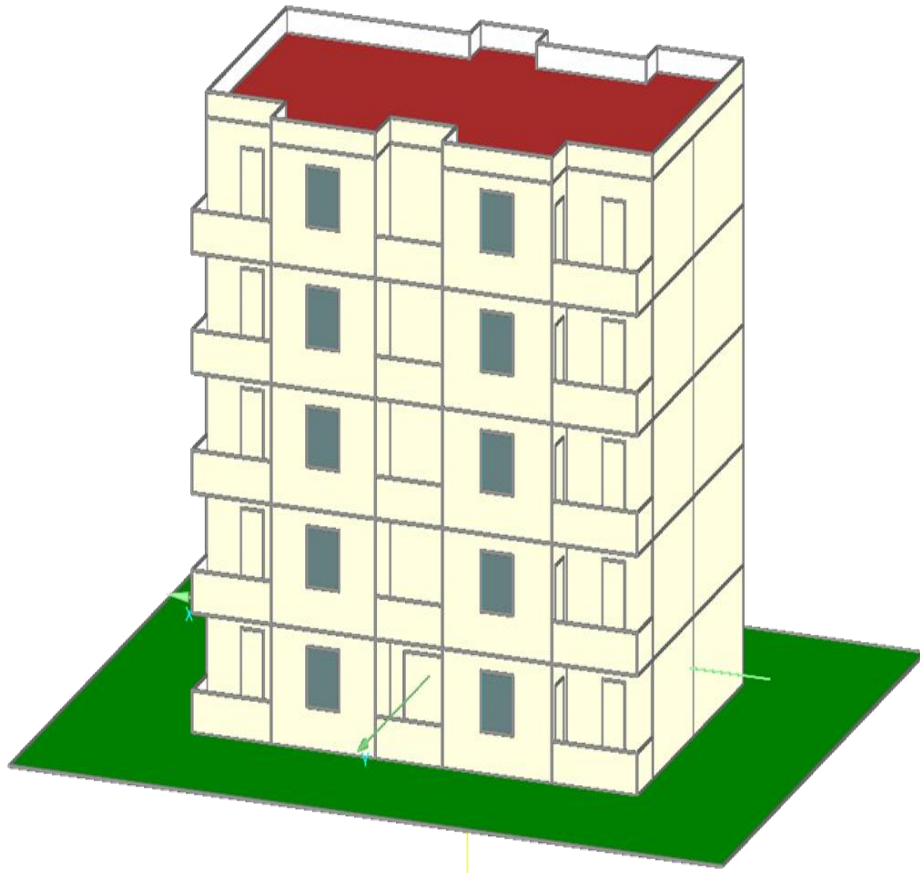


Figure 4-3 : la façade orientée vers le nord.

III.1.3. Présentation des différents éléments constructifs du logement

a. Éléments constructifs de l'enveloppe

Les matériaux de constructions constituant l'enveloppe du bâtiment sont :

- Un mur est constitué d'une couche d'enduit en plâtre (10mm) par le coté intérieur, deux couches d'enduit de ciment (20mm) par l'intérieur et l'extérieur, de deux parois de brique creuse en terre cuite (10cm) séparé par une lame d'air (40mm) au milieu du mur.
- Fenêtres en bois simple vitrage ;
- Plancher en corps creux de 16 cm d'épaisseur avec une dalle de compression de 5 cm ;
- Portes en bois et portes en métal.

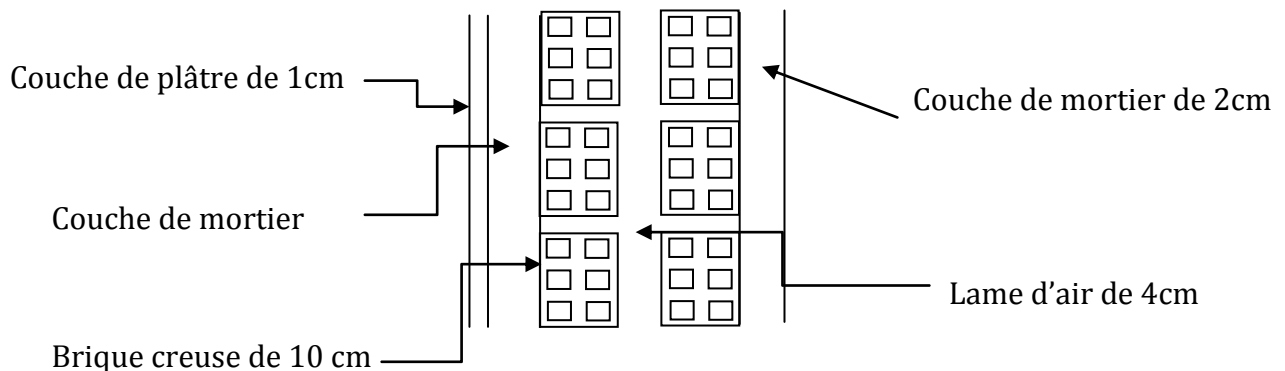


Figure 4-4 : Coupe transversal d'un mur double parois en brique creuse.

- La toiture est horizontale et inaccessible ; son étanchéité à l'eau pluviale, est à base de bitume, de feutre et de pax aluminium réfléchissant. Une couche de presque 8cm de gravier roulé qui protège l'étanchéité de la force de poinçonnement. Cette toiture comporte aussi un isolant de 60 mm de polystyrène et une couche de par vapeur en polyane empêchant les remontés de la vapeur d'eau venant de l'intérieure et de s'incruster dans l'isolant.

III.1.4. Présentation du climat Algérien (Tlemcen)

Le climat Algérien est formé d'un climat Méditerranéen au nord et un climat désertique au sud. Le climat méditerranéen se caractérise par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. D'autres régions dans le monde possèdent les mêmes caractéristiques climatiques comme : la Californie, le centre du Chili, la région du Cap en Afrique du sud et le sud-ouest de l'Australie. Ces régions sont connues par la sécheresse estivale pendant le mois le plus chaud et aussi la rareté des précipitations. En revanche les hivers peuvent être bien arrosés et connaissent leurs précipitations maximums dans les régions Nord-ouest en automne et Nord-est en printemps. Les températures sont très variables en été sur les façades océaniques et les étés sont tempérés par la fraîcheur dans l'océan près des côtes. Contrairement au tour de la méditerranée et à l'intérieur des terres, les étés sont très chauds ($T_{moy} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$) ; sur les surfaces intérieures des terres la température maximale dépasse les $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ en été et approche les $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ vers l'est ou le sud du bassin, y compris les régions montagneuses. Par contre l'hiver est doux et les températures moyennes du mois le plus froid sont généralement supérieures à $9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Le climat désertique est caractérisé par une précipitation très peu abondante. Ce qui explique la non présence de la vie des animaux et du végétale. Il se caractérise aussi par des températures chaudes et froides, ce qui donne une très grande différence de température entre le jour et la nuit.

Il existe une classification thermique des communes d'Algérie, proposé dans le document technique réglementaire c2-3 par le centre national d'étude et de recherche intégré du

bâtiment (CNERIB), qui considère les zones climatiques en Algérie sous 04 grandes zones A, B, C, D et deux sous zones B' et D' (Pour plus d'information se référer au DTR c2-3).

Dans notre étude on s'intéressera seulement au climat de la région de Tlemcen, qui se divise selon le DTR C 2-3, en 03 zones climatiques et qui sont :

- Commune 01 : Zone A qui correspond au rivage de la mer et parfois les versants des chaînes côtières ;
- Commune 02 : Zone C correspond les hauts plateaux compris entre l'atlas tellien et l'atlas saharien ;
- Commune 03 : Zone B la pleine derrière le rivage de la mer et les vallées entre les chaînes côtières et l'atlas tellien.

L'implantation de notre bâtiment se fera dans la zone B, là où la station météorologique de mesure climatique Zenâta se situe. Les mesures climatologiques ont été prises par le logiciel Météo-Norm, dont les mesures peuvent parfois être approximatives, lorsque les mesures sont prises par interpolation entre les stations les plus proches.

a. Climat de Tlemcen

Les courbes représentées ci-dessous ont été élaborées par Wufi moyennant les données climatiques de Météo-Norm de la ville de Tlemcen en Algérie. (l'analyse des graphes est dans la partie representations des resultats).

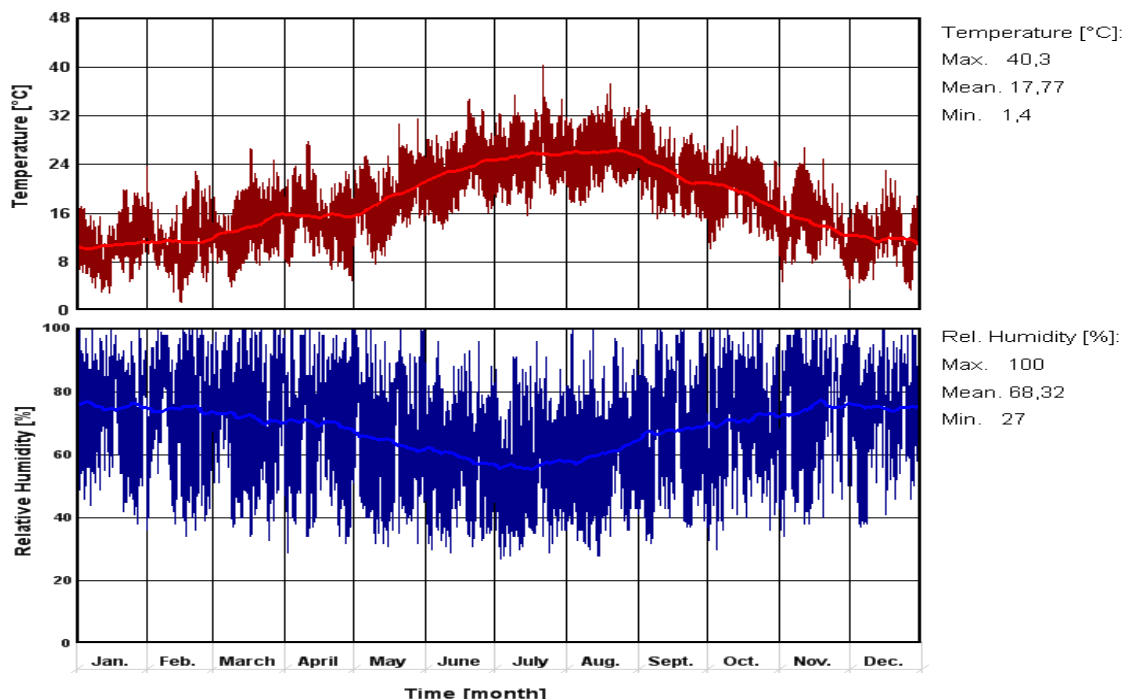


Figure 4-5: courbe d'humidité relative et de température extérieure du climat de Tlemcen analysées par Wufi.

IV. SIMULATION THERMIQUE

IV.1. Calcul manuel

IV.1.1. Calcul des déperditions thermique

a. Suivant le document technique réglementaire DTR C 3-2 :

Le Document Technique Réglementaire (DTR) apporte une première réponse aux problèmes liés à la thermique du bâtiment. Il met à la disposition des professionnels des méthodes d'évaluations thermiques des logements.

