REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie civil

Spécialité : Equipement de l'habitat

Efficacité énergétique du bâtiment étude comparative

Présenté par

BOUKHEDIMI Fatma Zouhra

OUDIA Omar

Proposé et Dirigé par

Dr. HADJA Kawthar

Dr. BOUKSANI Omar

Dr. KHELIFA KERFAH Ilyas

President	ZIRARI Monir
Examinateur	CHIBA Younes
Invité	BENTCHIKO Mohamed

Promotion 2022/2023

Remerciement

Nos premiers remerciements à Dieu qui nous a donné
Force et courage pour bien diriger dans ce modeste travail
Nos sincères remerciements également à
Notre encadrante : Mme HADJA Kawthar, enseignante à l'Université Dr. Yahia Fares, d'avoir acceptée d'encadrer ce projet de fin d'études, et à M. BOUKASSANI omar, enseignant à l'Université Dr. Yahya Fares- génie civil, et M. KHLIFA KERFAH Ilyas, enseignant à la faculté de Gini civil-USTHB, pour tous les conseils, l'aide et l'orientation donnés durant la réalisation de ce mémoire.
À tous les professeurs des départements
Génie civil et génie mécanique de l'Université de Medea.

À tous les membres du jury qui ont eu l'honneur d'évaluer le travail.
Toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

MERCI

DEDICACE:

Tout d'abord, je voudrais remercier Dieu Tout-Puissant pour mes chers parents pour tous leurs sacrifices et leur amour,
leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,
A mes chères sœurs Soumia, Amel et Nawal pour leurs encouragements constants et moraux à mes deux neveux, Souhaib et Rahaf.
A mon frère hamza pour son soutien et ses encouragements,
Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à l'honorable professeur,Hadja Kawthar qui nous a accompagné tout au long de ce travail et enseignant
Remerciements particuliers à tous les enseignants.
A tous mes amis (Ishraq, Aber, Aya, Ferial) et professeurs de l'Institut National spécialisé dans la maintenance des dispositifs médicaux à Médéa
et mon ami(Omar) pour leur soutien tout au long de mon parcours,
Merci d'être toujours à mes côtés.

Fatima zouhra

DEDICACE:

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours à mes cotes et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études ;

A tout ma famille ;

Et A toutes mes amies ;

A tous les gens qui me connaissent

Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent pas devant les obstacles de la vie.

Omar

Résumé

Actuellement, et avec le grand développement technologique dans le monde, le besoin en énergie s'est augmenté notamment dans le secteur du bâtiment. Cependant pour remédier cette situation, une nouvelle discipline a vu le jour sous l'appellation de bâtiment passif, ce dernier est caractérisé par l'utilisation des matériaux de construction passifs. Son objectif est le confort et la réduction de la consommation énergétique. Dans cette étude, on s'intéresse à l'efficacité énergétique d'un bâtiment, celle-ci est liée particulièrement au type de matériaux et des isolants utilisés.

Mots clés :

Efficacité énergétique, bâtiment passif, consommation, matériaux isolants.

Abstract

Currently, and with the great technological development in the world, the need for energy has increased, particularly in the building sector. However, to remedy this situation, a new discipline has emerged under the name of passive building, this latter is characterized by the use of passive building materials ,its objective is to ensure the comfort and reduce the energy consumption. In this study, we are interested in the energy efficiency of a building, which is particulary linked to the type of material and the insulated used.

Key words:

Technology, energy efficiency, passive building, consumption, insulated material.

ملخص

في الوقت الحالي ، ومع التطور التكنولوجي الكبير في العالم ، ازدادت الحاجة إلى الطاقة ، لا سيما في قطاع البناء. ولمعالجة هذا الموقف ، ظهر نظام جديد تحت اسم البناء السلبي ، ويتميز هذا الأخير باستخدام مواد البناء السلبية ، والهدف منه هو ضمان الراحة وتقليل مناستهلاك الطاقة. في هذه الدراسة ، نهتم بكفاءة الطاقة للمبنى ، والتي ترتبط بشكل خاص بنوع المادة والعازل المستخدم.

الكلمات المفتاحية

كفاءة الطاقة، البناء السلبي،الاستهلاك، المواد العازلة

Sommaire

INTRODUCTIONGENERALE……..... 01

Chapitre I: Énergie et bâtiment

I.1 Introduction :……..……..…….. 04

I.2 L'énergie et le développement durable :…….……..... 04

I.3 Problématique énergétique dans le contexte mondial et algérien :……. 05

I.3.1 La consommation énergétique dans le monde :……. 05

I.4 Poids du secteur du bâtiment dans la consommation énergétique :…….. 07

I.5 La consommation énergétique en Algérie :……... 08

I.5.1 La consommation dans les différents secteurs en Algérie :……... 08

I.5.2 La consommation énergétique dans les bâtiments publics en Algérie :…… 08

I.6. Conclusion :…….……..... 11

Chapitre II : Efficacité énergétique et bâtiments

II. 1 Introduction : …… 13

II. 2 Définitions Efficacité énergétique**:**……..…… 13

II. 3 Enjeux par rapport à l'énergie :…… 13

II.3.1 Enjeu réglementaire :……..…… 13

II.3.2 Enjeu comportemental :……... 14

II.3.3 Enjeu économique et industriel : ……..... 14

II.3.4 Enjeu environnemental :…….. 15

II. 4 Les solutions pour augmenter l'efficacité énergétique:…… 15

II.4.1 : Les solutions d'efficacité énergétique passives :……..……... 15

II.4.1.1 Compacité du bâtiment :……..... 15

II.4.1.2 L'orientation :……..... 16

II.4.1.3 Répartition des pièces :……...……... 16

II.4.1.4 Solaire passif :……..……..... 17

- L'éclairage naturel :…….……..... 17
- L'éclairage par les fenêtres:…….……..... 17
- L'éclairage par le plafond :……... 17

II.4.1.5 Surfaces vitrées:…….…… 18

A. L'orientation des surfaces vitrées:……..……... 19

B. Typologies des fenêtres:…….……...…… 19

- Le vitrage simple:……. 19

- Le double vitrage:……. 19
- Le triple vitrage:……...…… 19

II.4.1.6 Protection solaire:…….... 19

A. Les protections mobiles :……... 19

B. Les protections permanentes :…… 20

C. Protection végétal :……. 20

D. Protection végétale des murs :……...……. 20

II.4.1.7 Isolation :……..……. 22

A. Critères de sélection d'un isolant :……...……... 22

A.1Système d'isolation rapportée par l'intérieur :…… 22

A.2 Système d'isolation rapportée par l'extérieur :…….…….. 22

A.3 Les types d'isolants :…….…….…… 23

- Isolation des poches d'air :……... 23
- Isolation par gaz piégé :……... 23
- Isolation par le vide :……... 23
- Isolants minces réfléchissants :…… 23

A.4 Les éléments d'isolation :…….. 23

- Isolation des ponts thermique :……. 23
- Isolation de la toiture :……... 23
- Isolation des combles perdue :……..…… 23
- Isolation par rampant dessous :……..…... 23
- Terrasse sur le toit :……... 24
- Planchers bas :…….. 24

II.4.1.8 Étanchéité à l'air :……...…… 24

II.4.1.9 Ventilation:……. 25

II.4.2 Les solutions d'efficacité énergétique actives :…….. 25

II.4.2.1 La mesure des consommations :……. 26

A La mesure électrique :……..… 26

B. La mesure du gaz naturel :……...……. 26

II.4.2.2 Systèmes de régulation et d'automatisme :……... 26

II.4.2.3 Gestion de la protection solaire :…… 27
II.4.2.4 Production d'énergie solaire :…….. 27
A. Energies solaires thermiques :……. 27
B. Energies solaires photovoltaïques :……..…… 28
II.4.2.5 Systèmes et équipements performants :…….. 29
A. Système de ventilation double-flux :…… 29
B. Pompes à chaleur (PAC) :……..…. 30
C. Chaudière gaz à condensation :…… 31
II.4.2.6 La domotique:……. 31
II. 5 Conclusion :…… 32

Chapitre III : Bâtiment à énergie positive :

III. 1Introduction :……...……...…… 34
III. 2Isolation thermique :…….. 35
III. 2.2 Définition :……...……. 35
- L'isolation par l'intérieure :……. 36
- L'isolation par l'extérieur :…….. 37

III.2.3 : Isolation thermique des parois vitrées :…… 37
III.2.3.1 Définition :…… 37
III.2.3.2 Caractériser les transferts de chaleur d'un paroi vitrées :……. 37
- La conduction : …… 37
- La convection :……. 38
- Le rayonnement : …….. 38
- La fuite de chaleur- le flux thermique :…… 38
- Conductivité thermique :…….. 39

III.2.4 : Isolation thermique des parois opaques : …….. 39
III.2.4.1. Définition : …….. 39
III.2.4.2. Caractérisation des parois opaques :……. 40
- La résistance thermique d'un paroi homogène R_{Paroi} :…….. 40
- La déperdition d'un paroi en partie courante U_C :……... 40

III. 3Matériaux à caractère isolant :…… 41
III. 3.1 Les matériaux bios sources:……. 41
III.3.1.1 Laine de mouton :……..……... 41
III.3.1.2 Laine de bois (fibre de bois) :……. 42
III.3.1.3 La ouate de cellulose :……..…… 43
III.3.1.4 Liège Expansé :…….……. 44
III.3.1.5 Chaux naturelle :…… 44

III.3.1.6 Terre crue :……. 45
III. 3.2 Les matériaux minéraux :……. 47
IIL3.2.1 Laine de roches :…… 47
III.3.2.2 Laine de verre :…….. 48
III.3.2.3 Perlite Expansé :……. 49
III.3.2.4 Verre cellulaire :…… ……. 50
III. 3.3 Les matériaux synthétiques :…… 51
III. 4Comment l'efficacité énergétique favorise la transition écologique :…… 53
III.5 Conclusion :…….. 53

Chapitre IV : Caractéristique des matériaux qui on étudier

IV.1. Introduction :…… 55
IV.2 Matériaux utilisés:……..……. 55
IV.2.1 Ciment:…… 55
IV.2.2 Sable:……..……. 56
IV.2.3 Super plastifiant……..…….. 56
IV.2.4 Eau de gâchage:…….……. 57
IV.2.5 Poudre aluminium:…….……... 57
I***V.*** 2.6 Chaux:…….... 57
IV.2.7 Laine de mouton……. 57
IV.2.8 Perlite expansée:……. 58
IV .3Préparation des Formulations et essai de caractérisation:…… 59
IV.4 Essais expérimentaux:…….…… 61
IV.4.1 Essais mécanique:…….. 61
IV .4.1.1. Résistance à la flexion :……... 61
IV .4.1.2. Résistance à la compression : ……..... 62
IV.4.2 Essais de la conductivité thermique :……..... 62
IV.4.3. Essai adhérence mortier brique : ……. 64

Chapitre IV : Modélisation Numérique d'une Maison Individuelle

V.1 introduction :……..... 68
V.2. Présentation du logement étudie :……. 68
V.3. Présentation du logiciel TRNSYS :……..... 70
V.4. Simulations thermiques du logement étudié :…….. 71
V.5 Réduction de la consommation énergétique du logement étudie :…… 72
V.6Conclusion :…….. 73
Conclusion Générale : …….. 76
Anexxe :……
Bibiolighraphie :…….