Le calcul des déperditions thermiques du logement est effectué suivant le DTR Le bâtiment étudié est dans la **zone B** (Tlemcen –zone B).

Les valeurs choisies sont introduites manuellement dans les différents champs du classeur Excel ce qui demande l'emploi d'un programme informatique afin de simplifier les calculs. Donc, les résultats présentés ci-dessous ont été préalablement calculés sur tableur Excel.

b. Calcul des coefficients de transmissions surfacique (k) :

➤ Le coefficient K est donné par la formule suivante :

$$\frac{1}{K} = \sum R + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad [m^2 \cdot ^\circ C/W]$$

➤ La résistance thermique est donnée par la formule suivante :

$$R = e/\lambda \quad [m^2 \cdot ^\circ C/W]$$

c. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois :

$$Ds = K \times A \quad [W/^\circ C]$$

d. Calcul des déperditions d'énergie dans le bâtiment

➤ Déperditions pour un volume :

$$D = Ds \times (t_i - t_e) \quad [W]$$

➤ Déperdition totale :

$$Dt = \sum D \quad [W]$$

IV.1.2. Amélioration de la construction énergivore par le polystyrène expansé

La suite de notre travail consiste à améliorer les performances thermiques du bâtiment par une isolation par l'extérieur. Cette isolation est constituée d'un noyau de 60 mm de polystyrène expansé qui nous donne l'efficacité énergétique et aussi d'un revêtement d'enduit de 10 mm sur l'extérieur qui a des caractéristiques qui permettent la respiration des murs afin d'éviter le phénomène de la condensation dans le mur. Les avantages de ce système sont multiples, qui sont :

- Une efficacité énergétique convenable par un excellent coefficient de transmission

$U = 0,36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

- La rapidité et l'économie qui consiste à réduire le temps et les coûts des constructions ;
- L'élimination de tous les ponts thermiques des éléments constructifs ;
- La finition parfaite obtenue par la planéité du polystyrène et l'alignement des baguettes d'angle fabriqués en usine ;
- L'élimination de l'ancien système double paroi et à la fin plus d'espace à l'intérieur ;
- L'augmentation considérable du confort intérieur pour les occupants.

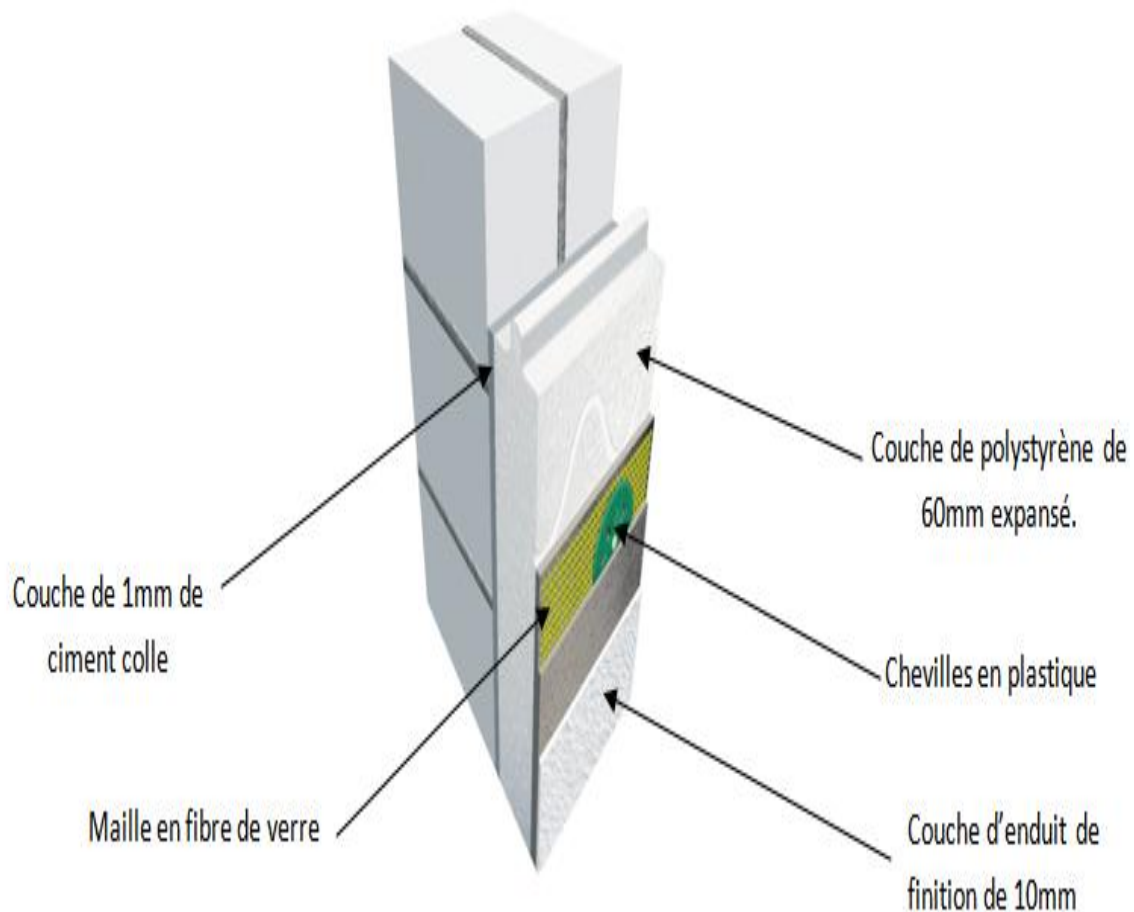


Figure 4-6 : Différents composants du Mur-chaud.

IV.1.3. Fenêtre double vitrage

Au niveau des fenêtres, il faut remplacer le simple vitrage avec cadre en bois par le double vitrage en PVC, et ceci afin de diminuer les déperditions calorifiques au niveau des zones transparentes.

IV.1.4. Les résultats

a. Premier cas : double paroi sans isolation

- Calcul des coefficients de transmissions surfacique (k)

Tableau 4-4 : Mur double paroi (de l'extérieur vers l'intérieur)

matériaux	e(m)	λ	R	K
		(w/m°C)	(m²°C/w)	(w/m²°C)=1/R
Mortier de ciment	0.02	1.4	0.01	1.24
Brique creuse	0.1	0.48	0.21	
Lame d'air	0.04	0.25	0.16	
Brique creuse	0.1	0.48	0.21	
Mortier de ciment	0.02	1.4	0.01	
Enduit plâtre	0.01	0.35	0.03	
$\Sigma(e/\lambda)$			0.63	
Resistance d'échange superficiel	$1/h_e + 1/h_i = 0.06 + 0.11 = 0.17 \text{ (m}^2\text{°C/w)}$		0.17	
Rt TOTAL	$1/h_e + 1/h_i + \Sigma R$		0.80	

Tableau 4-5 : Plancher haut (terrasse)

Matériaux	e(m)	λ	R	K
		(w/m°C)	(m²°C/w)	(w/m²°C)=1/R
Bitume feutre	0.04	0.23	0.17	0.47
Forme de pont	0.1	1.75	0.06	
Par vapeur	0.001	2.3	0.00	
Polystyrène	0.06	0.038	1.58	
Par vapeur	0.001	2.3	0.00	
Dalle de compression	0.05	1.75	0.03	
Plancher corps creux (16+4)	0.2	1.4	0.14	
Enduit de ciment	0.015	1.4	0.01	
$\Sigma(e/\lambda)$			1.99	
Resistance d'échange superficiel	$1/h_e + 1/h_i = 0.09 + 0.05 = 0.14 \text{ (m}^2\text{°C/w)}$		0.14	
Rt TOTAL	$1/h_e + 1/h_i + \Sigma R$		2.13	

Tableau 4-6 : plancher bas

Matériaux	e(m)	λ	R	K
		(w/m°C)	(m ² C/w)	(w/m ² c)=1/R
Carreaux granito	0.02	2.1	0.01	1.66
Mortier de pose	0.05	1.15	0.04	
Sable fin	0.02	0.3	0.07	
Chape en béton	0.2	1.4	0.14	
$\Sigma(e/\lambda)$			0.26	
Resistance d'échange superficiel	$1/h_e + 1/h_i = 0.17 + 0.17 = 0.34$ (m ² C/w)		0.34	
Rt TOTAL	$1/h_e + 1/h_i + \Sigma R$		0.60	

b. Deuxième cas : double paroi avec isolation

Calcul des coefficients de transmissions surfacique (k) (C'est la même étude que la précédente sauf qu'on va rajouter un isolant qui est le polystyrène expansé du côté extérieur du mur.) .

Tableau 4-7 : Mur double paroi avec isolation (de l'extérieur vers l'intérieur)

Matériaux	e(m)	λ	R	K
		(w/m°C)	(m ² C/w)	(w/m ² c)=1/R
Mortier de ciment	0.02	1.4	0.01	0.28
Polystyrène expansé	0.06	0.022	2.73	
Brique creuse	0.1	0.48	0.21	
Lame d'air	0.04	0.25	0.16	
Brique creuse	0.1	0.48	0.21	
Mortier de ciment	0.02	1.4	0.01	
Enduit plâtre	0.01	0.35	0.03	
$\Sigma(e/\lambda)$			3.36	
Resistance d'échange superficiel	$1/h_e + 1/h_i = 0.06 + 0.11 = 0.17$ (m ² C/w)		0.17	
Rt TOTAL	$1/h_e + 1/h_i + \Sigma R$		3.53	

Tableau 4-8 : Enveloppe de bâtiment isolé

Paroi	Dimensions		Nombre	Surf	Surface net	"K"	Ds	Dr	Ti - Te	DT
Désignation	Long. L (m)	Larg. L (m)	N°	(m²)	(m²)	(W / m². °C)	(W / °C)	(W / °C)	(°C)	(W)
Mur Extérieure Sud	12.85	15.3	1	196.61	149.96	0.28	42.46715	-	1	42.46715
Fenêtre Double vitrage (3)	1.2	1.2	15	1.44	21.60	2.9	62.64	-	1	62.64
Fenêtre WC et SDB (4)	0.6	0.6	20	0.36	7.20	5.8	41.76	-	1	41.76
Porte (2)	2.1	0.85	10	1.79	17.85	3.5	62.475	-	1	62.475
Mur Extérieure Nord	12.85	15.3	1	196.61	162.42	0.28	45.99723	-	1	45.99723
Fenêtre Double vitrage (2)	1.2	1.2	10	1.44	14.40	2.9	41.76	-	1	41.76
Porte (2)	2.1	0.85	10	1.79	17.85	3.5	62.475	-	1	62.475
Porte Extérieur (1)	2.15	0.9	1	1.94	1.94	5.8	11.223	-	1	11.223
Mur Extérieure Ouest	12.85	15.3	1	196.61	187.68	0.28	53.15084	-	1	53.15084
Porte	2.1	0.85	5	1.79	8.93	2.9	25.8825		1	25.8825
Mur Extérieure Est	12.85	15.3	1	196.61	187.68	0.28	53.15084	-	1	53.15084
Porte	2.1	0.85	5	1.79	8.93	2.9	25.8825	-	1	25.8825
Toiture	12.85	10.53	1	135.31	135.31	0.30	63.43624	-	1	63.43624
Plancher bas	12.85	10.53	1	135.31	135.31	1.66	224.5721	-	1	224.5721
Renouvellement d'air	-	-		-	-	-	-	703.8852	-	703.8852
							Total :		1520.76	
							Total (kW) :		1.52076	

Tableau 4-9 : Enveloppe de bâtiment non isolé

Paroi	Dimensions		Nombre	Surf	Surface net	"K"	Ds	Dr	Ti - Te	DT
Désignation	Long. L (m)	Larg. L (m)	N°	(m²)	(m²)	(W / m². °C)	(W / °C)	(W / °C)	(°C)	(W)
Mur Extérieure Sud	12.85	15.3	1	196.61	149.96	1.24	186.5554		1	186.5554
Fenêtre (3)	1.2	1.2	15	1.44	21.60	5	108		1	108
Fenêtre WC et SDB (4)	0.6	0.6	20	0.36	7.20	5.8	41.76		1	41.76
Porte (2)	2.1	0.85	10	1.79	17.85	3.5	62.475		1	62.475
Mur Extérieure Nord	12.85	15.3	1	196.61	162.42	1.24	202.0628	-	1	202.0628
Fenêtre (2)	1.2	1.2	10	1.44	14.40	5	72		1	72
Porte (2)	2.1	0.85	10	1.79	17.85	3.5	62.475		1	62.475
Porte Extérieur (1)	2.15	0.9	1	1.94	1.94	5.8	11.223		1	11.223
Mur Extérieure Ouest	12.85	15.3	1	196.61	187.68	1.24	233.4882	-	1	233.4882
Porte	2.1	0.85	5	1.79	8.93	5	44.625		1	44.625
Mur Extérieure Est	12.85	15.3	1	196.61	187.68	1.24	233.4882	-	1	233.4882
Porte	2.1	0.85	5	1.79	8.93	5	44.625		1	44.625
Toiture	12.85	10.53	1	135.31	135.31	0.47	63.43624	-	1	63.43624
Plancher bas	12.85	10.53	1	135.31	135.31	1.66	224.5721	-	1	224.5721
Renouvellement d'air	-	-		-	-	-	-	703.885	-	703.8852
							Total :		2753.605	
							Total (kW) :		2.753605	

Sur les tableaux ci-dessus (Tab 4-8 et 4-9), nous avons répertorié les déperditions de chaque élément de bâtiment (avec et sans isolation), en tenant compte de la superficie de chaque élément, les périmètres des murs, ainsi que les différents coefficients de transmission thermique (k) des éléments de construction.

IV.1.5. Besoins énergétiques

a. Température confort

Les courbes de températures consignées sur l'annexe, montrent les variations saisonnières de la température moyenne de confort, T_c , à Tlemcen, et son rapport avec la moyenne journalière maximum, minimum et la température extérieure moyenne T_m . La relation utilisée pour calculer la température de confort à partir de la température extérieure est donnée par Humphreys (1978). Une relation entre la température de confort et la température ambiante :

$$T_c = 13.5 + 0.54 T_a \text{ [AMARA.S, 2009]}$$

b. Notions du degré jours pour le chauffage et/ou le refroidissement

L'évaluation de la demande en énergie nécessite la prise en compte de l'écart de température entre l'ambiance intérieure et l'extérieur, or la température varie d'un lieu à un autre.

La notion de degré jour a été introduite pour permettre la détermination de la quantité de chaleur consommée par un bâtiment sur une période de chauffage donné et pour effectuer des comparaisons entre des bâtiments situés dans différentes zones climatiques.

• Degré jour de chauffage

Le nombre de degrés jours d'une période de chauffage est égal au produit du nombre de jours chauffés multiplié par la différence entre la température intérieure moyenne du local considéré et la température extérieure moyenne.

$DJ = \text{nombre de jours chauffés} \times (T \text{ intérieure moyenne} - T \text{ extérieure moyenne})$.

En toute rigueur, le calcul des degrés jours repose sur le calcul des apports solaires propres au bâtiment [M.A boukli hacene ,2012].

• Degré jour de refroidissement

Identique au degré-jour de chauffage sauf qu'il mesure les besoins en climatisation domestique au cours des mois chauds d'été. En général, les besoins en climatisation sont proportionnels à l'écart positif par rapport au seuil de 1°C.

Les **degrés jour unifiés** ou **DJU** permettent de réaliser des estimations de consommations d'énergie **thermique** en proportion de la rigueur de l'hiver.

Tableau 4-10 : Calcul du nombre de degrés jours mensuel (Dj)
(AMARA.S, 2009)

Mois	Tc	Température s moyennes ambiantes	Dj pour le chauffage			Dj pour la climatisation		
			15°C	Tc	18°C	22°C	Tc	25°C
Janvier	19,4184	10.43	141.41	192.5	234.41			
Février	20,1879	12.01	83.54	134	167.54			
Mars	21,4245	13.9	50.06	146	127.88			
Avril	22,1697	15.2	24	125.5	92.48			
Mai	23,706	17.89	5.24	91	33.82			
Juin	25,92	22.11				30.13	30	3.48
Juillet	27,2646	24.46				77.98	8	12.52
Août	27,189	24.19				68.93	19	12.33
Septembre	26,109	22.38				18.18	27	1.53
Octobre	23,9841	18.5	12.91	93.5				
Novembre	22,0644	15.56	19.13	117.5	76.31			
Décembre	20,5119	12.95	65.31	152	156.54			
Total			401.6	1052	888.98	195.22	84	29.86

D'après ce tableau, le site de Tlemcen est caractérisé par une durée de chauffage beaucoup plus longue (d'octobre à mai) dont le nombre de degré jour :

- Pour une température de confort (15°C), Dj = 401.6
- Pour une température de confort (18°C), Dj = 888.98
- Pour la température de confort calculé pour chaque jour, Dj = 1052

Et une courte durée de refroidissement de juin à septembre dont :

- Pour une température de confort (22°C), Dj = 195.22
- Pour une température de confort (25°C), Dj = 29.86
- Pour la température de confort calculé pour chaque jour, Dj = 84

Après avoir calculé le nombre du degré jour, il est intéressant de dimensionner le bâtiment pour calculer les besoins énergétiques pour le chauffage et/ou le refroidissement. On peut alors évaluer les besoins comme suit : $C = 24 * G * V_h * Dj$

IV.1.6. Analyse de la courbe de l'énergie consommée :

Le tableau ci-après (Tableau 4-11) synthétise les différences de performance et de consommation énergétique entre un bâtiment non-isolée et un bâtiment dotée d'un système d'isolation.

Tableau 4-11 : Les besoins annuels en chauffage/climatisation pour le bâtiment

	Déperdition (w)	Volume de bâtiment	Les besoins annuels en chauffage pour tout le bâtiment	Les besoins annuels en climatisation pour tout le bâtiment
	$D(w)$	$V(M3)$	KWh	KWh
Bâtiments non-isolé	2753.61	2070.25	69,523.03	5,551.27
Bâtiments isolé	1520.76		38,396.09	3,065.85

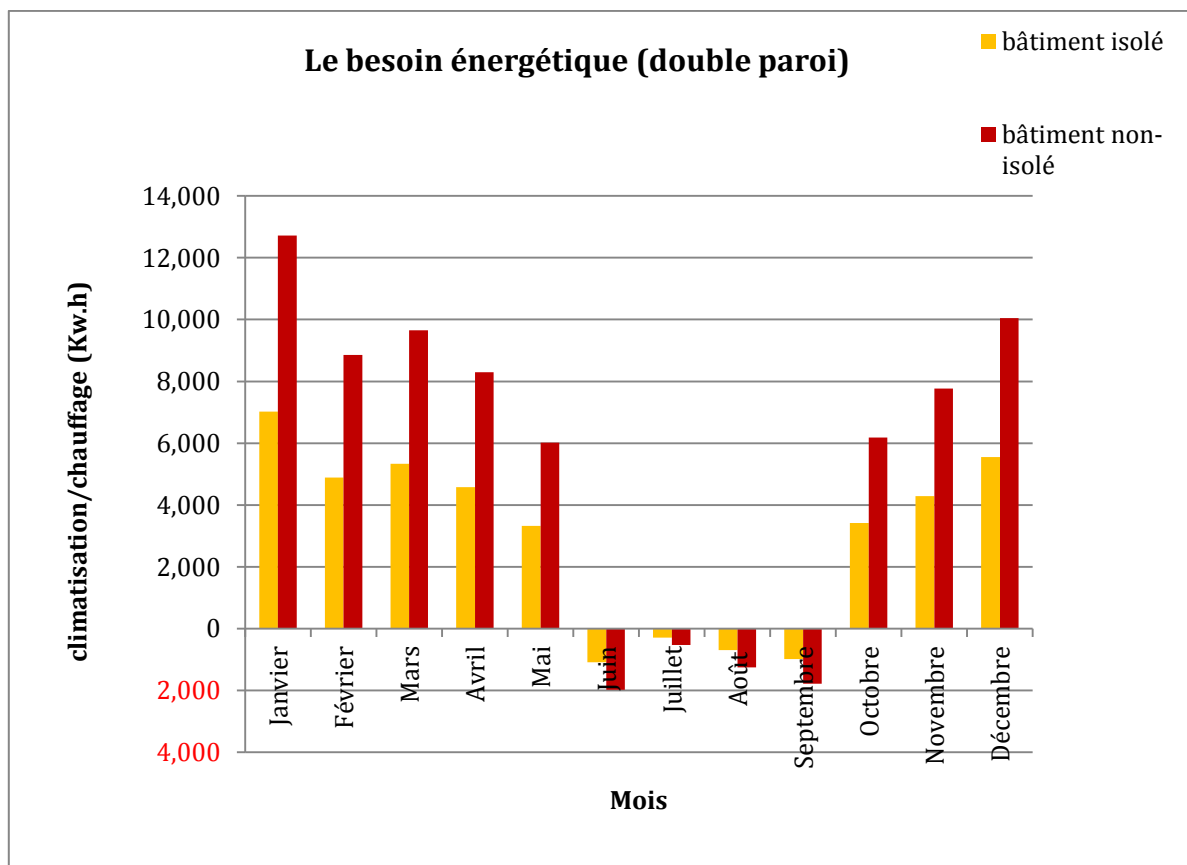


Figure 4-7 : comparaison entre les besoins des deux bâtiments pour $T_{confort}$

Les histogrammes (Figure 4-7) rouge et jaune représentent respectivement les besoins de chauffage /climatisation de bâtiment sans isolé et ceux de bâtiment isolé en KWh.

On remarque que la quantité d'énergie consommée du bâtiment non isolé est beaucoup plus importante que celle du bâtiment isolé dans le climat de Tlemcen (Annexe 2).

IV.2. Simulation et analyse hygrothermique du logement social par le logiciel wufi

Comme les surfaces des habitations sont exposés sans arrêt aux conditions climatiques extérieures, et que ces conditions à travers les éléments constructifs, tentent sans relâche de modifier ou de baisser le confort intérieur habitable. Une étude du comportement hygrothermique de ces éléments constructifs (murs, plancher, toitures, fenêtres, etc.), devient alors nécessaire, afin de contrôler ces échanges thermiques et par la suite de donner un maximum de confort aux habitants, ce à quoi, le logiciel Wufi peut nous aider à élaborer cette analyse du comportement de la structure vis-à-vis les conditions climatiques.