Liste des figures

Figure	Désignation	Pages
FigureI.1	La consommation d'énergie finale dans le monde en 2012 avoisine 9 milliards de tonnes d'équivalent pétrole.	6
FigureI.2	Évolution de la consommation d'énergie par région	6
Figure I.3	consommation énergétique dans les différents secteurs.	7
Figure I .4	Evolution de la population, consommation d'énergie primaire et d'émissions de CO2 en Algérie.	8
Figure I.5	Consommation finale de l'Algérie par secteur d'activité en 2012.	9
Figure I .6	Répartition de la consommation finale par secteur et par type d'énergie	9
Figure I.7	Profil de la consommation énergétique des logements en Algérie	11
FigureII.1	Course du soleil l'hiver .	16
Figure II.2	Les principes de base d'une conception bioclimatique	21
Figure II.3	Panneau solaire thermique.	28
Figure II.4	Panneau photovoltaïques.	28
FigureII.5	Principe de ventilation double-flux.	29
FigureII.6.	Pulsion et extraction dans chaque Local .	29
FigureII.7	Pulsion dans le local et extraction sanitaire .	29
Figure II.8	pompe à chaleur air eau .	30
Figure II.9	Fonctionnement de Chaudière gaz à condensation.	31
Figure III.1	Répartition des déperditions thermiques dans une maison non isolée.	36
Figure III.2	Isolation thermique des murs (Intérieur ou extérieur) .	37
Figure III.3	La conduction.	38
Figure III.4	La convection.	38
Figure III.5	Le rayonnement.	38
Figure III.6	La fuite de chaleur- le flux thermique	39
Figure III.7	La résistance thermique d'une paroi homogène.	40
Figure III.8	La différence de conductivité thermique de quelques matériaux usuels	41
FigureIII.9	Laine de mouton .	42
Figure III.10	Laine de bois .	42
FigureIII.11	La ouate de cellulose.	43
FigureIII.12	Liège Expansé .	44
Figure III.13	Chaux naturelle .	45
Figure III.14	Terre crue	46
Figure III.15	Laine de roches	47
Figure III.16	Laine de verre	48
Figure III.17	Perlite.	50
Figure III.18	Verre cellulaire .	51
Figure III.19	Les matériaux synthétiques .	51
Figure IV.1	Matériau utilisés	55

Figure IV.2	Gypse chaux et poudre aluminium	57
Figure IV.3	Laine de mouton.	58
Figure IV.4	Formulation et variables étudiées	61
Figure IV.5	Essai de flexion sur éprouvette en mortier	62
Figure IV.6	Essai de compression sur éprouvette en mortier	62
Figure IV.7	Essai de mesure de conductivité thermique et la chaleur spécifique **CT-Mètre**	63
Figure IV.8	Appareil de l'essai d'adhérence par dynamomètre	64
Figure IV.9	Etape de préparation e l'essai d'adhérence par dynamomètre	65
Figure V .1	Plan de la maison prototype.	67
Figure V .2	Projet TPF du logement étudié (interface graphique).	69
Figure V.3	Paroi de référence du logement étudié.	71
Figure V.4	Consommation énergétique du gaz pour le chauffage.	72

Liste de tableau :

Tableaux	Désignation	Pages
Tableau I.1	Comparaison entre la consommation énergétique en 2005 et 2012.	9
Tableau III.1	Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de laine de mouton.	42
Tableau III.2	Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Laine de bois	43
Tableau III.3	Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de la ouate calleuse..	43
Tableau III .4	Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Liège Expans	44
Tableau III.5	Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Chaux naturelle	45
Tableau III .6	Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Terre crue	46
Tableau III .7	Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Laine de roches	48
Tableau III.8	Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Laine de verre	49
TableauIII.9	Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Perlite Expansé.	50
Tableau III.10	Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Verre cellulaire	51
TableauIV.1	Caractérisation chimique et minéralogique du ciment CEM II 42.5 R	56
Tableau IV.2	Caractéristique physique du sable	56
Tableau IV.3	Caractéristiques du super plastifiant Tempo-10	56
Tableau IV.4	caractérisation de poudre aluminium	57
Tableau IV.5	Propriétés physique et chimiques de la chaux de Saida	57
Tableau IV.6	les caractéristiques physique et mécaniques de laine	58
Tableau IV.7	Propriétés physique et chimiques de la Perlite expansée	58
Tableau IV.8	Composition des mélanges de mortier avec perlite expansée	59
Tableau IV.9	Composition des mélanges de mortier avec laine de mouton	59
Tableau IV.10	Composition des mélanges de mortier avec poudre d'aluminium.	60
Tableau IV.11	mesure de conductivité thermique .	63

Liste des abréviation

SIGNE	NOMINALE DE SIGNE
EE	L'efficacité énergétique
APRUE	L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
BBC	Bâtiment Basse Consommation
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
TEP	Tonnes Equivalent Pétrole
CNERIB	Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment
EEA	Efficacité énergétique Active
L'AEE	Agence européenne pour l'environnement
EMS	Energy Management System
CPE	Contrat de Performance Energétique
PAC	Pompes à chaleur
Φx	le flux de chaleur,W/m^2
λ	la conductivité thermique du matériau traversé par le flux de chaleur
dT	la variation de température de chaque coté de ce matériau, en kelvin
dx	L'épaisseur du matériau traversé par ce flux de chaleur, en mètre
φ	Le flux de chaleur
ΔT	L'écart de température et e l'épaisseur de la paroi
R Paroi	La résistance thermique d'un paroi homogène
UC	La déperdition d'un paroi en partie courante
μ	Coefficient de résistance à la vapeur d'eau

Introduction générale

Introduction générale

Au cours des dernières décennies, les ressources et les richesses de notre planète sont épuisées. Cet épuisement du gaz et du pétrole est l'un des causes d'instabilité des marchés nationaux et internationaux, ceci a fait grimper les prix de l'énergie.

La production et l'utilisation d'énergie sont responsables de 85 % des émissions de particules dines et de la quasi-totalité de celles d'oxydes par exemples les oxydes de soufre et d'azote qui constituent à eux trois principaux responsables de la pollution atmosphérique.

Ces points là sont les principales raisons d'avoir recours à la notion d'efficacité énergétique qui est définie comme le rapport entre l'énergie reçue par le système et la totalité d'énergie qu'il consomme. Ce fonctionnent englobe l'ensemble des techniques utilisées pour restreindre au maximum la consommation d'énergie dans un logement. Nous pouvons dire autrement que le concept d'efficacité énergétique s'agit d'épargner tant que possible l'énergie et l'utiliser de la manière la plus rationnelle possible.

La consommation d'énergie peut être maitrisée en jouant sur les paramètres suivants : le contrôle de la consommation d'énergie, l'emploie des systèmes intelligents pour la gestion des divers équipements à l'intérieur de l'habitat, l'utilisation des systèmes de ventilation, de climatisation et de chauffage intelligents ou par le passage directement à la conception passive (orientation, étanchéité du bâtiment et l'usage des matériaux passifs et isolants). Dans notre étude, on s'intéresse à la conception passive particulièrement à l'emploie des matériaux de construction passifs et thermiquement isolant.

Les principaux objectifs de ce mémoire est de proposer des nouveaux matériaux de remplissage (maçonnerie) à caractère isolants formulés au niveau de notre laboratoire. Ces derniers vont remplacer la maçonnerie courante (la brique creuse) utilisée dans l'habitat en Algérie. Ces matériaux là vont être introduits dans une simulation numérique d'un logement pour les évaluer thermiquement.

Ce mémoire est composé par deux principales parties :

Une partie théorique :

Issue d'une recherche bibliographique basée sur la littérature pour enrichir notre sujet d'étude par la collecte des données : livres, ouvrages, thèses, mémoires, articles, revues, publications sur des sites internet, répartie en trois chapitres à travers lesquels on pourra analyser les concepts liés à la problématique énergétique et cerner les procédures d'évaluation et d'amélioration de la performance énergétique dans le bâtiment.

Une deuxième partie : pratique, celle-ci est composée par deux parties:

Une partie expérimentale, elle contient la formulation des matériaux à base des matières isolantes accompagnée par une caractérisation thermique de ces derniers.

Une partie numérique :

Dans cette partie, nous avons fait une simulation numérique d'un logement individuel situé dans la région de Blida par le logiciel TRNSYS. Le rôle de cette simulation est la comparaison entre les différents matériaux réalisés dans la partie expérimentale vis-à vis leur comportement thermique et la validation aussi des solutions proposées pour l'amélioration des performances énergétique du logement objet d'étude. À la fin de cette partie nous avons fait une petite comparaison entre les différents matériaux de maçonnerie en calcul le prix de remplissage d'un mur type.

Dans cette recherche les chapitres sont organisés comme suit :

Partie bibliographique :

- **Chapitre I :** Énergie et bâtiment
- **Chapitre II :** Efficacité énergétique et bâtiments
- **Chapitre III :** Bâtiment à énergie positive

Partie expérimentale :

- **Chapitre IV :** formulation et caractérisation thermique des matériaux à caractère isolant
- **Chapitre V :** Simulation numérique d'un logement
- **Chapitre VI :** Etude économique

ChapitreI : Énergie et bâtiment

I.1 Introduction : [1]

Le secteur du bâtiment est en continuelle croissance. La surface immobilière mondiale a plus que doublé depuis 1990 **[1]** et le monde construira l'équivalent de la ville de Paris chaque semaine jusqu'en 2060, conduisant ainsi à un nouveau doublement de la surface construite **[2]**. Une telle croissance soulève autant de défis que d'opportunités pour le secteur du bâtiment et la transition énergétique du XXIe siècle.

La question de la maitrise de la demande d'énergie et de l'efficacité énergétique dans le bâtiment est fondamentale, compte tenu de l'importance des gisements évalués et, surtout, du champ d'action possible. En effet, grâce à la disponibilité immédiate de technologies et de techniques matures, le secteur du bâtiment peut contribuer efficacement à résoudre les défis environnementaux auxquels nous devons faire face.

I.2 L'énergie et le développement durable :

Le développement durable est un concept de développement consistant en un contentement les besoins actuels de l'humanité (industrie, énergie, alimentation, transport, habitat, etc.) et réaliser une gestion rationnelle et efficace des ressources tout en préservant la qualité de l'environnement. Le concept s'applique à la conception architecturale et à la construction, ainsi qu'à l'utilisation des bâtiments, permettant d'améliorer le bien-être des habitants, de réduire les dépenses énergétiques et d'assurer une bonne qualité environnementale.

Comme le dit Shobakhar D., le développement doit être en harmonie avec la nature.

« Ce n'est pas le développement qui doit être durable, mais l'homme et la nature. »[2] Lorsque nous épuisons les ressources naturelles de la terre, les ressources du développement aussi. En fait, favoriser le développement durable, c'est favoriser la réintroduction à long terme du développement énergétique durable, qui peut être défini comme une technologie qui concilie les deux exigences. C'est une combinaison de confort et de satisfaction des besoins énergétiques actuel développement économique.

- Capacitéàrespecteretàprotégerl'environnementetlesressources"EnergyWellness"nouvellegénération.
- Le développement énergétique durable comprend trois priorités :
  - Mettre en place une politique volontariste d'économie d'énergie.
  - Élargissement de l'utilisation des énergies renouvelables.
  - Rechercher de nouvelles sources d'énergie qui permettent des rendements plus élevés Indépendance optimale de chaque pays. [3]

Le développement durable implique le principe selon lequel l'architecture doit apporter l'harmonie.Trois mondes différents : le monde économique, le monde écologique et le monde social .Les bâtiments doivent donc continuer à assurer protection et confort à leurs usagers, mais ils doivent aussi le faire.

Minimiser l'impact sur l'environnement extérieur. Parlons alors de « construction durable », de « construction verte » ou de « construction de qualité ».

L'aspect énergétique reste donc une préoccupation majeure, avec un focus sur les bâtiments performants.

Il repose sur deux mesures principales pour améliorer l'efficacité énergétique.

1. L'efficacité énergétique des bâtiments est obtenue grâce à la sélection des matériaux, à l'inertie des murs extérieurs, à l'isolation thermique et aux structures bioclimatiques.
2. Utilisation des énergies renouvelables .[4]

I.3 Problématique énergétique dans le contexte mondial et algérien

La consommation d'énergie est un enjeu important pour tous les pays du monde, notamment : L'énergie est une solution et un problème pour le développement, y compris en Algérie cohérent.

La consommation mondiale d'énergie est restée stable pendant très longtemps dans l'histoire de l'humanité L'énergie n'est consommée que pour la survie et les besoins alimentaires. Néanmoins, à partir de 1850 augmentation rapide de la demande mondiale due à la révolution industrielleOffrir un environnement plus confortable dans divers domaines de l'activité humaine,secteur de construction.

Cette partie présente l'état actuel du monde et les enjeux énergétiques mondiaux.

I.3.1. La consommation énergétique dans le monde :

Les réserves mondiales prouvées d'énergie fossile pouvaient être estimées en 2020, selon l'Agence fédérale allemande pour les sciences de la Terre et les matières premières, à 40 517 exajoules, dont 55 % de charbon, 25 % de pétrole et 19 % de gaz naturel. Ces réserves assurent 83 ans de production au rythme actuel ; cette durée est très variable selon le type d'énergie : 56 ans pour le pétrole, 54 ans pour le gaz naturel, 139 ans pour le charbon. Pour l'uranium, avec les techniques actuelles, elle serait de 90 à 130 ans selon les estimations, et sa durée d'utilisation pourrait se compter en siècles en ayant recours à la surgénération. À plus long terme, la fusion nucléaire pourrait apporter des ressources encore plus élevées. Le potentiel de l'énergie solaire est également quasi illimité.[5]

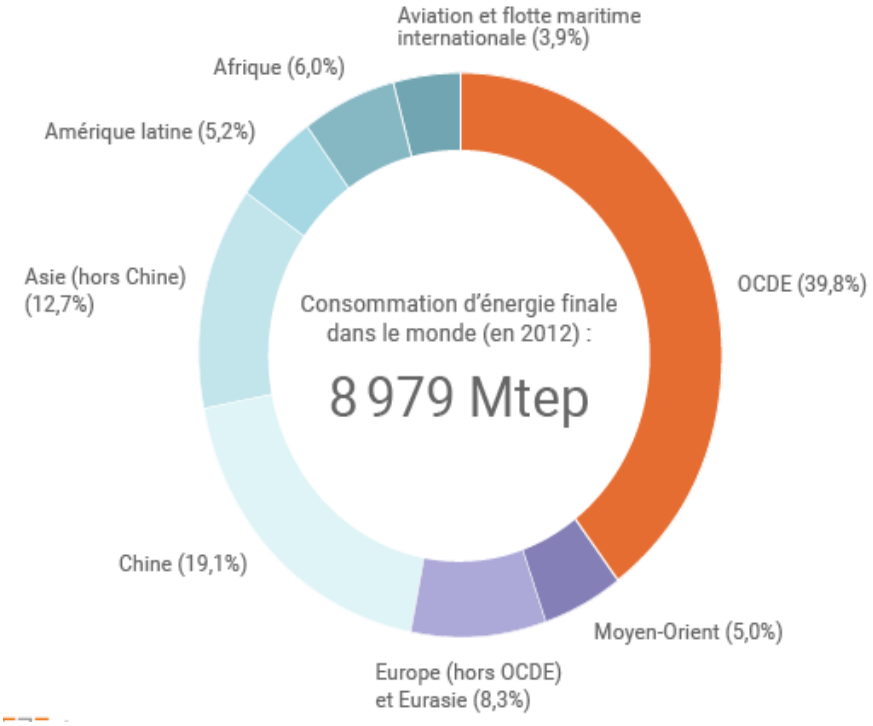


Figure I.1 : La consommation d'énergie finale dans le monde en 2012 avoisine 9 milliards de tonnes d'équivalent pétrole.