IV.2.1. Présentation et analyse des résultats du comportement du bâtiment énergivore avec le climat de Tlemcen

a. Analyse de la courbe de l'énergie consommée

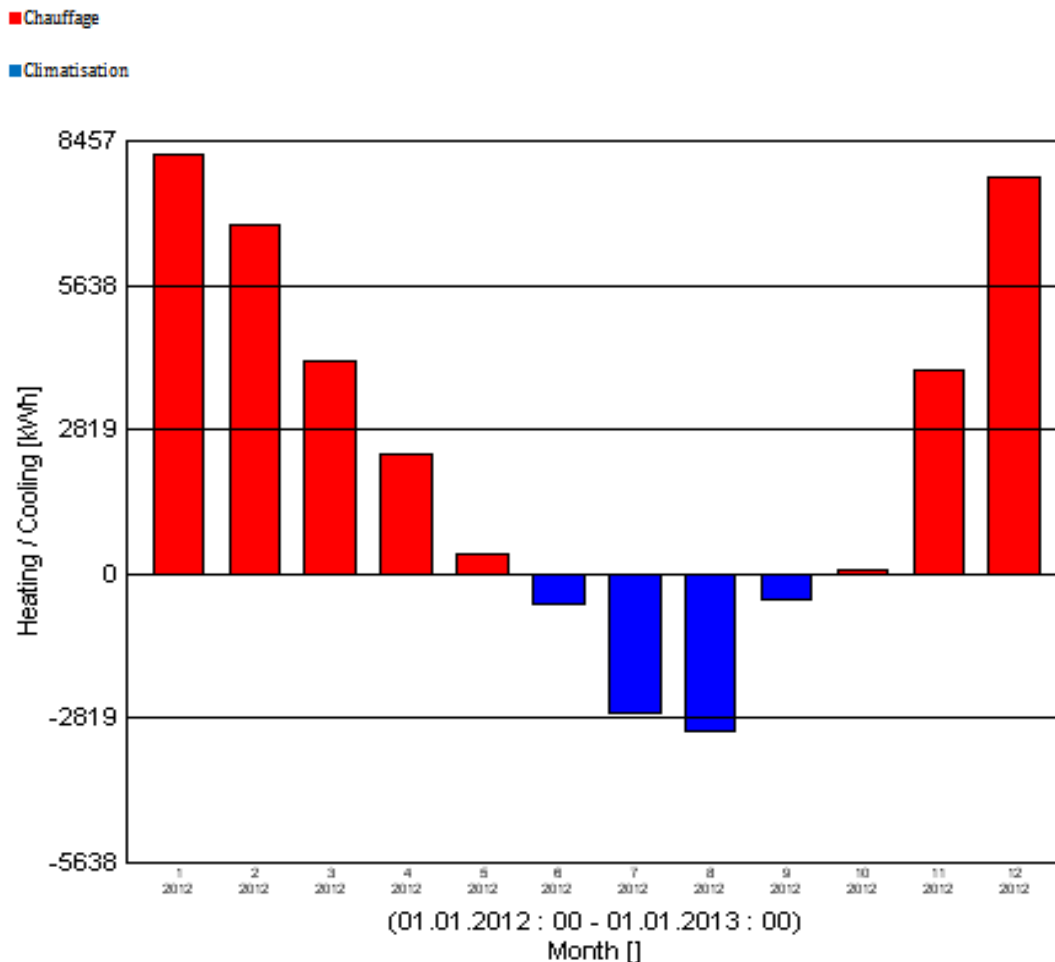


Figure 4-8 : la consommation énergétique du chauffage et du climatiseur en KWh durant l'année.

La courbe ci-dessus (figure 4-8) représente, la consommation énergétique de chaque mois de chauffage et de refroidissement (rouge et bleu respectivement) en KWh. On remarque que la quantité d'énergie consommée de chauffage est beaucoup plus importante que celle du refroidissement dans le climat de Tlemcen. Ceci est par le faite que la partie hivernale dure jusqu'à 5 à 6 mois, et la partie estivale dure quand a-t-elle seulement 2 à 3 mois.

IV.2.2. Analyse de la courbe de l'énergie consommée

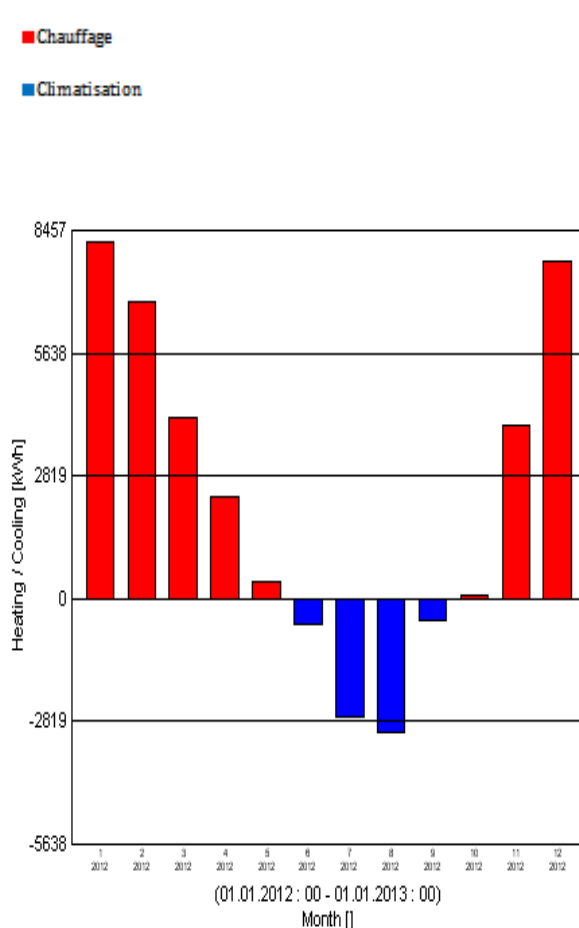


Figure 4-9 : la consommation énergétique du chauffage et climatisation d'un bâtiment énergivore.

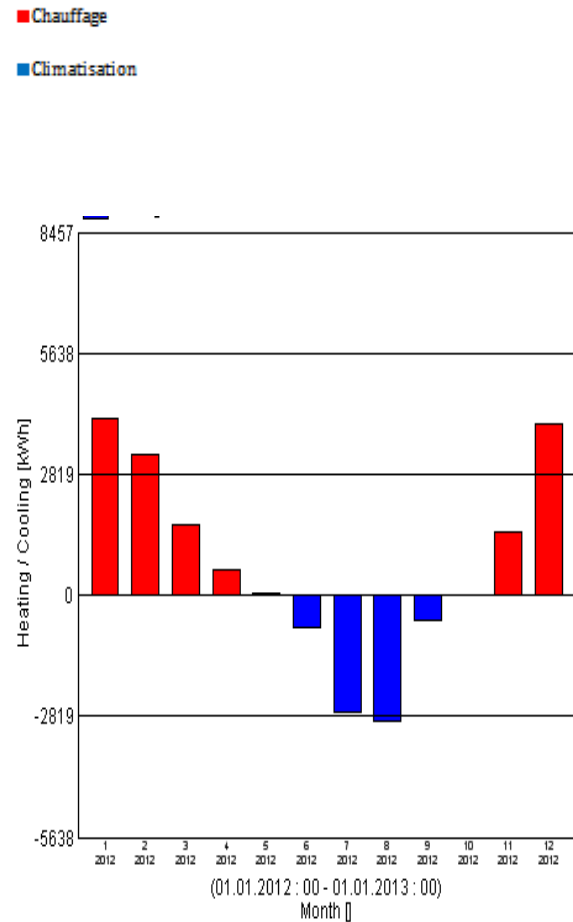


Figure 4-10 : la consommation énergétique du chauffage et climatisation d'un bâtiment isolée.

Les graphes ci-dessus, représentent la comparaison entre les deux modes de construction (figure 4-9 sans isolant et figure 4-10 avec isolant), ils nous montrent que la consommation de chauffage diminue d'au moins 45% dans la construction isolée. Ceci nous prouve, qu'en hiver avec une durée de minimum 04 mois à Tlemcen, les déperditions de chaleur seront diminuées par l'augmentation de la résistance thermique des parois opaques. Par contre, on remarque aussi qu'en été la consommation énergétique n'a pas diminuée grand-chose, et ceci est dû au fait qu'on n'a pas pris en considération ni les systèmes de protection contre les rayons solaires, ni les systèmes de ventilation qui peuvent extraire la chaleur de l'air intérieur.

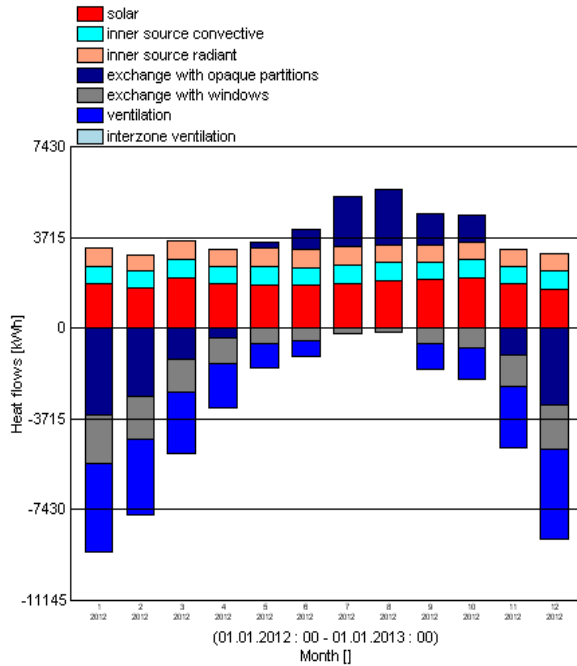


Figure 4-11 : les pertes et les gains énergétiques à travers les différents éléments de construction durant l'année d'un bâtiment énergivore

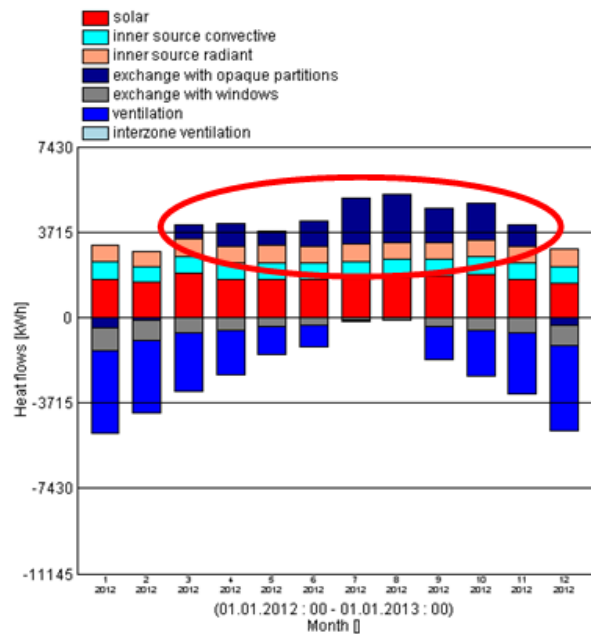


Figure 4-12 : les pertes et les gains énergétiques à travers les différents éléments de construction durant l'année d'un bâtiment isolée.

Le premier graphe (figure 4-11) représente, le transfert du flux thermique à travers les différents éléments de constructions pour chaque mois de l'année. Chaque élément est représenté dans la légende avec une couleur. Pour les éléments opaques (couleur bleu foncé) et transparents (couleur grise), on remarque qu'il y'a une déperdition importante au niveau des murs et des fenêtres en période d'hiver, et un gain de chaleur en période d'été. Ceci s'explique par le fait qu'en hiver la température est très basse dans le milieu extérieur du bâtiment, et oblige le flux thermique de sortir du milieu intérieur à travers les murs et les fenêtres. Le contraire est vrai lorsque le milieu intérieur est plus froid que celui de l'extérieur, c'est la partie qui représente tous les flux qui sont au-dessus du zéro de notre graphe, et qui sont considérés comme un gain de chaleur. Bien sûr, il faudra éviter toute perte de chaleur en hiver et tout gain en été, c'est-à-dire le contraire de ce qui se passe sur notre graphe, afin de maîtriser la consommation énergétique en matière de chauffage et de refroidissement.

Les histogrammes au-dessus (figure 4-11 et Figure 4-12) nous précisent les déperditions calorifiques à travers chaque élément constructif. On remarque, que les déperditions (les valeurs au-dessous de 0 KWh) ont presque disparus au niveau des murs et fenêtres représentées par les couleurs bleu foncé et gris respectivement grâce au système ETICS des murs et au double vitrage. Par contre, on remarque qu'il y'a des gains (cercle rouge sur le graphe) au niveau des murs car la capacité de stockage de la chaleur à augmenter par rapport à la double paroi. Chose qu'il faut éviter l'été par des surfaces réfléchissantes ou par des ombrages (plantations, bâtiments mitoyens, etc....).

IV.3. Comparaison entre calcul manuel et simulation thermique dynamique par WUFI

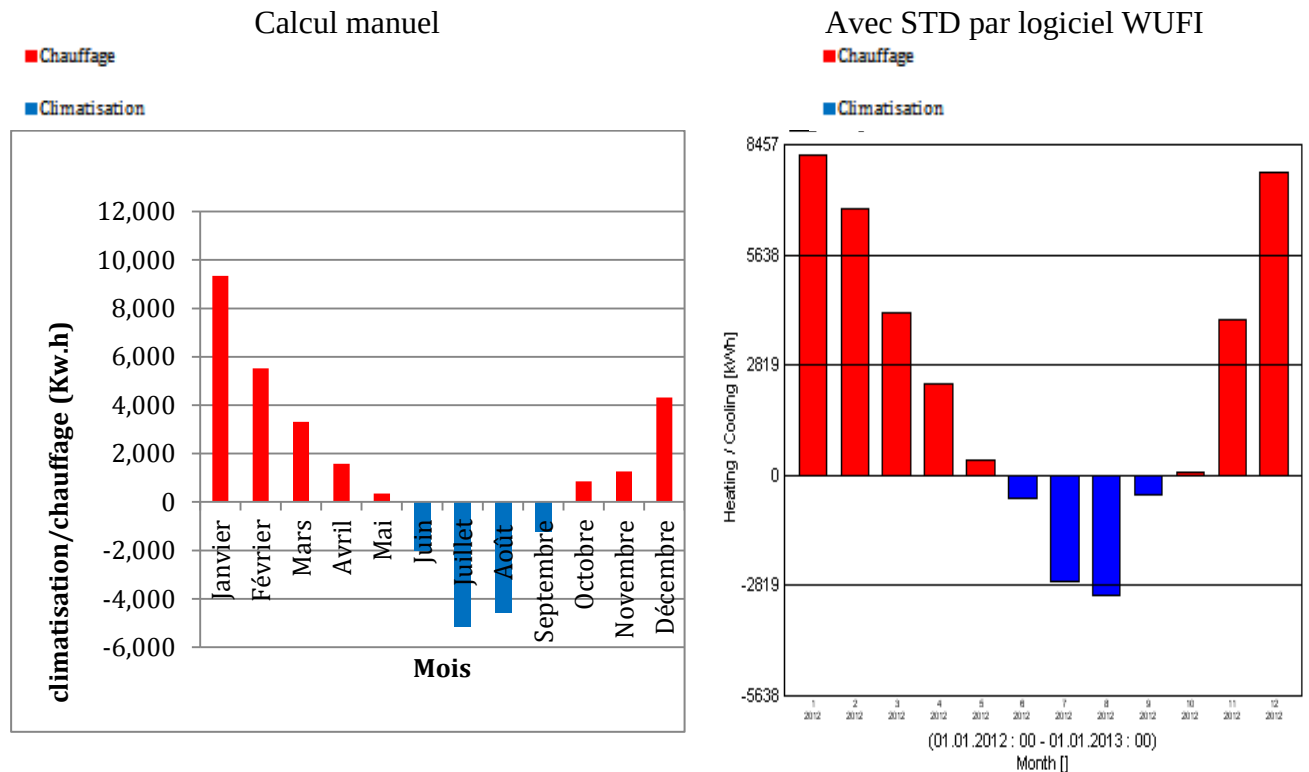


Figure 4-13 : Comparaison de la consommation énergétique (chauffage /climatisation) d'un bâtiment énergivore.

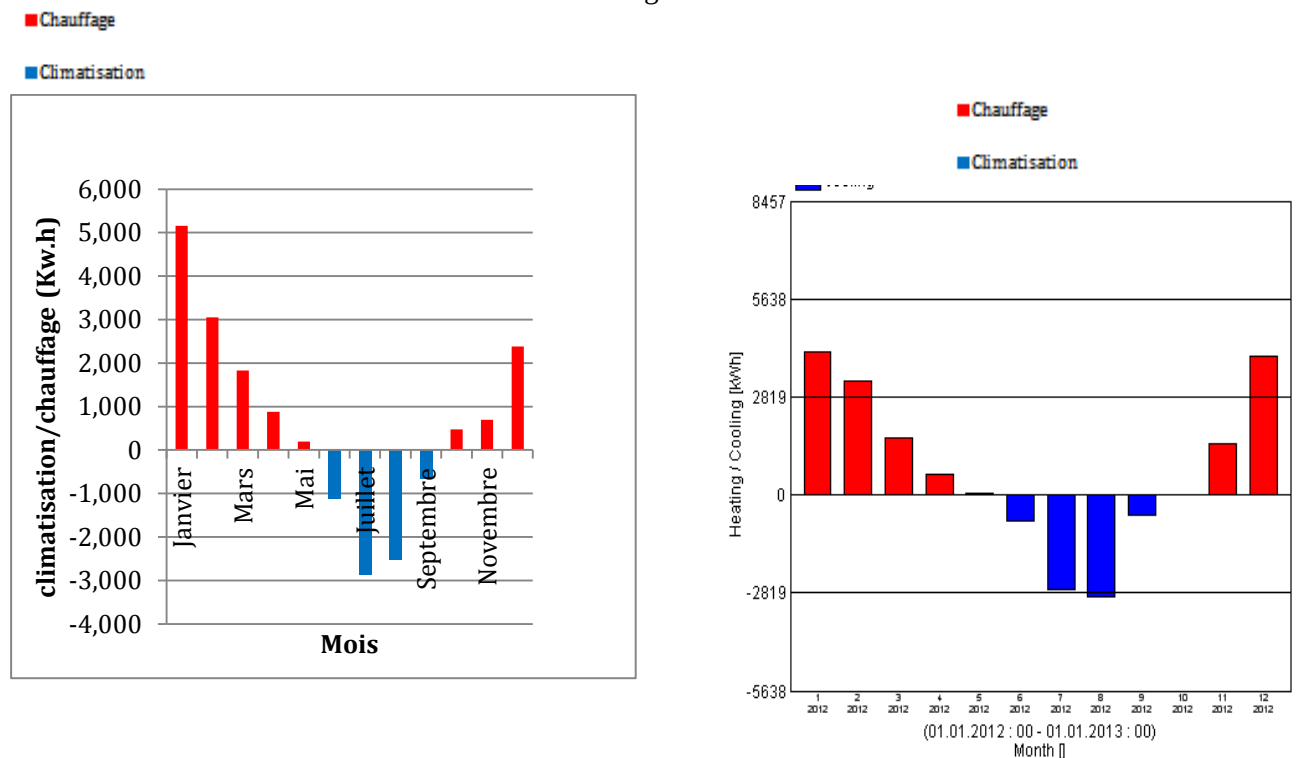


Figure 4-14 : Comparaison de la consommation énergétique (chauffage /climatisation) d'un bâtiment isolé.

Les graphes ci-dessus, représentent le besoin d'énergie (chauffage /climatisation) traiter par deux méthodes de calcul :

- Classique (Manuel)
- Simulation thermique avec le logiciel WUFI.

Les résultats obtenus nous montrent qu'il y a une variation mensuelle sur la consommation d'énergie durant une année. Les différences qui existent sont dues au fait que les températures moyennes prises en considération dans les deux calculs ne sont pas les mêmes. Pour le calcul manuel, moyennes des températures correspondent à la décennie 2000-2009 (Annexe 3) et pour la simulation avec WUFI elles correspondent à la décennie 1996-2005 (Annexe 4).

La Simulation Thermique Dynamique simule au pas de temps horaire le comportement du bâtiment en fonction de la météo, de l'occupation des locaux, ...Par contre le calcul manuel du bilan thermique d'un bâtiment est une étude moins précise qu'une étude thermique dynamique.

IV.4. Estimation (calcul de rentabilité de la réhabilitation d'un bâtiment)

Nous avons jugé nécessaire de faire une estimation du coût de l'énergie consommée et l'impact de l'isolation thermique sur cette consommation. Aussi nous avons estimé le coût de l'isolation du bâtiments étudié et déduit la période de retour sur l'investissement. Nous avons utilisé les tarifs en cours de l'électricité et du gaz en Algérie et ce de la France pour mettre le point sur l'importance de l'isolation sur le gain d'énergie.

IV.4.1. Les prix des énergies domestiques en Algérie

D'après les données de SONELGAZ.

- Pour l'électricité :

	KWh	PU (DA)
Tranche 1	≤125	1.7787
Tranche 2	Entre 125 et 250	4.1789
Tranche 3	Entre 250 et 1000	4.8120
Tranche 4	≥1000	5.4796

- Pour le gaz :

	Thermie	PU (DA)
Tranche 1	≤1125	0.1682
Tranche 2	Entre 1125 et 2500	0.3245
Tranche 3	Entre 2500 et 5000	0.4025
Tranche 4	≥5000	0.4599

Vue que l'énergie est subventionné par l'état algérien, il a été jugé de ne prendre en considération dans nos estimations que le tarife de la quatrième C'est le tarif de la quatrième tranche qui est utilisé dans le calcul du coût énergétique.

IV.4.2. Les prix des énergies domestiques en France

D'après les données de Tarif Bleu,

- Pour l'électricité ; le prix d'un kWh vaut **11.02DA**,
- Pour le gaz : le prix d'un kWh vaut **4.57 DA**.