[1].

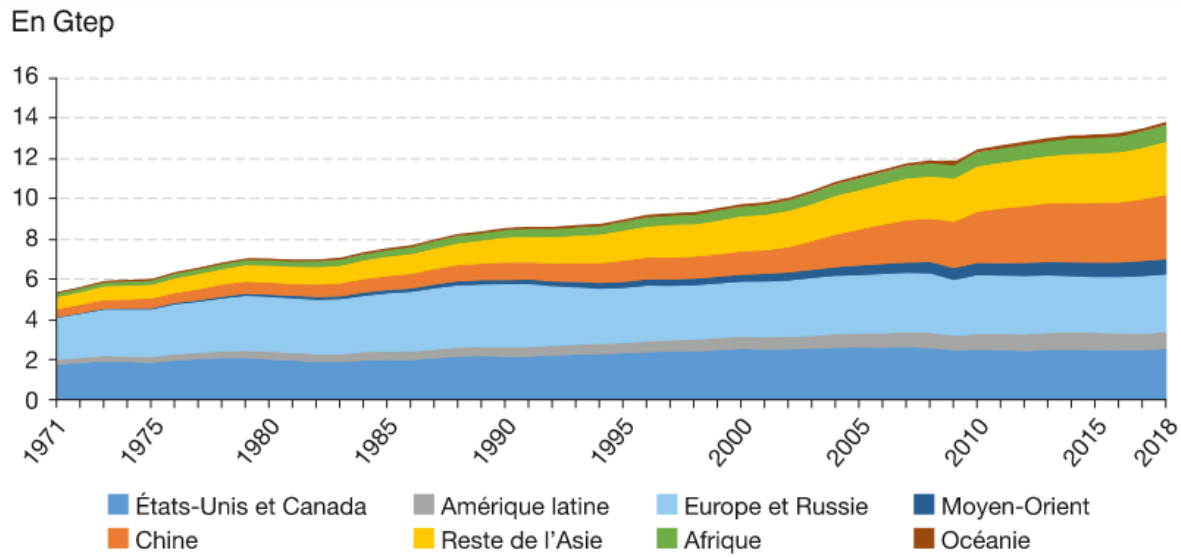


Figure I. 2 : Évolution de la consommation d'énergie par région.

[2]

Le taux de consommation varie d'un pays à l'autre en fonction des conditions [6] Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la consommation finale mondiale d'énergie en 2012 était d'environ 8,9 milliards de tonnes d'équivalent pétrole, dont les groupes producteurs d'énergie représentaient 39,8 %. La consommation la plus élevée parmi les pays membres de

l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), suivie de la Chine avec environ 19,1 % de la consommation totale, et de l'Afrique et autres avec 6 % de la consommation mondiale (figure I.1).

(A.I.E) affirme que la demande mondiale d'énergie primaire pourrait augmenter de 40 % d'ici làAprès avoir augmenté de 1973 à 2012, la consommation mondiale d'énergie a presque doublé (+92 %) entre 2007 et 2030 (figure I.2).

La figure (Fig. 4) montre la consommation d'énergie par secteur économique.

Le deuxième secteur le plus énergivore après l'industrie est le secteur du bâtiment qui consomme environ 40% de l'énergie finale.[7]

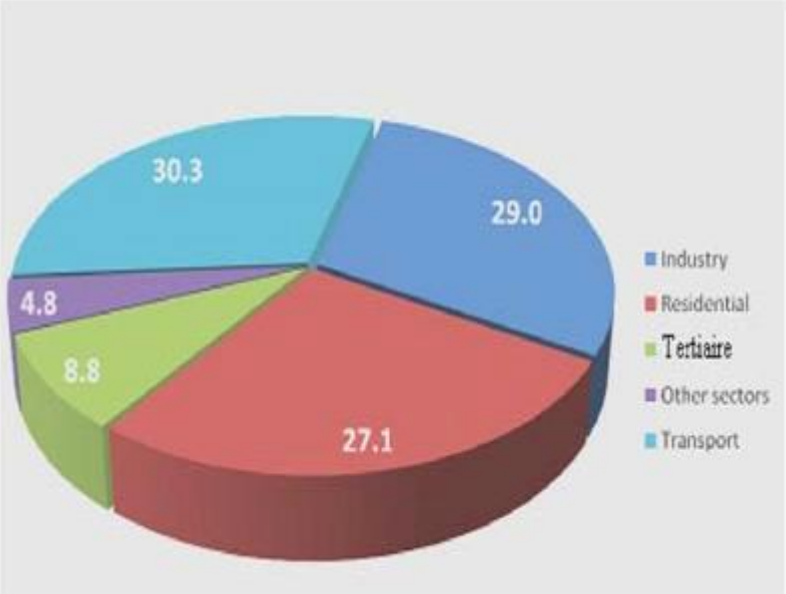


Figure I. 3 : consommation énergétique dans les différents secteurs.

[3]

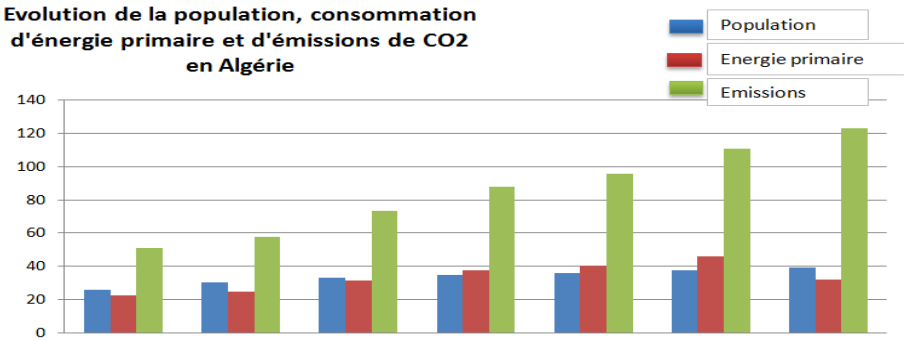
I.4 Poids du secteur du bâtiment dans la consommation énergétique :[8]

La consommation énergétique de la construction (la consommation énergétique des bâtiments) forme une bonne part de la consommation énergétique mondiale. Le secteur de la construction consomme jusqu'à 40 % de toute l'énergie et contribue jusqu'à 30 % des émissions annuelles mondiales de gaz à effet de serre. Étant donné la croissance massive de la construction neuve dans les économies en transition et l'inefficacité du parc immobilier existant dans le monde, si rien n'est fait, les émissions de gaz à effet de serre des bâtiments vont plus que doubler au cours des 20 prochaines années.

I.5 La consommation énergétique en Algérie :

Selon les statistiques de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la consommation d'énergie primaire de l'Algérie était estimée à 22,19 millions de tonnes en 1990, mais cette consommation a atteint 44,445167 millions de tonnes en 2014. La variation de 1990 à 2014 est de +232,85 %.

La forte demande des consommateurs est principalement due à l'augmentation des densités de population et du niveau de vie, à l'utilisation de systèmes de chauffage et de refroidissement et au développement industriel. Cette consommation accrue générera des émissions de CO2 plus élevées, estimées à 122,93 millions de tonnes soit 4 444 éqCO2 en 2014 (51,16 éqCO2 en 1990). Cela correspond à un écart de +240%.



Années	1990	1998	2004	2008	2010	2012	2014
Population (million)	25,91	30,34	32,82	34,81	36,04	37,44	38,93
Energie Primaire (Mtep)	22,19	24,89	31,13	37,27	40,09	45,97	31,67
Emissions (Mtco2 éq)	51,16	57,51	73,35	88,1	95,77	110,67	122,93

Figure I. 4 : Evolution de la population, consommation d'énergie primaire et d'émissions de CO2 en Algérie. [4]

Ce chiffre (Figure 4) montre que la consommation d'énergie du pays a augmenté de 55,6 millions.En 2015, la tep était de 58,3 millions de tep, soit une augmentation de 4,7 % par rapport à 2014.La consommation représente plus du tiers (38 %)[9] de la production nationale.

I.5.1. La consommation dans les différents secteurs en Algérie :

La demande énergétique en Algérie a triplé au cours des 30 dernières années et devrait croître du même facteur d'ici 2025. [10]Cela est dû en grande partie à l'augmentation du niveau de vie et du confort de la population qui l'accompagne, ainsi qu'à l'augmentation de l'activité industrielle.

Les figures 5 et 6 montrent respectivement la répartition de la consommation en fonction du secteurs :



Figure I. 5 : Consommation finale de l'Algérie par secteur d'activité en 2012 [5]

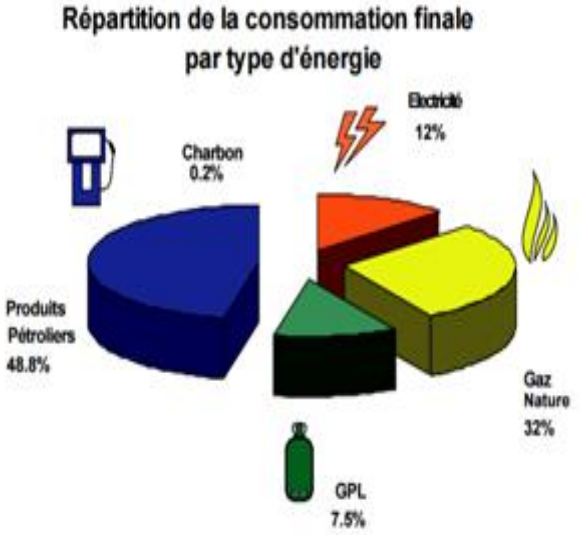


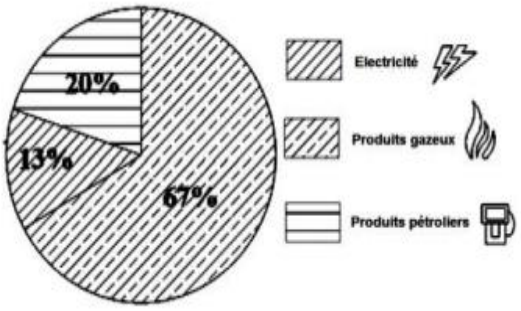
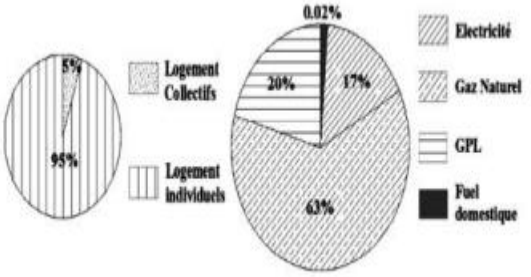
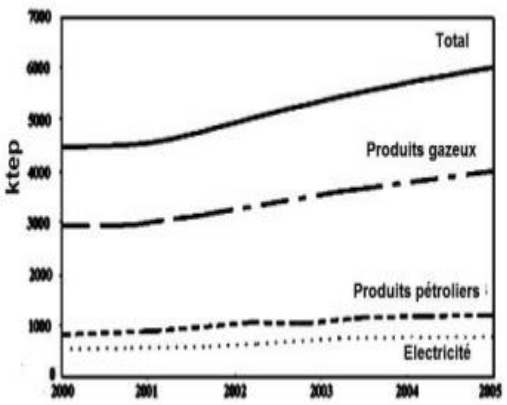
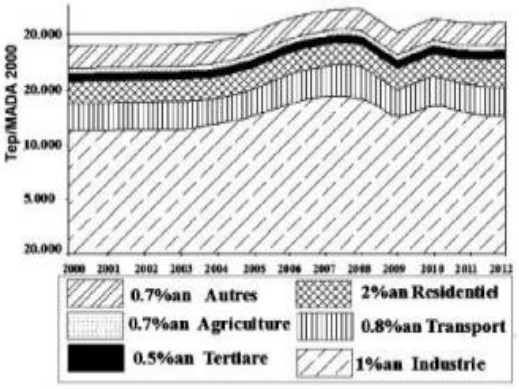
Figure I.6 : Répartition de la consommation finale par type d'énergie. [6]

La répartition des consommations finales par type d'énergie (Figure I.5) montre que la consommation plus élevée de gaz et d'électricité dans les bâtiments est principalement destinée au chauffage hivernal et au chauffage pour assurer un meilleur confort thermique indique qu'elle est due à l'utilisation intensive de la climatisation en été.

I.5.2. La consommation énergétique dans le secteur résidentiel en Algérie :

la consommation électrique du secteur résidentiel en Algérie, représente 38 % de la consommation totale d'électricité en 2005 et augmente en 2012 jusqu'à 40 %. Cette consommation est essentiellement destinée à couvrir les besoins d'éclairage artificiel, chauffage et surtout climatisation.

Tableau I.1: Comparaison entre la consommation énergétique en 2005 et 2012. [1]

2005	2012
La consommation finale du secteur résidentiel a atteint 06 millions de TEP en 2005	La consommation finale du secteur résidentiel a atteint 8.5 millions de TEP en 2012
 Consommation du secteur résidentiel par type d'énergie en 2005	 Répartition de la consommation du secteur résidentiel par types d'énergie et logements en 2012
 Evolution de la consommation du secteur résidentiel	 Evolution de l'intensité énergétique sectoriell
La consommation électrique du secteur résidentiel a atteint 807 kTep, ce qui représente 38 % de la consommation totale d'électricité. Ainsi, il représente le premier secteur grand consommateur d'énergie électrique au niveau national.	La consommation électrique du secteur résidentiel a atteint 1414 kTep, ce qui représente 40 % de la consommation totale d'électricité. 7056 kTep en produits gazeux, soit 60 % de la consommation totale des produits gazeux, sont également consommés. Le résidentiel reste, de ce fait, le

	premier secteur grand consommateur d'électricité.

La consommation énergétique moyenne annuelle d'un logement en 2017 est de 1.515 Tep/ménage soit 3262 kWh/ménage [1]. En période hivernale, le chauffage représente 46% de la consommation énergétique totale, la cuisson des aliments 22%, la production d'eau chaude 13% et les utilsations électriques 19% [1].

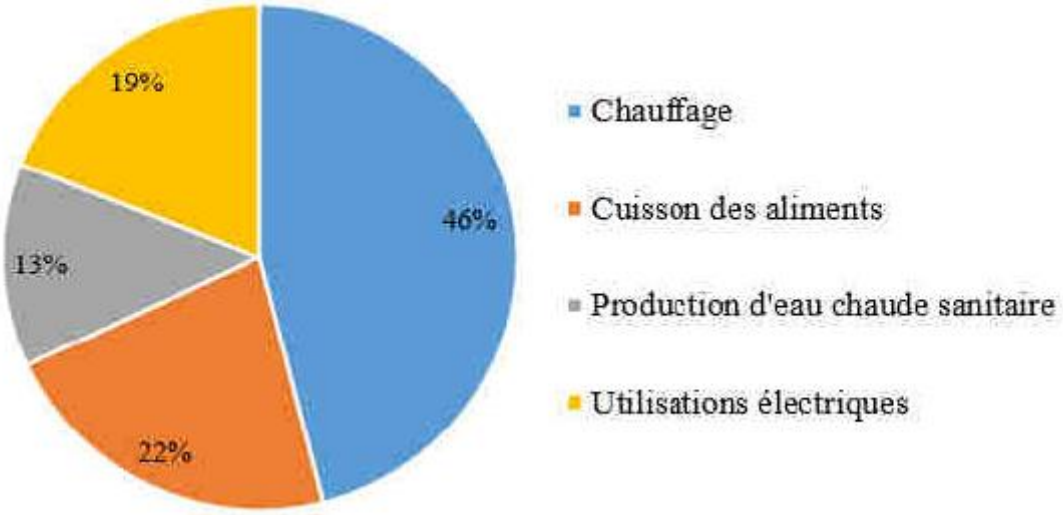


Figure. I. 7: Profil de la consommation énergétique des logements en Algérie [T.1]

I.6 Conclusion

L'Algérie est un pays qui jouit d'une position relativement enviable en matière énergétique. Les réserves en hydrocarbures dont il dispose et les niveaux actuels de consommation nécessaires à la couverture de ses besoins propres lui permettent de rester serein pour quelques temps encore. En revanches, mais ça n'empeche pas de développer des stratégés pour conserver ces énergies et les valoriser pour les besoins de développement du pays.

Chapitre II : Efficacité énergétique et bâtiments

II. 1 Introduction :

Dans ce chapitre nous avons fournit les définitions nécessaires à la bonne compréhension de la notion « d'efficacité énergétique », ainsi que un résumé des approches et des méthodes actuellement utilisées.

Des solutions actives présentées incluant plusieurs axes comme la régulation, la robotique, les énergies renouvelables et la ventilation assistée. Les solutions passives incluent les matériaux passifs, l'enveloppe et l'orientation du bâtiment, le solaire passif, la ventilation naturelle, etc.

II. 2 Définitions Efficacité énergétique:

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

- En physique : « l'efficacité énergétique » désigne le rapport entre l'énergie utile produite par un système et l'énergie totale consommée pour le faire fonctionner.**[11]**
- L'efficacité énergétique est le processus de réduction à la source de la quantité d'énergie requise pour un service donné, en utilisant mieux l'énergie avec une qualité de vie constante.[**12**]
- L'efficacité énergétique est définie comme une consommation d'énergie moindre pour le même service rendu. Le terme « efficacité énergétique » ne doit pas être confondu avec « l'intensité énergétique », qui fait référence à la quantité d'énergie nécessaire pour produire une quantité donnée de PIB. Elle n'est plus confondue avec le concept de sobriété énergétique. Si ce dernier a pour but d'empêcher les déversements, c'est le consentement.**[13]**

II. 3 Enjeux par rapport à l'énergie :[14]

II.3.1. Enjeu règlementaire :

Au niveau de l'Union européenne, l'initiative « 20-20-20 » fixe un objectif de réduction de la consommation d'énergie primaire de l'UE de 20% entre 2005 et 2020. Différentes directives sont mises en œuvre pour améliorer la performance énergétique des bâtiments (ex : directives sur la performance énergétique et sur l'étiquetage énergétique de mai 2010).

En France, *le Grenelle Environnement* reprend les exigences communautaires et fixe comme objectif une réduction de 38% de la consommation d'énergie des bâtiments à l'horizon 2020. Il prévoit notamment la rénovation de 400 000 logements par an à partir de 2013, dont la consommation ne devra pas dépasser 150 kWh/m2/an.**[15]**

La réglementation thermique française RT 2012 *fi*xe pour les constructions neuves un seuil maximal de consommation d'énergie primaire de 50kWh/m2/an en moyenne (base pondérée par la situation géographique et l'altitude)**[16]** qui correspond à la norme BBC (Bâtiment Basse Consommation).

Elle est beaucoup plus ambitieuse que la précédente réglementation (RT 2005) qui impose[17]une consommation moyenne maximale d'énergie de 120 à 220 kWh/m2/an pour les bâtiments construits après 2005.

L'Etat met également en place des mesures incitatives pour favoriser les économies d'énergie dans les bâtiments : subventions, prêts à taux zéro, avantages fiscaux, création du label « haute performance énergétique », etc. L'objectif est d'encourager les particuliers à réaliser des travaux d'amélioration énergétique et à louer, acheter ou construire des logements énergétiquement performants.

Par exemple, le « diagnostic de performance énergétique » (DPE), qui évalue la qualité énergétique d'un bâtiment en estimant sa consommation annuelle (en kWh/m2/an), est imposé depuis juillet 2007 en France, lors de la vente ou la location d'un logement. Il permet aux usagers d'apprécier le niveau de leur facture énergétique.

II.3.2. Enjeu comportemental

Une prise de conscience individuelle et collective peut influencer la manière globale de penser un habitat ainsi que son mode de vie. En 2010, seuls 47% des consommateurs étaient conscients de la quantité d'énergie globale qu'ils consommaient**[18].**

Les comportements « éco-citoyens » et gestes simples, tels qu'éteindre les appareils électriques en veille, sont prônés à travers des actions de communication. La consommation dite de veille représente jusqu'à 18% de la consommation d'électricité spécifique (hors chauffage et eau chaude sanitaire), soit près de 850 kWh par an et par foyer. La visualisation des consommations sur écran et la connaissance des consommations théoriques envisagées à la conception du bâtiment permettent aux particuliers de mieux adapter leur comportement.

II.3.3. Enjeu économique et industriel

Le vieillissement du parc des bâtiments français et son faible taux de renouvellement (1% par an) sont des obstacles à l'amélioration de l'efficacité énergétique. Celle-ci dépend en grande partie de la rénovation des 19 millions de logements construits dans le pays avant 1975. Ils représentent 58% des logements en France et consomment en moyenne 2 à 3 fois plus d'énergie que les logements récents**[19].**

L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments ouvre des perspectives industrielles importantes (notamment à des acteurs développant des technologies innovantes coûteuses comme Bouygues, Schneider Electric, etc.). Elle nécessite l'acquisition de nouvelles compétences par les acteurs de la construction du bâtiment. L'Union européenne estime que 1,4 million de travailleurs supplémentaires devront acquérir ces compétences d'ici à 2015**[20].**

II.3.4. Enjeu environnemental

En France, le secteur du bâtiment génère 25% des émissions nationales de gaz à effet de serre (GES). *Suite au* protocole de Kyoto*, l'Union européenne s'est engagée à réduire ses émissions de GES de* 8% entre 2008 et 2012 par rapport aux émissions de 1990.

L'accord conclu au niveau communautaire fixe des efforts de réduction différents selon les Etats et prévoit pour la France une obligation de stabilisation de ses émissions de GES sur la période 2008-2012. Une amélioration de l'efficacité énergétique peut contribuer à atteindre cet objectif. Les marchés du carbone forcent les industriels et les Etats à limiter leur empreinte environnementale.

II. 4 Les solutions pour augmenter l'efficacité énergétique:

Nous avons décidé de classer les solutions EE en trois groupes en fonction de la quantité d'énergie qu'elles consomment. Le premier groupe est appelé passif et comprend toutes les solutions EE qui ne nécessitent pas de consommation d'énergie pour fonctionner (par exemple, la conception, la ventilation naturelle, l'énergie solaire passive, le verre et l'isolation). Le deuxième groupe est appelé actif et comprend des solutions EE qui nécessitent de l'énergie, tandis que le troisième groupe est appelé comportement humain.

II.4.1. Les solutions d'efficacité énergétique passives

II.4.1.1 Compacité du bâtiment

Le choix de l'efficacité du bâtiment est un facteur crucial d'économie d'énergie et d'investissement. Une maison plus compacte consomme moins d'énergie pour un volume et une surface donnés. La déperdition de chaleur dépend de la surface des murs en contact avec le sol ou l'extérieur.

Bien sûr, l'hyper compacité n'est pas le but de la notion bioclimatique. Mais il est crucial de comprendre que toute diminution de capacité entraîne automatiquement une augmentation des coûts énergétiques et d'investissement..**[21]**

Un bâtiment qui a un petit rapport entre son espace de vie intérieur et ses murs extérieurs est dit compact. Sans remettre en cause la conception architecturale, il est plus rentable et bénéfique pour l'efficacité thermique de conserver des formes très compactes.

Tant que ces surfaces sont optimisées par rapport au volume habitable, les pertes sont encore réduites. La clé de la réussite d'un projet sur le plan énergétique est la réduction des décrochés de façade et l'optimisation de la capacité du bâtiment.**[22]**

Un effort supplémentaire sera nécessaire pour bien isoler tous les détachements et découpes d'un bâtiment « découplé » puisqu'ils seront des points critiques de distribution et des points faibles pour l'étanchéité à l'air. Le traitement de certains ponts thermiques peut être difficile ou impossible..**[23]**

II.4.1.2. L'orientation

Le soleil est souvent recherché l'hiver alors qu'on essaye de s'en protéger l'été ; la figure ci-contre (**figure II.1)** montrent la course du soleil au cours de l'année :

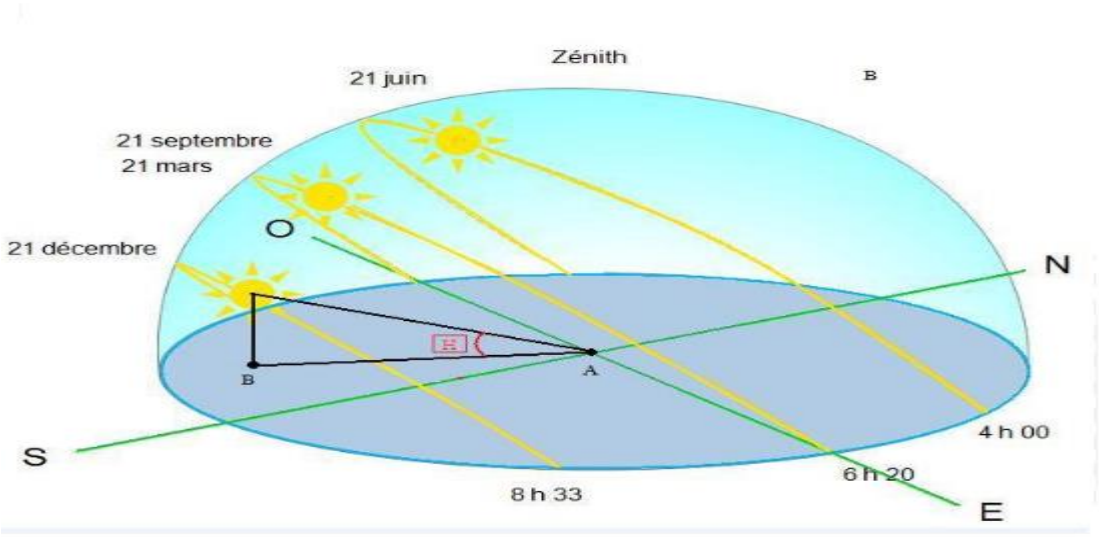


Figure II.1: Course du soleil [7]

En hiver, la course du soleil est limitée et seules les façades orientées au Sud apportent un complément solaire significatif par rapport aux besoins de chauffage.