Les résultats obtenus sont présentés sur Le tableau suivant :

Tableau 4-12 : Le nombre d'années pour récupérer l'argent investissement au niveau de l'isolation

	Différence d'énergie consommée (KWh)	Cout d'énergie			
Chauffage	31,126.94	ALGERIE		France	
		Gaz	Électricité	Gaz	Électricité
		(0.46 DA/ thermie)	(5.48 DA/KWh)	(4.57 DA/ KWh)	(11.02 DA/KWh)
		12,311.60	170,575.62	142,250.10	343,018.85
Climatisation	2,485.42	Électricité		Électricité	
		13,620.11		27,389.34	
coût	Sans TVA	25,931.70	184,195.72	169,639.44	370,408.18
	Avec TVA	30,858.73	219,192.91	203,567.33	444,489.82
Cout total de l'isolation (DA)	2, 260,124.80				
Retour sur l'investissement (Année)	Sans TVA	87	12	13	6
	Avec TVA	73	10	11	5

D'après le tableau ci-dessous (Tableau 4-12), on peut constater que le coût d'énergie d'un bâtiment non-isolé est deux fois plus élevé par rapport à un bâtiment isolé.

Tableau 4-13 : Le coût d'énergie annuelle en chauffage/climatisation

	Déperditions (w)	Surface du bâtiment	Les besoins annuels en chauffage	Les besoins annuels en climatisation	Le coût d'énergie
	$D(w)$	$V(M^2)$	KWh	KWh	DA
Bâtiments non-isolé	2753.61	135.31	69,523.03	5,551.27	57,919.30
Bâtiments isolé	1520.76		38,396.09	3,065.85	31,987.60

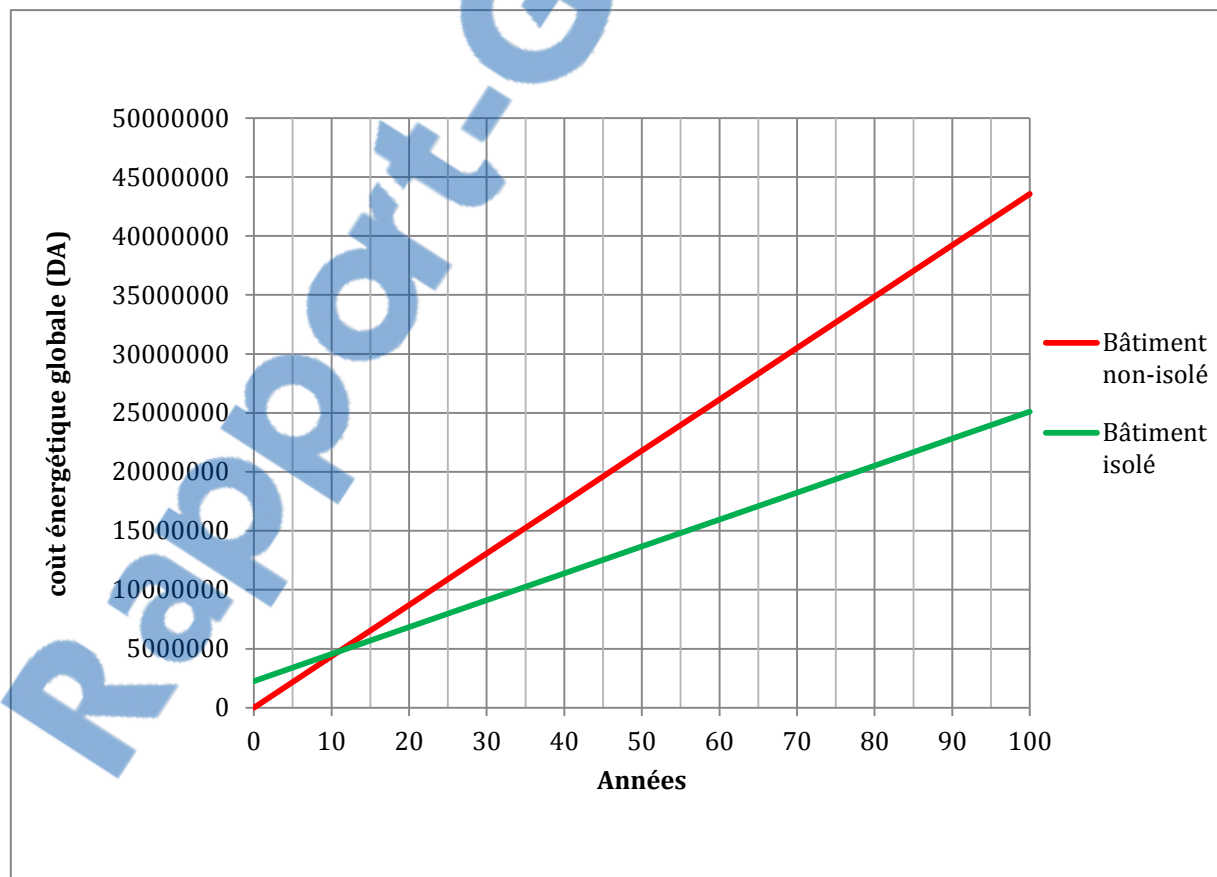


Figure 4-15 : Coût énergétique global sur une période de 100 ans avec un temps de retour sur investissement (TRI) de 10 ans (chauffage et climatisation à l'électricité)

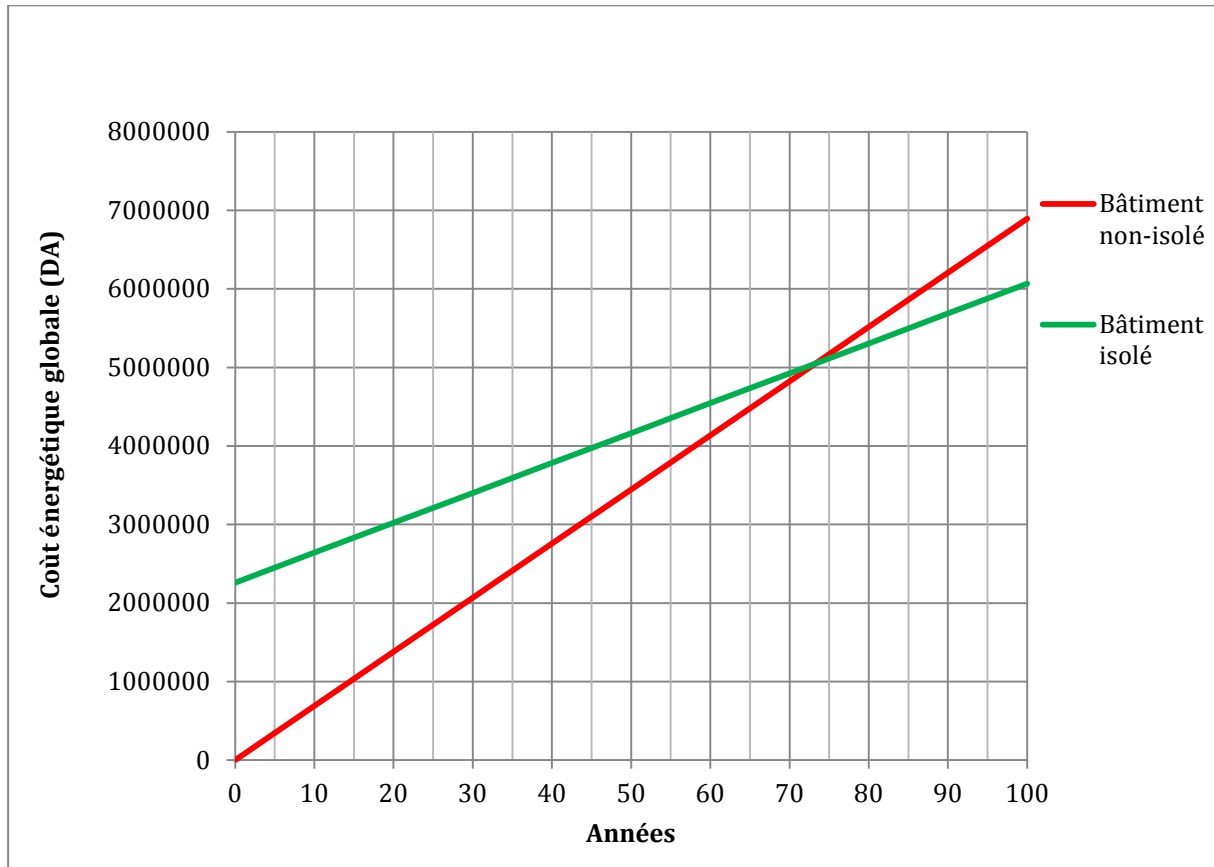


Figure 4-16 : Coût énergétique global sur une période de 100 ans avec un temps de retour sur investissement (TRI) de 73 ans (Chauffage au gaz et climatisation à l'électricité)

D'après la courbe représentative de la figure (4-15) et (4-16), nous constatons que le coût global est croissant chaque année, plus rapidement sans rénovation (courbe rouge du graphique ci-contre), traduisant des frais de fonctionnement plus élevés. Le temps de retour sur investissement (TRI) est d'environ 73 ans (Chauffage au gaz et climatisation à l'électricité) est d'environ 10 ans (chauffage et climatisation à l'électricité) notamment grâce à une revente plus favorable en cas de réhabilitation, ce qui encourage à l'investissement.

D'après les résultats on constate qu'une bonne isolation thermique nécessite un investissement important au tout début, mais elle nous permet de réduire considérablement la consommation d'énergie.

Par conséquent on peut conclure que, cette réduction permet la récupération de l'argent investissement dans l'isolation et un gain considérable pour le citoyen, en particulier et l'état en générale. Elle permet aussi réduction au niveau des GES et ainsi la sauvegarde de l'environnement.

V. CONCLUSION

Ce travail concrétise une étude comparative relative à l'efficacité énergétique, entre un bâtiment énergivore et un bâtiment efficace (isolé). Nous pouvons conclure que la simulation par le logiciel Wufi, et un calcul réglementaire manuel, nous a montré que :

- Plus la quantité d'isolant est importante, plus l'économie d'énergie sera appréciable.
- L'isolation extérieure de l'enveloppe du bâtiment est très importante, pour augmenter la résistance thermique des éléments constructifs, afin de diminuer les déperditions calorifiques durant toute l'année. Donc cette isolation peut être aussi intéressante dans des pays comme l'Algérie.
- Par le biais de cette isolation ETICS, on peut augmenter le confort intérieur de l'habitation sans éventuellement avoir recours aux équipements mécaniques de ventilation.

Bien sûr, isoler l'enveloppe ne veut pas forcément dire augmenter le coût du bâtiment, bien au contraire, les gains s'obtiendront à long terme avec un minimum d'amélioration du confort intérieur des habitations, afin de mener une vie normale et paisible dans nos maisons.

On déduit : Réaliser une isolation performante réduit les déperditions thermiques donc cela réduit également nos besoins en chauffage/climatisation donc nous chauffons/refroidissons moins pour notre habitation donc nous faisons des économies ! Et c'est un fait avéré, isoler efficacement son bâtiment permet bien de faire des économies d'argent.

Isoler nos habitations permet donc d'assurer à la fois le confort et réduit le coût de la facture Sonelgaz. Il est devenu donc plus que nécessaire d'introduire la propriété d'isolation de la couverture des bâtiments comme exigence dans la construction.

CONCLUSION GÉNÉRALE

En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'absence d'une réglementation spécifique d'une part, par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage. L'amélioration des techniques au niveau des matériaux de construction et d'isolation permet aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques, tout en offrant un cadre de vie plus confortable en étant consommateur de très peu d'énergie.

Aujourd'hui, Il faut absolument intégrer l'efficacité énergétique dans toute sa dimension dans la conception des maisons, développer de nouveaux matériaux contribuant à l'efficacité énergétique pour un développement durable. Pour cela, il est nécessaire pour l'Algérie de développer une stratégie nationale d'efficacité énergétique dans le bâtiment, non seulement pour préserver les ressources énergétiques mais aussi pour assurer une rentabilité économique des projets. Selon lui, l'enjeu de l'efficacité énergétique pour l'Algérie n'est pas uniquement environnemental mais aussi économique : une réduction de la consommation de l'énergie permettrait au pays de réduire les dépenses en énergie.

La modeste recherche que nous avons élaborée avait pour objectifs de fournir des principes directeurs de conception architecturale et constructive en vue des exigences du confort, tenant compte de la corrélation entre les caractéristiques climatiques en réponse à la performance thermique et économique des bâtiments en Algérie. Dans le cas de projets de construction, la simulation numérique est le meilleur moyen d'anticiper l'ambiance thermique du bâtiment.

Les résultats obtenus ont montré que l'isolation thermique de l'enveloppe et le type de vitrage sont parmi les solutions les plus efficaces qui permettent une réduction notable des besoins énergétiques. Ils constitueront en effet une barrière aux échanges thermiques. L'isolant est disposé à l'extérieur de la paroi et les avantages majeurs sont la réduction des ponts thermiques et les surfaces intérieures restent inchangées. Ainsi une bonne isolation thermique nous permet d'avoir un gain d'énergie pour l'état et pour le citoyen (électrique et gaz). .

L'isolation thermique permet à la fois de réduire nos consommations d'énergie de chauffage et/ou de climatisation et d'accroître notre confort. Mais ce n'est pas tout : l'isolation est également bénéfique pour l'environnement car, en réduisant les consommations, elle permet de préserver les ressources énergétiques et de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, l'isolation thermique est intéressante en termes de protection de l'environnement, de confort et d'économies financières.

L'efficacité énergétique est importante dans les nouveaux bâtiments. Un projet de nouveau bâtiment est l'occasion idéale de mettre l'accent, dès le départ, sur l'efficacité énergétique. Les nouvelles constructions offrent de nombreuses occasions d'intégrer des mesures d'efficacité énergétique comparativement aux bâtiments déjà construits. L'amélioration éco énergétique, comme l'isolation des murs, est souvent très coûteuse dans les bâtiments existants, mais ne l'est pas dans le cas des nouvelles constructions.

BIBLIOGRAPHIE

[A.Liébard et A.de Herde 2004]	« Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques» Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable. France , p776.
[ADEME EDITION, 2010]	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie « Bâtiment - énergie - environnement » ,2010 .
[ADEME, 2009]	Objectif 2020 : bâtiments a énergie positive. note de cadrage et
[Aline Branders et Arnaud Evrard, 2011]	Isolation Thermique Par L'intérieur Des Murs Existants En Briques Pleines. Architecture et Climat. la direction d'André De Herde. 2011.
[AMARA Sofiane (docteur en sciences physiques) ,2009]	Thèse de doctorat ; Optimisation des apports d'énergies hybrides Dans l'habitat économe ; Énergies Renouvelables, UAB– Tlemcen.
[Amara. S, Virgone. J and Benyoucef. B. (2007)]	Étude d'un système de production et stockage d'eau chaude sanitaire pour le site de Tlemcen, Complexes héliotechnique, 36B, 3-7,
[Ange BAIMEY, Benoit FARACO, Aissatou DIOUF ,2012]	Efficacité Énergétique, une clé pour un développement plus durable pour les communautés locales ; Le RÉSEAU CLIMAT & DÉVELOPPEMENT ; France, www.climatdeveloppement.org
[APRUE, 2005]	« Maitrise d'énergie. ses principaux acteurs et instruments », La Lettre de l'Aprue, Bulletin trimestriel n° 08 Mai 2005, APRUE, Alger, 11p.
[APRUE, 2007]	consommation énergétique finale de l'Algérie. Chiffres clés année 2005. Donnée et indicateurs, APRUE, Alger, 11p.
[Bernard LAPONCHE. 2010]	L'énergie dans le monde : priorité a l'efficacité énergétique.p 17
[Benoît Leguet 2012]	Point Climat N°23 Nouvelle directive européenne sur l'efficacité énergétique : la France en bonne position, France.
(Bertrand CHATEAU & Bruno LAPPILONNE, 1977]	La Prévision a Long Terme De La Demande D'énergie propositions méthodologiques éditions du centre national de la recherche scientifique, Paris 1977 p.90.
[De Béthencourt, et al, 2013]	Efficacité énergétique : un gisement d'économies ; un objectif prioritaire. Paris : Les éditions des journaux officiels.
[DEPECKER.P, 1985]	Organisation des contenus sur le thème de l'énergie, 1985
[DGE, 2012]	Consommation d'énergie en million de tonnes équivalentes pétrole (Mtep) par secteur en Algérie
[DJERROUFI M A ,2004]	Management de l'efficacité énergétique
[Donald.W.Curran, 1981]	la nouvelle donnée énergétique, Masson, collection géographie, p.17
[EUGENE DUMITRIU-VALCEA ,1986]	Isolation thermique des constructions en Algérie,
[Fabienne Collard, 2015]	« Les énergies renouvelables », Courrier hebdomadaire du CRISP 2015 ;p. 5-72.

[Grand Larousse De La Langue française, 1972]	librairie Larousse, tome2 paris ; 1972.
[Grégory DE OLIVEIRA. 2013]	Approche hybride d'optimisation pour la gestion d'énergie dans le bâtiment. Thèse Automatique Productive. Mireille JACOMINO. 2013. P170
[HERVÉ BOCQUET, 2013]	l'isolation thermique pour le bâtiment, fiche technique ,2013
[Humphreys ,1978]	MA: Outdoor temperatures and comfort indoors: Build Res Pract .
[Isover, 2012]	La thermique du bâtiment, 2012.
[Jürgen Gänßmantel, ABH CONSULT, Ali BEN HMID, Lotfi BEN SLIMANE, Fathi MAKNI,2010]	Guide maghrébin des matériaux d'isolation thermique des bâtiments, réseau des entreprises Maghrébines pour l'environnement (REME),(Algérie, Maroc, Tunisie),2010
[Larousse, 1969]	Encyclopédie De L'électricité: puissance, information, électronique, Larousse.
[Lou Chesné. INSA de Lyon, 2012]	Mécanique, Énergétique, Génie civil, Acoustique .Vers une nouvelle méthodologie de conception des bâtiments basée sur leurs performances bioclimatiques. 2012. p 217
[M. A. Boukli Haquenée ,2012]	Thèse de doctorat ; Aspects Energétiques, Economiques et Environnementaux d'une
[Marcello CACIOLO, Groupe de travail APOGEE sur la garantie de performance énergétique intrinsèque (GPEI) , 2015]	Revue pratique des logiciels de simulation énergétique dynamique (SED), ASSOCIATION APOGEE, paris ,2015
[MELOUKA S, 2014]	Cours Équipements du bâtiment-chauffage et climatisation
[MEM, 2011]	Bilan énergétique national de l'année 2010, MEM, Alger, 42p.
[MHU (Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme), 2009]	Partenariat Aprue/OPGI. Intégrer l'économie d'énergie dans l'habitat », La Revue de l'Habitat -N° 04 - Septembre 2009, MHU, Alger, 74p.
[Moncef Krarti, Dominique Marchio, 2016]	Guide technique d'audit énergétique, Paris : Presses des MINES, collection Technologies, 2016
[N.Morel et E.Gnansounou . 2008]	'Énergétique du Bâtiment', Cours 4/5ème année, Génie Civil, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, Septembre 2008.
[Nicolas Morel et Edgard Gnansounou, 2008]	Énergétique du bâtiment, section de génie civil, 4ème/5ème année, (nouvelle édition du cours précédemment donné par claude-alain roulet et arnaud dauriat), école polytec hnique fédérale de Lausanne.
[Nicole Sperzel, 2014]	Construire et rénover de façon responsable dans les Alpes. Module 2.L'énergie et le bâtiment, CIPRA International.
[Praia, Cap Vert. 2012]	Centre Régional pour les Énergies Renouvelables et l'Efficacité Énergétique de la CEDEAO (CEREEC). Politique sur l'Efficacité Énergétique de la CEDEAO (PEEC)p72.
[R.Kharchi, 2013]	Étude énergétique de Chauffage, Rafraîchissement et Eau Chaude Sanitaire d'une Maison Type en Algérie », thèse de doctorat (juillet2013).

(Robert ANGIOLETTI, Hubert DESPRETZ. 2004]	Techniques de l'Ingénieur. Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments -Définitions. Usages. Consommations. Paris – France.21p
[Salomon, et al. 2004]	La maison des Négawatts : Le guide malin de l'énergie chez soi. Mens : Terre vivante .
[Sergio García Beltrán, Lucie Kochova, Giuseppe Pugliese, Petr Sopoliga, 2010]	Manuel de l'élève, Les Bâtiments: efficacité énergétique et énergies renouvelables, 96p
[Sidi Mohamed Karim El Hassar, Madjid Amirat, Kamel Silhadi, Messaoud Souici & Saïd Sakhraoui	Réglementation thermique algérienne des bâtiments, Contribution à la définition de nouveaux coefficients réglementaires
[Thierry LAFFONT ,2008]	ADEME, Énergies renouvelables et quartiers durables
[Thierry Rieser, ingénieur chez enertech, 2012]	les ponts thermiques dans les bâtiments performants, mutuelle des architectes français assurances, Les fiches d'informations techniques de la MAF sur la RT 2012, Enertech,
[Thierry Salomon, Renaud Mikolasek et Bruno Peuportier, 2005]	OUTIL DE SIMULATION THERMIQUE DU BATIMENT, COMFIE, IZUBA Energies, 22 Bd Foch, 34140 Mèze Ecole des Mines de Paris, CEP, 60 Bd St Michel, Paris Cedex 06, Journée thématique SFT-IBPSA.
[Union Sociale pour l'habitat et Alterre Bourgogne, ADEM, DREAL ,2016]	
[WBCSD 2009]	Efficacité Énergétique dans les Bâtiments, Transformer le Marché, World Business Council for Sustainable Development, rapport international du WBCSD.
[Weber W. 1991]	« Soleil et architecture – guide pratique pour le projet - Programme d'action PACER – Énergies renouvelables » Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne1991
[Yves. Robillard ,2011]	Guide vers un bâtiment durable : les équipements et solutions d'efficacité énergétique.
ECOCONSO. 2009.	Les maisons bioclimatiques.