En été, la course du soleil est beaucoup plus longue et plus haute. Les façades Est et Ouest font l'objet de surchauffe et devront être équipées de dispositifs de protection.

Dans la mesure du possible, il est préférable qu'une maison ait une orientation nord-sud (c'est-à-dire une maison avec une plus grande façade sud), car c'est l'orientation la plus passivement rentable et qui offre le meilleur équilibre entre les apports de chauffage et d'éclairage tout au long de l'année (hiver les apports solaires sont facilement gérés en été) ; les expositions plein est et plein ouest demandent en revanche une protection solaire d'été difficile à travailler. Eviter la mono-exposition au nord pour les bâtiments résidentiels en privilégiant les constructions avec accès traversant sur des façades en vis-à-vis ou bi-orientées.

Tenir compte de la direction du vent pour favoriser la ventilation naturelle nocturne en été, source de refroidissement.**[24]**

II.4.1.3 Répartition des pièces

En matière d'orientation et d'architecture le travail du concepteur doit consister à combiner au mieux apports du soleil d'hiver et protections du soleil en été et en mi saison :

- Les pièces occupées en permanence durant la journée devraient de préférence être orientées au sud.

- Les chambres seront plutôt situées au sud et à l'est, profitant du lever du soleil. Elles garderont ainsi leur fraîcheur en fin de journée.
- Veiller à limiter dans la cuisine les apports solaires sur les vitrages sud-ouest, souvent générateurs de surchauffe.
- Une serre ou véranda placée au sud permet, tout en apportant de la chaleur en hiver, de créer un espace intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur.
- Les espaces peu ou non chauffés (entrée, atelier, garage) seront plutôt disposés à l'ouest ou au nord. Si le vent est souvent violent, un sas d'entrée sera nécessaire pour éviter que l'air froid ne s'infiltre dans la maison. **[25]**
- Regrouper les pièces qui sont moins chauffées en général.
- Regrouper les points de puisage d'eau chaude sanitaire et les rapprocher de la production**.[26]**

II.4.1.4 Solaire passif

L'énergie solaire passive est un type d'énergie solaire dans laquelle aucune énergie externe n'est utilisée. L'objectif est de profiter les rayons du soleil et reduire la consommation d'énergie.

Dans la conception de bâtiments solaires passifs, les éléments constructifs sont conçus pour remplir deux fonctions:

1. Il s'agit de Collecter, stocker et distribuer l'énergie solaire sous forme de chaleur en hiver.
2. Ensuite rejeter la chaleur solaire en été.

Cette façon de concevoir est appelée conception solaire passive. Elle n'implique pas l'utilisation d'appareils mécaniques ou électriques. **[27]**

*** L'éclairage naturel**

L'importance de la lumière naturelle est essentielle car elle peut réduire considérablement la consommation d'énergie d'un bâtiment. Au cours de l'évolution, le système visuel humain s'est parfaitement adapté aux caractéristiques de la lumière naturelle du soleil.

Leur rendement lumineux est donc nettement supérieur à celui des principales sources lumineuses artificielles. A flux lumineux égal, la lumière naturelle apporte deux à trois fois moins de chaleur dans les locaux que la lumière artificielle. Ceci est particulièrement important lorsque l'éclairage artificiel (en raison de sa perte de chaleur) est l'une des principales charges de climatisation. **[28]**

- **L'éclairage par les fenêtres :** Il assure le contact visuel nécessaire avec l'extérieur et réduit les risques d'infiltration d'eau en cas de pluie. Cependant, il a ses inconvénients. L'éclairage de la surface de travail est inégal et peut être trop lumineux près d'une fenêtre. L'apport important de lumière des vitrages verticaux est limité à une distance égale à deux fois la hauteur du haut de la fenêtre, soit environ 3-4 mètres.

- **L'éclairage par le plafond :** (également appelé éclairage zénithal) est beaucoup plus efficace que l'éclairage des fenêtres, même lorsque le ciel est nuageux. La lumière provient de la partie centrale la plus brillante du ciel. L'éclairage est uniforme tout au long de la journée, fournissant une lumière diffuse sans ombres. L'éclairage au plafond convient très bien aux pièces profondes et aux plans de travail afin de ne pas avoir recours trop tôt à l'éclairage artificiel. Cependant, il a ses inconvénients.Le risque d'infiltration d'eau et de poussière est plus important qu'avec les fenêtres. Des ouvertures mal isolées dans les plafonds peuvent entraîner des pertes de chaleur importantes en hiver .**[29]**

L'Algérie dispose d'un potentiel inestimable et d'opportunités exceptionnelles.

- En raison du rayonnement solaire excessif, un bon éclairage est disponible toute l'année dans la plupart des régions du pays (environ 3300 heures/an).
- Patrimoine du patrimoine urbain et architectural indigène attestant de l'existence d'un répertoire de référence très riche de stratégies spatiales liées à la lumière naturelle .**[30]**

La lumière naturelle est écologique, gratuite et parfaitement adaptée à notre confort visuel. Le capter efficacement, c'est trouver de vrais sédiments.

II.4.1.5.Surfaces vitrées

Dans le passé, la taille des fenêtres était limitée pour éviter des pertes excessives en hiver. Aujourd'hui cet aspect est fortement atténué par des fenêtres solides avec des volets roulants performants.

Propriétés requises pour les fenêtres :

- éclairage et occultation,
- vue extérieure (ouverture de vue),
- l'exposition au soleil et la protection solaire (apport solaire),
- étanchéité et ventilation**, [31]**

Le composant le plus utilisé de l'énergie solaire passive est la fenêtre. C'est l'élément captcha le plus courant. Les fenêtres fournissent à la fois de la chaleur et de la lumière et peuvent stocker la chaleur directement et très facilement.

Au cours de l'année, la plupart des fenêtres perdent plus d'énergie qu'elles n'en gagnent. Les fenêtres thermiquement efficaces peuvent en fait fournir une énergie utile. En termes d'énergie utile annuelle, il surpasse même les meilleurs murs isothermes isolants. **[32]**

L'orientation, le placement et les performances des fenêtres sont importants lors de la conception d'un bâtiment solaire passif. Pendant la période de chauffage, les fenêtres orientées au sud gagnent plus d'énergie solaire qu'elles ne perdent de chaleur. Vous pouvez également limiter l'éclairage artificiel en plaçant habilement les baies vitrées. **[33]**

Il existe deux façons de déterminer les surfaces vitrées orientées au sud. Il peut être calculé en

pourcentage de la surface totale du mur extérieur, mais ce n'est pas très utile car il n'affecte pas ce qui se passe derrière le mur. volume du bâtiment.**[34]**

A. Orientation des surfaces vitrées

La date et l'heure de l'énergie maximale reçue dépendent de la latitude et de l'orientation du mur. La terre tourne de 15° toutes les heures. Si les fenêtres sont orientées à 30° sud-est, l'augmentation maximale de chaleur est atteinte 2 heures avant le midi solaire. Les façades est et ouest sont maximales en été et la façade sud en fin d'automne et en hiver.

Les fenêtres orientées au nord fournissent un éclairage indirect constant avec un gain de chaleur minimal, mais peuvent également causer des pertes de chaleur et de l'inconfort pendant les mois les plus froids. Limiter le gain de chaleur peut être un problème pendant la saison de chauffage. Vous pouvez facilement ombrager ces fenêtres en les recouvrant d'un dispositif horizontal adapté.

Les fenêtres orientées à l'est et à l'ouest provoquent un éblouissement et une chaleur accrus et sont difficiles à ombrager car le soleil est plus proche de l'horizon.

B. Typologie des surfaces vitrées

La typologie des fenetres est aussi importante , étant donné que les fenêtres ne transmettent pas 100 % du rayonnement solaire qu'elles reçoivent, il est facile de comprendre que plus une fenêtre comporte de couches de verre, plus elle bloquera le rayonnement. En pratique, cette observation peut vous aider à choisir une fenêtre appropriée.

• **Le vitrage simple** : a l'efficacité thermique la plus faible, mais laisse passer la quasi-totalité de la chaleur du soleil.

• **Le double vitrage :** est moins efficace thermiquement que le triple vitrage, mais laisse passer plus d'énergie solaire.

• **Le triple vitrage :** offre une meilleure isolation que le double vitrage, mais ralentit les calories du soleil qui n'atteignent pas votre maison.

La performance d'une fenêtre dépend de plusieurs critères, tels que le type de matériau, la conception, l'étanchéité à l'air et l'isolation thermique. Les critères suivants doivent être pris en compte lors de la détermination du type de fenêtre **[35],[36]**

II.4.1.6Protection solaire :

De nombreux types de protections solaires existent : permanentes ou fixes (vitrages spéciaux, films autocollants, auvents, avancées architecturales), mobiles (stores extérieurs, volets). Le choix d'une protection solaire doit se faire en fonction de l'orientation de la fenêtre. Si possible, elle maintiendra la possibilité de bénéficier d'une lumière naturelle suffisante.**[37]**

A. Les protections mobiles :

Stores extérieurs, claustras, panneaux coulissants, etc. Elles sont utilisées en fonction des besoins, et permettent une protection efficace en été tout en bénéficiant des apports solaires en

hiver.

- **Les protections solaires placées à l'intérieur du bâtiment :**

Sont peu efficaces, elles laissent en effet pénétrer le soleil dans la pièce avant de transformer le rayonnement en chaleur. Par contre, elles permettent d'éviter le rayonnement direct sur une personne. Si elles n'influencent pas la température, elles n'en ont pas moins un impact sur le confort ressenti.

Une fenêtre économe en énergie ressemble à ceci :

- Augmenter le confort. De telles fenêtres aident à réduire les courants d'air froid et à augmenter la chaleur intérieure pendant la saison de chauffage.
- Limiter la condensation. Les fenêtres éco énergétiques gardent la surface intérieure chaude. Cela signifie que l'humidité relative à l'intérieur peut être élevée sans que de la condensation ne se forme sur la fenêtre (notez que même les fenêtres éco énergétiques n'empêcheront pas la condensation si le taux d'humidité est trop élevé).). à l'intérieur de votre maison).
- Economiser de l'argent Installez des fenêtres coupe-vent pour réduire les fuites d'air et améliorer les performances d'isolation des fenêtres.
- Longue durée. La condensation provoque une détérioration prématurée des fenêtres, des murs et des surfaces, nécessitant un entretien et un remplacement coûteux.
- Réduire la consommation d'énergie et l'impact environnemental.

B. Les protections permanentes :

Côté sud, la longueur du store permanent doit être comprise entre 1 et 1,5 fois la hauteur de la fenêtre. Au Sud, ces éléments restent de taille raisonnable. À l'est et à l'ouest, ceux-ci deviennent déséquilibrés, pour étouffer le soleil bas.

Les mesures de protection permanentes ne peuvent pas atténuer complètement le rayonnement diffus qui, certaines saisons, représente la majorité du rayonnement global.

Il existe deux types de protection persistante à prendre en compte :

- Auvents, avancées architecturales, etc. : Il offre différents niveaux de protection selon la position du soleil. Donc, pour les dimensionner efficacement, vous devez le faire correctement. Par exemple, pour qu'un store protège entièrement une fenêtre orientée au sud, sa profondeur doit être au moins égale à la moitié de la hauteur de la fenêtre lorsque le soleil est au zénith au solstice d'été. **[38]**

- Vitrages solaires ou films autocollants sur les vitrages : Limitez le rayonnement solaire en hiver et en été, en réduisant la lumière naturelle à l'intérieur.

- Certains vitrages, dits sélectifs, compromettent en filtrant le soleil tout en maintenant une transmission lumineuse proche de celle d'un vitrage "normal".**[39]**

C. Protection végétal :

Le principe du toit vert (aussi :Le toit vert ou toit vert) existe depuis la préhistoire. Il s'agit de recouvrir un toit plat ou en pente douce d'un substrat végétal (jusqu'à 35°, rarement plus, on parle de murs végétalisés).

Des plantations grandes, semi-grandes ou intensives peuvent être réalisées, selon l'épaisseur du substrat et le degré d'irrigation requis.

Les toits verts présentent de nombreux avantages tels que l'esthétique, la durabilité, la biodiversité urbaine et la protection de l'environnement.

D. Protection végétale des murs :

Un mur végétalisé est un mur qui s'élève parallèlement au mur du bâtiment qu'il protège. Selon l'orientation et la configuration, les murs verts agissent comme des écrans d'intimité contre les vents dominants, les intempéries, le bruit, le rayonnement solaire et la pollution. Peut affecter le microclimat et la qualité de l'air.**[40]**

La végétation offre une protection précieuse contre la chaleur du soleil d'été, fournit de l'ombre saisonnière et limite le rayonnement solaire indirect.

Cependant, cet ombrage doit être adapté dans chaque direction pour assurer une protection optimale en été sans réduire l'apport de chaleur en hiver.

Dans la plupart des cas, la litière de feuilles est préférée, mais en hiver, sans litière de feuilles, le rayonnement atteindra votre maison.

La sélection des espèces végétales est très importante. En effet, en plus des conditions foliaires, la couverture d'ombre, le temps de chute des feuilles et les facteurs d'arbres de plantes nues sont également déterminés. **[41]**

Mentionnons également les brise-soleil végétaux intégrés aux façades et toitures. **[42]**

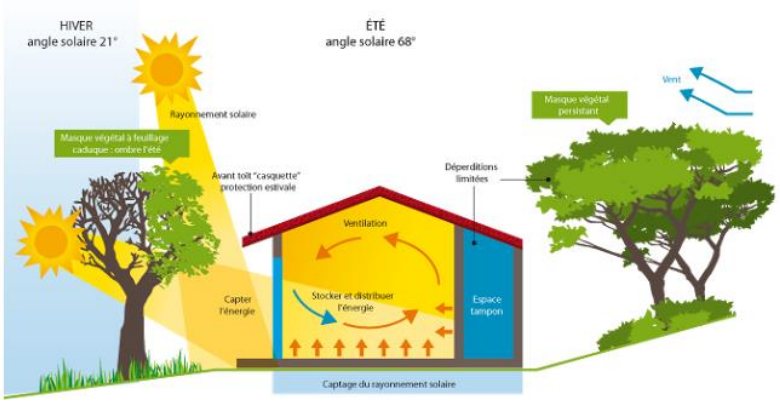


Figure II.2 : Les principes de base d'une conception bioclimatique [8]

II.4.1.7. Isolation

L'isolation thermique d'une habitation consiste à réduire les pertes de chaleur de celle-ci. Ainsi, les besoins énergétiques du foyer diminuent, entraînant une réduction des factures d'énergie et de la pollution due au chauffage.

A. Critères de sélection d'un isolant

Il faut choisir un matériau ou un système d'isolation avec le $Uparoi$ le plus bas possible (la conductivité thermique de l'isolant $W/m.K$ doit donc être la plus faible possible).

Concevoir un système de raccordement mural constructif qui minimise les ponts thermiques structuraux. Choisissez un isolant avec la plus faible perméabilité possible.**[43]**

Solution de contournement: Une solution classique pour l'isolation externe ou interne. On sait que les ponts thermiques peuvent être à l'origine de la majorité des pertes lors d'une isolation par l'intérieur, cette solution est donc plutôt réservée au rétro fit.

A.1.Système d'isolation rapportée par l'intérieur

L'isolation appliquée de l'intérieur facilite le traitement de l'isolation des combles et du toit, ainsi que des transitions telles que la menuiserie, les portes et les balcons.

Pour respecter les conditions de confort d'été, il est important de traiter les murs intérieurs lourds, car la masse des murs n'entre pas en contact avec le volume intérieur.

C'est une technique clé qui peut provoquer des ponts thermiques importants au niveau des mezzanines et des cloisons lorsqu'elles sont en maçonnerie. Dans la maison individuelle, le poids de ces ponts thermiques est assez limité, en partie grâce à des solutions de traitement simples.

En revanche, le nombre de niveaux augmentant, le traitement des ponts thermiques des planchers intermédiaires nécessite l'utilisation de ruptures thermiques ou de solutions plus complexes pour les ouvrages intégrant des traitements thermiques.

A.2. Système d'isolation rapportée par l'extérieur

L'isolation par l'extérieur élimine les ponts thermiques entre planchers intermédiaires et cloisons. Vous pouvez également profiter de l'inertie du mur pour restituer l'ensoleillement hivernal et réduire les inconforts estivaux. **[44]**

La fixation de l'isolant par l'extérieur optimise principalement :

- Performance thermique globale du bâtiment.
- Coût total de fonctionnement.
- Entretien . **[45]**

En revanche, ce type d'isolation (sous enduit, bardage, bardage, etc.) nécessite une exécution particulière pour assurer un traitement thermique des raccordements aux planchers bas, appuis de fenêtres, portes, loggias, balcons, etc. Nécessite des précautions. Toit plat ou parapet de grenier. Le groupement de murs en coque a décrit une solution pour isoler de l'extérieur et gérer les singularités . **[46]**

A.3. Les types d'isolants

Plusieurs familles d'isolants existent sur le marché. La classification peut être faite par le type d'isolation.

- **Isolation des poches d'air :** Ces isolants emprisonnent l'air dans les minuscules vides entre les fibres. L'air calme est un excellent isolant avec une très faible conductivité thermique. Donc tout isolant à base de fibres :
  - Minéraux (laine de verre, laine de roche, etc.)
  - Animaux (laine, plumes de canard, etc.)
  - Végétaux (fibres de bois, ouate de cellulose, chanvre, lin...)
- **Isolation par gaz piégé :** Le principe est le même que pour l'air calme, mais dans ces isolations l'air est remplacé par un gaz avec une conductivité thermique plus faible que l'air. C'est le cas, par exemple, de la mousse de polyuréthane, du polystyrène expansé et du polystyrène extrudé. .
- **Isolation par le vide :** Le vide est le meilleur isolant possible. Parce qu'il n'y a pas de perte de chaleur due à la conduction et à la convection. ne peut être transmis que par rayonnement . **[47]**
- **Isolants minces réfléchissants :** Produit très imperméable à la vapeur d'eau provenant de l'intérieur d'une habitation et pouvant provoquer une forte condensation pouvant pourrir le bois et corroder le métal.**[48]**

A.4. Les éléments d'isolation

- **Isolation des ponts thermique :** Les principaux ponts thermiques à traiter:

- Connexion au toit.
- Raccordement à la menuiserie.
- Transition avec mezzanine et sous-sol.
- bar.

Ces ponts thermiques doivent être limités par conception pour créer une "limite" isolante autour du bâtiment. **[.49]**

- **Isolation de la toiture :** Une épaisseur d'isolant importante doit être définie pour réduire significativement les déperditions thermiques en hiver et améliorer le confort thermique en été.
- **Isolation des combles perdue :** Atteindre les valeurs d'isolation requises à des épaisseurs élevées n'est pas particulièrement problématique.
- **Isolation par rampant dessous :** Le confort d'été peut être un problème car le toit reçoit

beaucoup de soleil. Des précautions doivent être prises, comme inclure des fenêtres.

- **Terrasse sur le toit :** Une résistance thermique considérable doit également être atteinte. Pour l'isolation par l'extérieur, l'acrotère doit être prévue dès la conception et sa configuration permet l'isolation des abords . **[50]**
- **Planchers bas :** L'isolation est réalisée sous la plaque flottante ou la plaque de terre (isolation complémentaire ou isolation sous poutre ou radier intermédiaire isolant) ou les deux. Si l'ossature a un plancher bas (plancher surélevé), l'isolant peut être placé dans l'épaisseur de l'ossature et une isolation encore plus épaisse peut être choisie**. [51]**

II.4.1.8. Étanchéité à l'air

Par définition, il s'agit d'un ensemble de dispositions qu'il faut entreprendre pour rendre une bâtisse parfaitement imperméable au vent. Autrement dit, cela rapporte tous les travaux mis en œuvre pour envelopper l'édifice correspondant contre les fuites ou infiltrations possibles d'air. En effet, ces phénomènes créent généralement des ponts thermiques qui génèrent souvent des déperditions calorifiques. Ce caractère est donc essentiel pour l'isolation et le confort thermique d'un logement.

Outre la défaillance de performances énergétiques, une mauvaise étanchéité à l'air d'une maison peut aussi être source d'autres problèmes importants. Cela peut causer une surconsommation en matière de chauffage ou de ventilation. Par ailleurs, les fuites d'air sont néfastes pour la structure d'un immeuble. Ces échappées peuvent, en effet, entrainer de sérieux soucis d'humidité, de présence de moisissures ou encore de dégradation d'enduits par exemple. **[52]**

Les bâtiments avec une mauvaise étanchéité à l'air peuvent avoir des besoins de chauffage $kWhep/m2.an$ plus élevés que les réalisations de haute qualité. Dans les climats froids et venteux,

l'impact énergétique d'une mauvaise étanchéité à l'air est particulièrement élevé La qualité de l'étanchéité est d'autant plus importante si le bâtiment est peu compact.

Les imperfections d'étanchéité entraînent une intrusion d'air parasite, affectant les pertes, le confort, la santé, l'acoustique et l'efficacité des systèmes de ventilation.

Ces préoccupations doivent être traitées lors de la phase de conception, notamment en limitant le nombre de pénétrations de l'enveloppe pour obtenir une bonne étanchéité à l'air. Plusieurs caractéristiques des opérations de construction étanche à l'air peuvent avoir des conséquences très néfastes.

Ces bâtiments ne "bénéficient" pas des prises d'air parasites qui assuraient autrefois la majorité du renouvellement de l'air sanitaire. Par conséquent, l'équipement de ventilation installé doit fonctionner correctement et en continu, quelles que soient les conditions météorologiques extérieures. Par conséquent, une ventilation mécanique est généralement nécessaire, ce qui entraîne une consommation électrique supplémentaire, mais il convient de s'assurer qu'elle fonctionne correctement, que les filtres sont nettoyés fréquemment et que les débits sont suffisants et équilibrés. **[53]**

II.4.1.9. Ventilation

Une meilleure isolation, une meilleure étanchéité à l'air, la prévalence des appareils de chauffage et l'utilisation de vitrages résistants sans ventilation adéquate aggravent considérablement les problèmes de condensation et de moisissure dans les maisons.

Le renouvellement de l'air a également la capacité d'éliminer la vapeur d'eau, empêchant la condensation et la détérioration. Cela permettra finalement un fonctionnement normal et sûr de l'incinérateur.

Par conséquent, la ventilation de l'appartement est absolument nécessaire pour maintenir un climat intérieur confortable. Cependant, pendant les mois froids d'hiver, le chauffage de l'air froid entrant dans votre maison représente une très grande partie de vos besoins en chauffage.

Plusieurs caractéristiques des opérations de construction étanche à l'air peuvent avoir des conséquences très néfastes.

Ces bâtiments ne "bénéficient" pas des prises d'air parasites qui assuraient autrefois la majorité du renouvellement de l'air sanitaire. Par conséquent, le ventilateur installé doit assurer un fonctionnement continu parfait quelles que soient les conditions météorologiques extérieures. Par conséquent, une ventilation mécanique est généralement nécessaire, ce qui entraîne une consommation électrique supplémentaire, mais il convient de s'assurer qu'elle fonctionne correctement, que les filtres sont nettoyés fréquemment et que les débits sont suffisants et équilibrés. **[54]**

II.4.2. Les solutions d'efficacité énergétique actives

Efficacité énergétique « active » (EEA). Basé sur une gamme de produits performants et de systèmes intelligents de contrôle, d'automatisation et de mesure.

L'efficacité énergétique active permet :

- ✓ Réduire les factures de services publics.
- ✓ Réduire la consommation d'énergie.
- ✓ Améliorer la qualité et la disponibilité de l'énergie en ne consommant que l'énergie dont vous avez besoin.

Si ces solutions peuvent être mises en place rapidement et ont un retour sur investissement particulièrement court, les solutions liées au bâtiment dites « passives » s'inscrivent dans une stratégie de long terme, des investissements qui impactent les grossistes.

L'EEE exige une approche « sur mesure » qui tient compte des besoins et des objectifs spécifiques

de chaque client. Disponible dans une large gamme de solutions, des produits à haute performance (moteurs à haut rendement, lampes à faible consommation, etc.) aux contrats globaux de performance durable.

L'AEE peut être mise en œuvre dans le cadre du concept global ou lorsqu'elle est appliquée. Les mesures suivantes, optimisées individuellement ou en combinaison, entraînent d'importantes économies d'énergie :

- ➢ Mesure de la consommation.
- ➢ Contrôle CVC.
- ➢ Gestion de la protection solaire.
- ➢ Production d'énergie renouvelable.
- ➢ Installation d'équipements performants.
- ➢ Domotique.**[55]**

II.4.2.1. La mesure des consommations

Correspond à la quantité d'énergie utilisée tout au long de l'année pour son fonctionnement : chauffage, eau chaude, équipements électriques, cheminées, etc.

A. La mesure électrique

Il existe dans chaque installation sous la forme d'un compteur tarifaire, qui crée une facture de consommation d'électricité. Il s'agit du premier indicateur et fournit l'énergie totale consommée.

En surveillant ce compteur, vous pourrez vous faire une idée de vos niveaux de consommation et éventuellement de votre profil de charge global.

Les mesures doivent être étendues à d'autres paramètres électriques pour appliquer la planification

de la performance énergétique.

B. La mesure du gaz naturel

Tenir compte des fluctuations de pression et de température. Le plus souvent, les comparateurs à cadran sont utilisés pour mesurer localement la consommation de gaz naturel. Ces compteurs sont équipés d'un lecteur d'impulsions, mais cette option est rarement utilisée principalement pour des raisons de coût supposé . **[56]**

II.4.2.2. Systèmes de régulation et d'automatisme :

Pour les systèmes de chauffage, de ventilation ou d'éclairage dont la consommation peut être ajustée aux conditions extérieures et à la présence de personnes. De plus, ces systèmes tiennent les résidents informés de leur consommation.