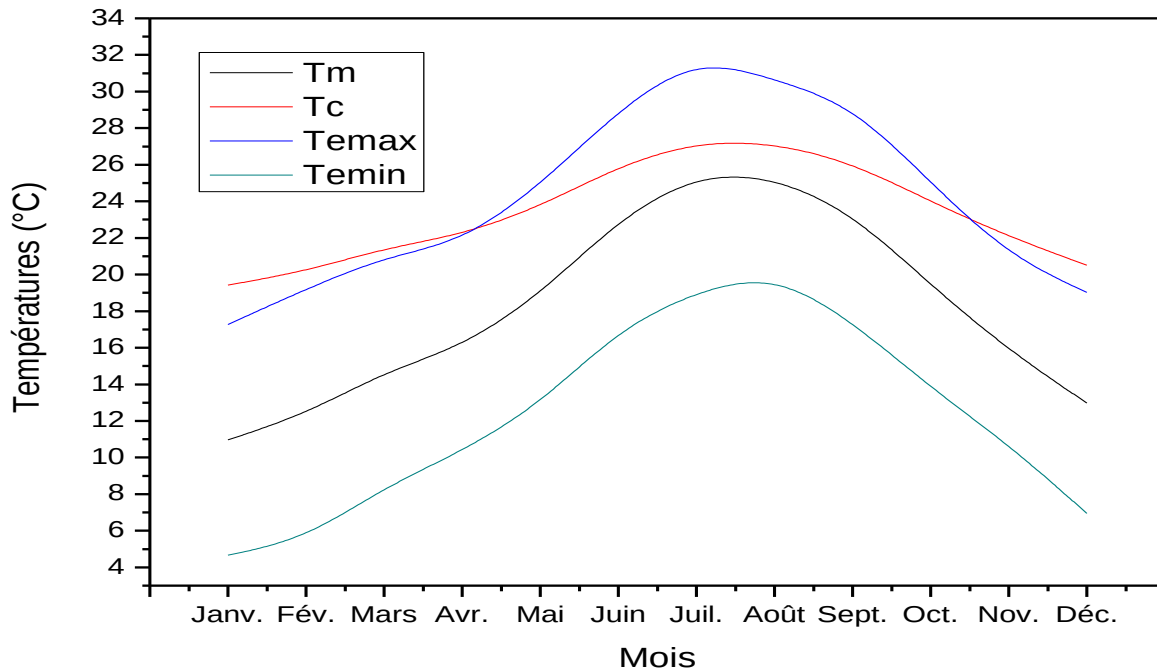
WEB GRAPHIE

<http://outils-solaires.com/développement-durable/énergie-solaire/consommation-logements+a16.html>
http://www.ajena.org/renovact/media/technique_ponts-thermiques.pdf
http://www.xpair.com/lexique/definition/efficacite_energetique.htm
<http://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/le-batiment-et-vous/construction-durable/accueil.html>
<http://portail.cder.dz/spip/article3212>
<http://www.cfbp.fr/gpl-maitrise-de-l-energie/diagnostic-de-performance-energetique-n260>
<http://www.cstb.fr/>
<http://www.anme.nat.tn/>
<http://www.construction21.org/maroc/company/ma/design-builder-maroc.html>
<http://www.izuba.fr/logiciel/pleiadescomfie>,
<http://www.trnsys.com/about.htm>,
<http://www.wufi-pro.com/>
Weather online: <http://www.wofrance.fr/weather/maps/city>

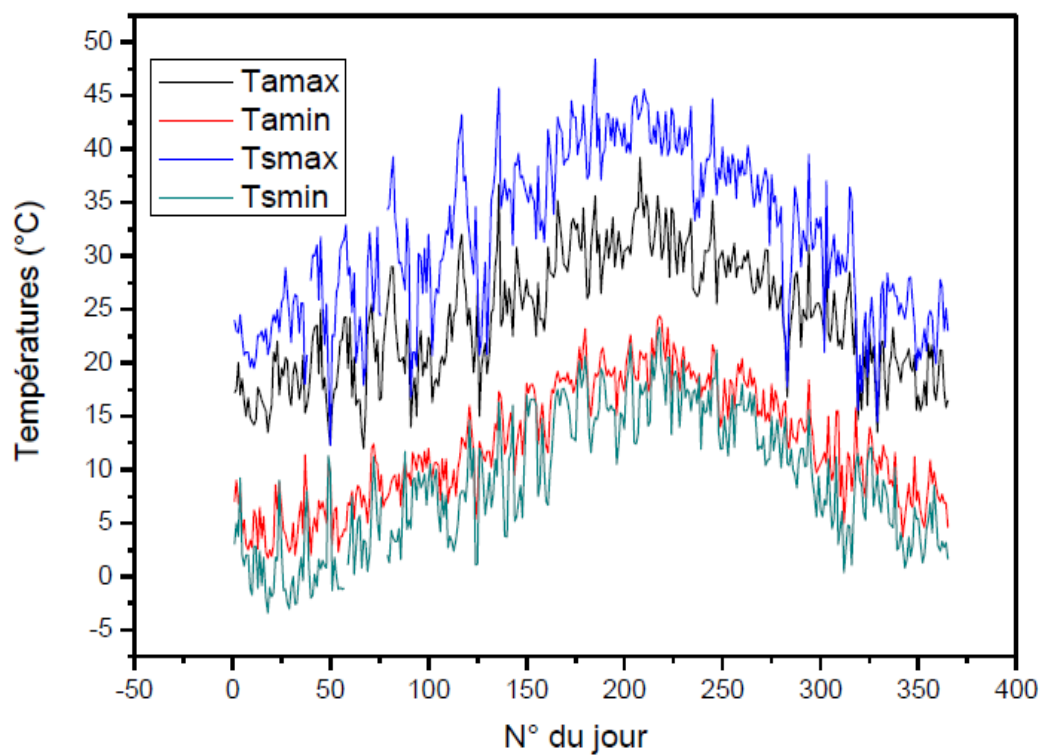
ANNEXES

ANNEXE 1

Variations saisonnières des températures (AMARA. S. ,2009)



Variation des Températures journalières (Max et Min) ambiantes et au sol du site de TLEMCEN (AMARA S. ,2009)



ANNEXE 2

Le besoin énergétique chauffage / climatisation annuel (KWh)

Mois	Tc	Températures moyennes ambiantes	Dj pour le chauffage	Le besoin énergétique (chauffage) (Kw.h)	
			Tc	double paroi	double paroi avec isolation
Janvier	19.43	10.43	192.5	12,721.66	7,025.90
Février	20.19	12.01	134	8,855.59	4,890.76
Mars	21.42	13.9	146	9,648.63	5,328.73
Avril	22.17	15.2	125.5	8,293.86	4,580.52
Mai	23.71	17.89	91	6,013.87	3,321.33
Juin	25.92	22.11			
Juillet	27.26	24.46			
Août	27.19	24.19			
Septembre	26.11	22.38			
Octobre	23.98	18.5	93.5	6,179.09	3,412.58
Novembre	22.06	15.56	117.5	7,765.17	4,288.54
Décembre	20.51	12.95	152	10,045.15	5,547.72
Total			1052	69,523.03	38,396.09

Mois	Tc	Températures moyennes ambiantes	Dj pour la climatisation	L e besoin énergétique (climatisation) (Kw.h)	
			Tc	double paroi	double paroi avec isolation
Janvier	19.43	10.43			
Février	20.19	12.01			
Mars	21.42	13.9			
Avril	22.17	15.2			
Mai	23.71	17.89			
Juin	25.92	22.11	30	1,982.60	1,094.95
Juillet	27.26	24.46	8	528.69	291.99
Août	27.19	24.19	19	1,255.64	693.47
Septembre	26.11	22.38	27	1,784.34	985.45
Octobre	23.98	18.5			
Novembre	22.06	15.56			
Décembre	20.51	12.95			
Total			195.22	5,551.27	3,065.85

ANNEXE 3

Le besoin énergétique chauffage / climatisation annuel (KWh)

Mois	Tc	Températures moyennes ambiantes	Dj pour le chauffage	Le besoin énergétique (chauffage) (Kw.h)	
			15°C	double paroi	double paroi avec isolation
Janvier	19.43	10.43	141.41	9,345.30	5,161.21
Février	20.19	12.01	83.54	5,520.87	3,049.06
Mars	21.42	13.9	50.06	3,308.29	1,827.10
Avril	22.17	15.2	24	1,586.08	875.96
Mai	23.71	17.89	5.24	346.29	191.25
Juin	25.92	22.11			
Juillet	27.26	24.46			
Août	27.19	24.19			
Septembre	26.11	22.38			
Octobre	23.98	18.5	12.91	853.18	471.19
Novembre	22.06	15.56	19.13	1,264.24	698.21
Décembre	20.51	12.95	65.31	4,316.11	2,383.70
Total			401.6	26,540.35	14,657.67

Mois	Tc	Températures moyennes ambiantes	Dj pour la climatisation	Le besoin énergétique (climatisation) (Kw.h)	
			22°C	double paroi	double paroi avec isolation
Janvier	19.43	10.43			
Février	20.19	12.01			
Mars	21.42	13.9			
Avril	22.17	15.2			
Mai	23.71	17.89			
Juin	25.92	22.11	30.13	1,991.19	1,099.69
Juillet	27.26	24.46	77.98	5,153.43	2,846.13
Août	27.19	24.19	68.93	4,555.34	2,515.82
Septembre	26.11	22.38	18.18	1,201.45	663.54
Octobre	23.98	18.5			
Novembre	22.06	15.56			
Décembre	20.51	12.95			
Total			195.22	12,901.41	7,125.18

ANNEXE 4

METEONORM (Tlemcen-Zenâta)

Name of site = TLEMCEN/ZENATA

Latitude [°] = 35.010, Longitude [°] = -1.460, Altitude [m] = 247, Climatic zone = IV, 1

Radiation model = Default (hour); Temperature model = Default (hour)

Tilt radiation model = Perez

Temperature: New period = 1996-2005

Radiation: Old period = 1981-1990

RR: Only 3 station(s) for interpolation

SD: Only 4 station(s) for interpolation

RD: Only 1 station(s) for interpolation

Measured parameters (WMO nr: 605310) = Ta, FF, Td

Gh: Use of precalculated radiation map based on satellite and ground information due to low density of network.

Month	H_Gh	H_Dh	N	Ta	RH	FF	DD	RR	G_Lin
	[W/m2]	[W/m2]	[Octas]	[C]	[%]	[m/s]	[grad]	[mm]	[W/m2]
Jan	109	50	5.0	10.8	73	2.2	248	34	314
Feb	137	57	4.9	11.3	72	1.8	270	41	317
Mar	199	76	3.9	13.7	71	1.7	270	44	324
Apr	229	103	4.8	15.5	65	2.3	270	48	331
May	281	98	3.4	18.7	63	2.3	270	38	343
Jun	301	108	2.1	23.4	56	2.5	68	11	356
Jul	301	105	1.9	25.7	54	2.4	68	2	370
Aug	273	97	2.7	26.1	58	2.2	68	4	381
Sep	221	67	2.8	22.9	64	2.1	68	10	366
Oct	165	66	4.4	19.4	68	1.8	270	34	358
Nov	117	46	4.2	14.3	72	2.1	270	39	331
Dec	94	46	5.4	11.7	74	2.2	270	47	323
Year	202	77	3.8	17.8	66	2.1	289	352	352

Legend:

Ta: Air temperature

H_Gh: Mean irradiance of global radiation horizontal

H_Dh: Mean irradiance of diffuse radiation horizontal

N: Cloud cover fraction

RH: Relative humidity

FF: Wind speed

DD: Wind direction

RR: Precipitation

Variation des Températures mensuel et au sol du site de TLEMCEN