Pour mettre en place une démarche proactive d'efficacité énergétique, il est essentiel d'avoir un élément de référence à travers une analyse détaillée de la situation de référence et des métriques utiles

utilisées tout au long de cette démarche.

Tout d'abord, la régulation permet de maintenir la température de consigne. C'est le point de consommation de base des centrales de chauffage.

En effet, la déperdition énergétique d'un bâtiment dépend des propriétés thermiques du bâtiment lui-même et augmente avec la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (pour un changement de 19 à 20°C l'augmentation est d'environ 7,5°C). **[57]**

L'automatisation et la régulation sont nécessaires à la performance de toute installation.

Ces systèmes vous permettent de :

- Consommez ce que vous voulez, quand vous le voulez, où vous le voulez.
- Améliorer et changer le comportement humain pour briser les mauvaises habitudes.

Les retours indiquent une réduction de 10 à 20 % de la consommation d'énergie dans de nombreuses applications.

- **Quelques exemples de solution :**

Systèmes électriques puissants, automates, systèmes de contrôle (BMS, GTC, GTE, BMS), automatismes, détection de présence, etc.

II.4.2.3.Gestion de la protection solaire

Un système de protection solaire, de préférence variable, motorisé ou automatique, dynamise le rayonnement solaire à travers le vitrage et ajuste le climat intérieur en fonction du climat extérieur.

Un système d'ombrage variable et automatisé rend le rayonnement solaire à travers les fenêtres dynamique et adaptable.

- Le système d'ombrage protège contre la surchauffe lors des journées chaudes. Jusqu'à 90% du rayonnement thermique peut être arrêté à l'extérieur de la vitre, évitant ou réduisant ainsi la consommation inutile d'énergie de climatisation.
- Si le bâtiment est ventilé naturellement, les lamelles ouvertes de protection solaire aident à une ventilation et un refroidissement optimaux la nuit.
- L'énergie solaire peut être utilisée comme appoint pour le chauffage par temps froid.
- Réduit les pertes de chaleur vers l'extérieur la nuit . **[58]**

II.4.2.4. Production d'énergie solaire

A. Energies solaires thermiques

Les chauffe-eau solaires varient en complexité, en efficacité et en coût. Pour les chaudières qui chauffent à la fois de l'eau de chauffage et de l'eau chaude sanitaire, des panneaux solaires permettent d'éteindre la chaudière en été et de produire de l'eau chaude uniquement par l'énergie solaire.

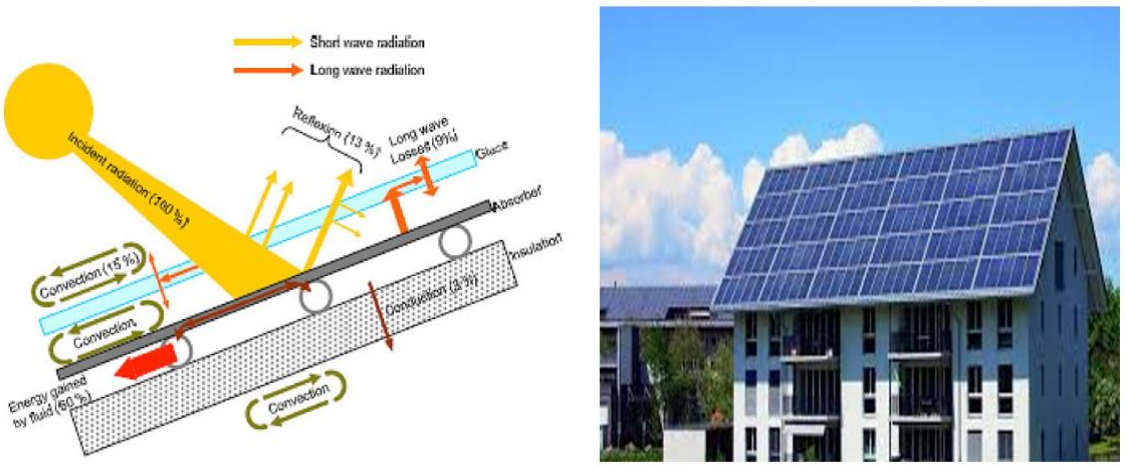


Figure II.3 : Panneau solaire thermique [9]

B. Energies solaires photovoltaïques

L'effet photovoltaïque convertit l'énergie solaire directement en électricité. Lorsque la lumière du soleil frappe une cellule solaire, les électrons du matériau semi-conducteur sortent des orbitales atomiques et se déplacent dans une direction.

Ce phénomène produit un courant continu utilisable immédiatement, converti en courant alternatif ou stocké dans un accumulateur. Dès que la lumière du soleil atteint la surface, les cellules produisent de l'électricité.

Un système photovoltaïque peut être utilisé comme seule source d'énergie pour un bâtiment ou en combinaison avec d'autres sources d'énergie telles que des générateurs et des connexions au réseau . **[59]**

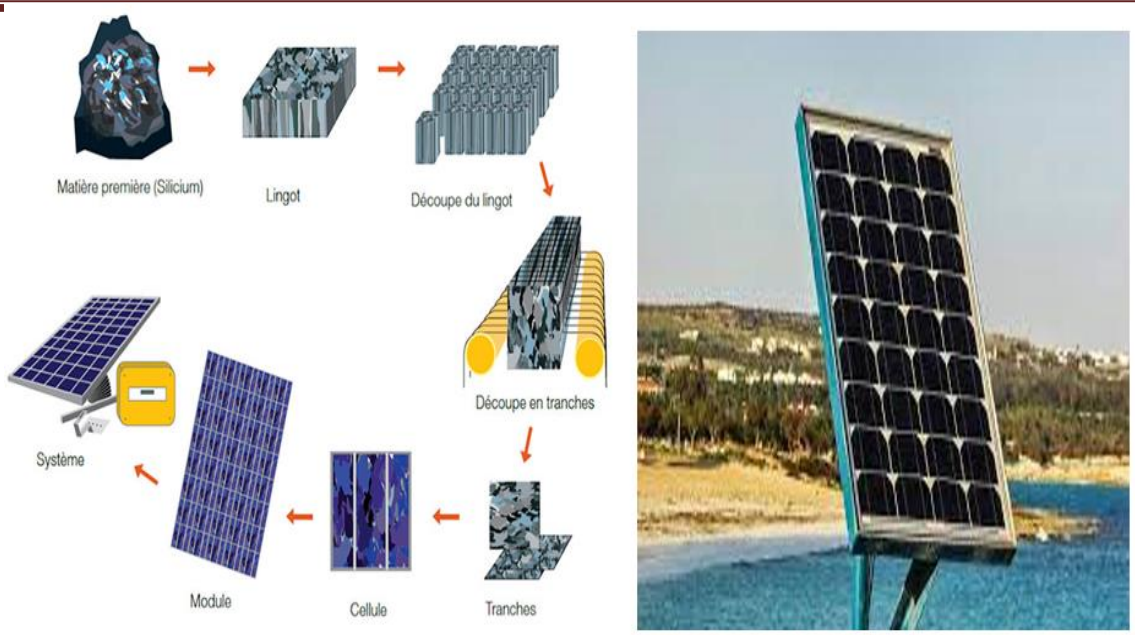


Figure II.4 : Panneau photovoltaïque [10]

II.4.2.5.Systèmes et équipements performants :

A. Système de ventilation double-flux : [60]

La VMC double flux est un système de ventilation performant. En plus de permettre le renouvellement d'air du logement, elle limite les déperditions de chaleur.

En effet, le fonctionnement d'une VMC double flux est particulièrement ingénieux : lorsqu'elle extrait l'air vicié du foyer, elle en récupère les calories pour préchauffer l'air entrant. Notez qu'en inversant son système, la VMC double flux permet également de rafraîchir le logement en été.

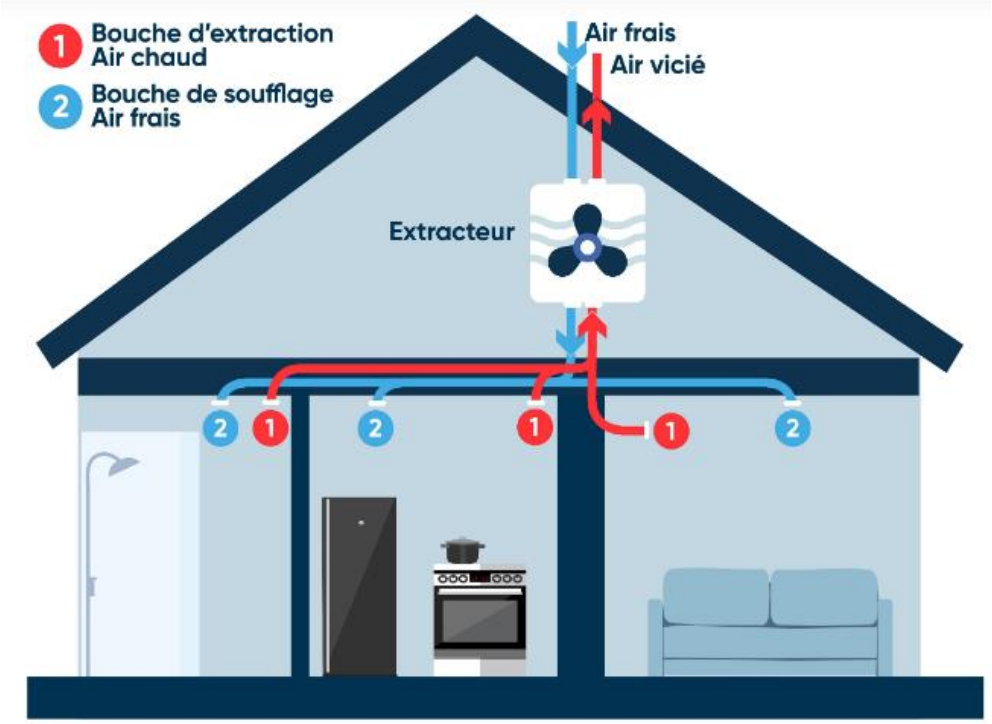


Figure II.5 : Principe de ventilation double-flux. [11]

- **Exemples :**

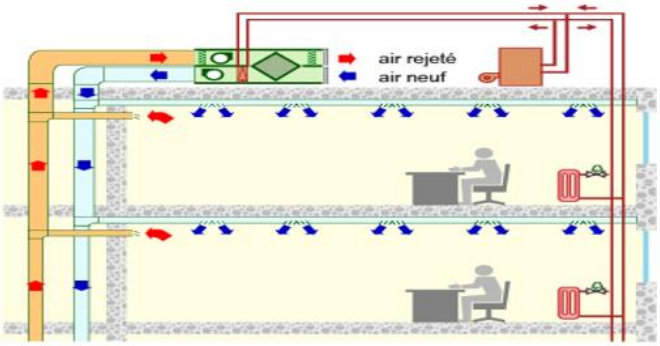


Figure II.6 : Pulsion et extraction dans chaque local.[12]

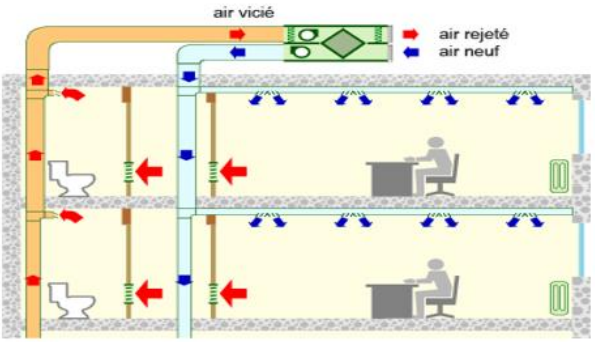


Figure II.7 : Pulsion dans le local extraction sanitaire[13]

B. Pompes à chaleur (PAC) : [61]

Une pompe à chaleur - *PAC air eau* - est un équipement thermique qui transfère la chaleur d'un endroit vers un autre grâce à un fluide frigorigène. La source de cette énergie est totalement naturelle, inépuisable et gratuite. Plus la température extérieure est élevée, plus l'air extérieur est chargé en calories.

Le principe de fonctionnement est simple. La pompe à chaleur air eau puise les calories présentes dans l'air pour les redistribuer sous forme de chaleur dans le circuit

de chauffage central (radiateur basse température, plancher chauffant ou autre émetteur). Elle est capable de satisfaire les besoins en terme de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

Le fonctionnement de cette machine est garanti par quatre composants essentiels disposés dans un module intérieur et une unité extérieur :

- **Evaporateur :** son rôle est d'aspirer l'air et d'extraire les calories d'énergie à l'aide du fluide frigorigène.
- **Compresseur :** l'air est encore une fois réchauffé par le compresseur qui élève la température recueillie.
- **Condenseur :** le gaz chaud à pression élevée est traité par le condenseur afin de passer d'état gazeux à l'état liquide. Détendeur : il permet de faire passer le fluide de la haute à la basse pression.

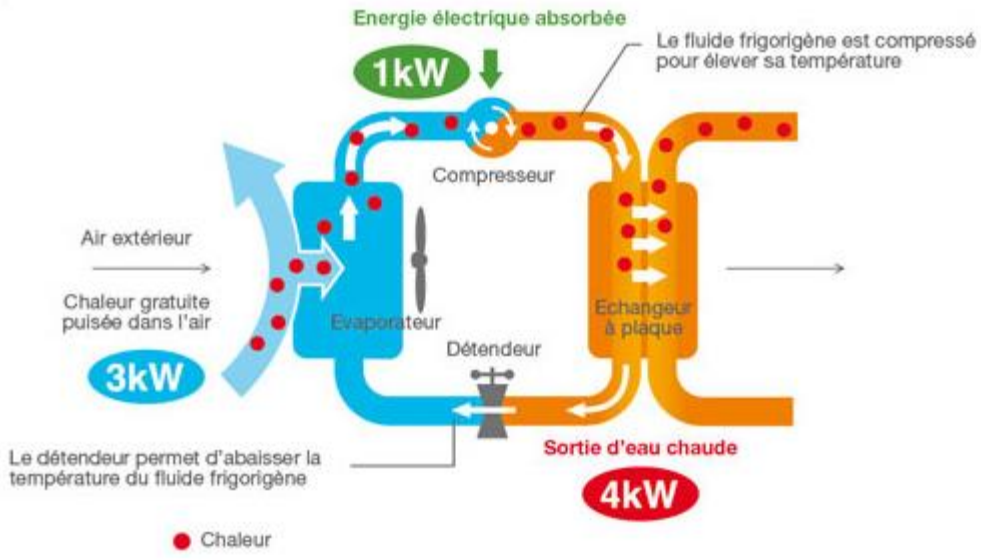


Figure II.8 : Pompe à chaleur air eau [14]

C. Chaudière gaz à condensation

Dans les chaudières à condensation, la chaleur résiduelle contenue dans les gaz d'échappement est récupérée sous forme de vapeur d'eau par voie de condensation.

Leur rendement peut dépasser les 109 % (sur PCI, pour 40/30° C et 30 % de charge).

La température du retour est un facteur clé pour la bonne récupération de la chaleur latente de la vapeur contenue dans les gaz de combustion. D'où l'importance du choix d'un régime de température compatible avec le choix de la condensation.

Il existe des méthodes astucieuses pour récupérer très efficacement la condensation :

- ✓ Préchauffage de l'ECS.
- ✓ Régime de chauffage basse température (60-45 ou 50-40).
- ✓ Retour dit « froid » et retour dit « chaud », les retours les plus froids permettant de récupérer la condensation**.[62]**

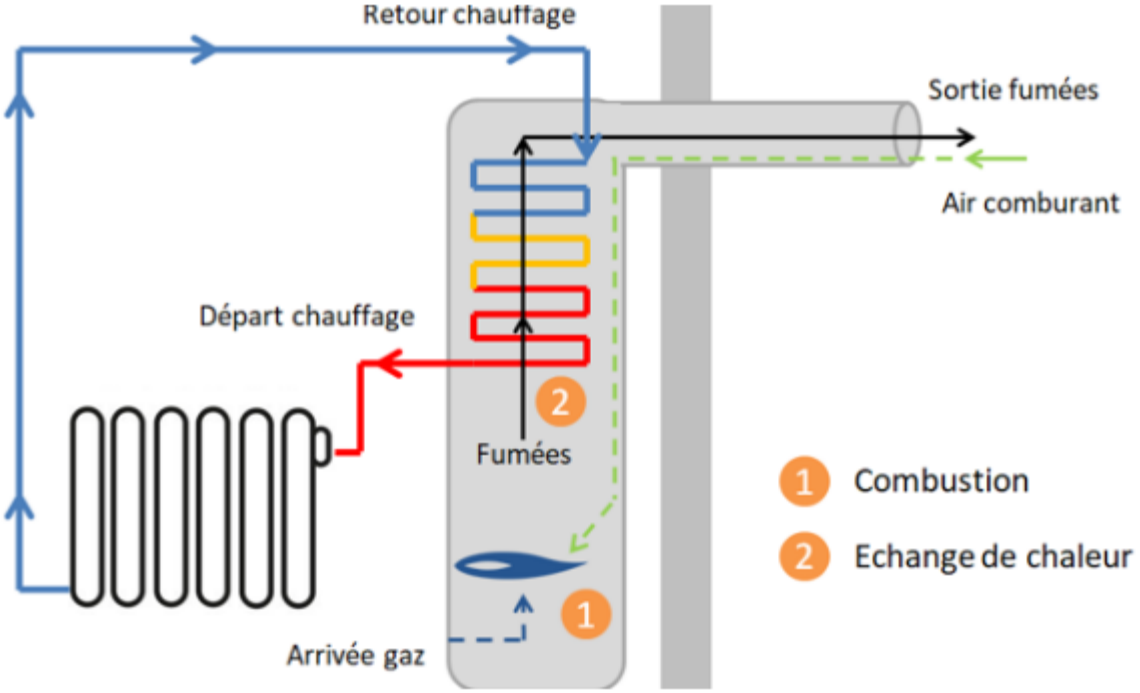


Figure II.9 : Fonctionnement de chaudière gaz à condensation [15]

II.4.2.6. La domotique

Nous pouvons trouvé les opportunités d'économies et d'optimisation qui comptent le plus. En recourant à des systèmes de programmation pour harmoniser les fluctuations de température, améliorer les réglages du système de contrôle, etc. Ces petites améliorations rapportent déjà gros.

- ➢ Lecture automatique des compteurs.
- ➢ Suivi des consommations d'énergie avec des compteurs (gaz, électricité, eau, etc.).
- ➢ Possibilité d'intégrer différents niveaux dans les structures de compteurs (groupes de bâtiments, parcelles, bâtiments, etc.).
- ➢ Calcul des impacts environnementaux.
- ➢ Les pièces avec de mauvaises odeurs et des exigences d'hygiène sont généralement maintenues sous pression négative pour empêcher l'échappement de l'air usé.
- ➢ L'impulsion est distribuée à travers un réseau de tuyaux verticaux et horizontaux dans le faux plafond. Les conduits d'extraction verticaux sont similaires aux conduits du système "simple flux" et peuvent être placés parallèlement aux conduits d'air soufflé verticaux.

- Les entrées d'air peuvent être de type mur (comme la pente d'un faux plafond) ou de type plafond si la pièce est équipée d'un faux plafond. Chaque évent, généralement à plénum de détente, est relié à un circuit de soufflage par un conduit surmonté d'une vanne papillon pour réguler le débit. Certains ajouts peuvent apparaître.
- Récupération de chaleur en échangeant l'air vicié avec l'air extérieur
- Gestion de la température et de l'humidité pour assurer un confort optimal.
- Recirculation partielle de l'air lorsque l'air de ventilation est également utilisé pour le chauffage, le refroidissement et le chauffage. [**63**]

II. 5 Conclusion

L'efficacité énergétique des actions mises en évidence ci-dessus est bénéfique à la fois pour les consommateurs en réduisant ces coûts énergétiques et pour l'environnement car la maîtrise de l'énergie réduit la pression sur la pollution de l'environnement.

Sans oublier l'impact socio-économique, nous avons précisé que les économies d'énergie entraînent une augmentation significative des ressources financières.

Nous avons pris soin de ne pas mentionner toutes les mesures, car elles n'entrent pas dans le cadre de ce travail, mais en revanche les techniques dites d'efficacité énergétique passive, qui s'imposaient par la volonté de privilégier les solutions, ont été principalement ciblées. Ceci sera simulé à l'étape suivante pour analyser l'impact sur la demande énergétique du bâtiment.

Chapitre III: Bâtiment à énergie positive

III. 1 Introduction

Un bâtiment passif, également connu sous le nom de "maison passive" ou "bâtiment à consommation énergétique faible", est un type de construction conçu pour minimiser sa consommation d'énergie, en particulier pour le chauffage et le refroidissement. L'objectif principal d'un bâtiment passif est de créer un environnement intérieur confortable et sain tout en réduisant au maximum les besoins en énergie.Voici quelques caractéristiques clés d'un bâtiment passif :

Isolation thermique élevée : Un bâtiment passif est fortement isolé, avec une isolation continue et bien positionnée dans les murs, le toit, le sol et les fenêtres. Cela réduit les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été, maintenant ainsi une température intérieure confortable.

Étanchéité à l'air : Une attention particulière est accordée à l'étanchéité à l'air du bâtiment pour éviter les fuites d'air indésirables. Cela contribue à maintenir l'efficacité énergétique en réduisant les pertes de chaleur.

Ventilation contrôlée avec récupération de chaleur : Un système de ventilation mécanique contrôlée avec récupération de chaleur (VMC double flux) est souvent utilisé dans les bâtiments passifs. Il permet d'assurer un renouvèlement d'air constant tout en récupérant la chaleur de l'air sortant pour préchauffer l'air entrant, ce qui réduit les besoins en chauffage.

Fenêtres à haut rendement énergétique : Les fenêtres des bâtiments passifs sont équipées de vitrage à haut rendement énergétique et d'un châssis bien isolé pour minimiser les pertes de chaleur.
Absence de ponts thermiques : Les ponts thermiques, qui sont des zones de faible isolation thermique dans la structure du bâtiment, sont évités autant que possible dans les bâtiments passifs. Cela permet de maintenir une température uniforme dans tout le bâtiment.

Utilisation de sources internes de chaleur : Les occupants et les équipements à l'intérieur du bâtiment peuvent contribuer à la production de chaleur. Les bâtiments passifs exploitent cette chaleur interne pour réduire davantage les besoins en chauffage.

En combinant ces caractéristiques, un bâtiment passif peut réduire la consommation d'énergie pour le chauffage et le refroidissement jusqu'à 90 % par rapport à un bâtiment conventionnel. Cependant, il est important de noter que le concept de bâtiment passif se concentre principalement sur l'efficacité énergétique et la réduction des besoins, tandis que la production d'énergie renouvelable n'est pas nécessairement intégrée dans la conception du bâtiment passif.

Dans cette étude bibliographique, on s'intéresse à la notion d'isolation thermique.

III. 2 Isolation thermique :

Isoler thermiquement un bâtiment permet tout d'abord d'offrir un confort de vie à ses occupants puisque la température est maintenue à un niveau agréable. Mais, l'isolation thermique permet aussi de limiter le gaspillage énergétique. En effet, cette technique permet de réduire la consommation d'énergie – que ce soit pour alimenter le chauffage ou la climatisation. Dès lors, l'isolation thermique permet de réduire les factures d'énergie et donc de réaliser des économies, mais aussi de réduire l'émission des gaz à effet de serre.Veiller à isoler un bâtiment de manière efficace signifie donc s'inscrire dans la lutte contre le réchauffement climatique, et répondre ainsi au label bas carbone. Cela explique d'ailleurs les exigences en la matière depuis l'entrée en vigueur de la RT2012.[**64]**

III.2.2 : Définition :[65]

L'isolation thermique sert à désigner la totalité des méthodes utilisées pour limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid. On retrouve de l'isolation thermique dans :

- Le bâtiment (diminution des besoins énergétiques des habitations) ;
- l'industrie (protection contre de grandes sources de chaleur) ;
- l'automobile

La loi de Fourier donne la propagation de la chaleur selon un axe x :

$$\varphi_x = -\lambda \frac{dT}{dx} \text{..... (III.1)}$$

Où :

φ_x : est le flux de chaleur, en W/m2 ;

λ est la conductivité thermique du matériau traversé par le flux de chaleur, en W/m/K ;

dT est la variation de température de chaque coté de ce matériau, en kelvin ;

dx est la l'épaisseur du matériau traversé par ce flux de chaleur, en mètre.

Le paramètre propre au matériau servant à limiter les échanges de chaleur est la conductivité thermique.

L'isolation dans le bâtiment est un point important de la thermique du bâtiment. L'isolation sert à dimininuer les échanges de chaleur entre l'intérieur du bâtiment et l'environnement extérieur, et ainsi diminuer les besoins de chauffage et , le cas échéant, de climatisation. Cette isolation doit être pensée

suivant les contraintes climatiques du lieu où se situe le bâtiment. L'isolation thermique est le principe de base de la maison passive. Elle emprisonne la chaleur à l'intérieur en hiver et garde la maison fraîche en été.

La lutte contre le gaspillage d'énergie passe par l'isolation thermique des bâtiments chauffés, elle fait l'objet d'une réglementation précise datant de plus d'une trentaine d'années. L'isolation des nouveaux logements est obligatoire mais c'est aussi un moyen efficace de diminuer les dépenses de chauffage et de climatisation (elle fonctionne aussi en été !) tout en perfectionnant le confort. Elle est encouragée par exemple par des programmes de type Isolto.

On considère généralement une maison comme un récipient percé de différentes sortes de trous :

- portes et fenêtres,
- ventilation,
- combles plafonds,
- murs extérieurs.

On aura par conséquent intérêt à colmater simultanément et de façon équilibrée chaque sorte de trou. Cependant une sur-isolation peut ne pas s'avérer rentable, tant par le coût des matériaux supplémentaires que par la place occupée par l'isolation.

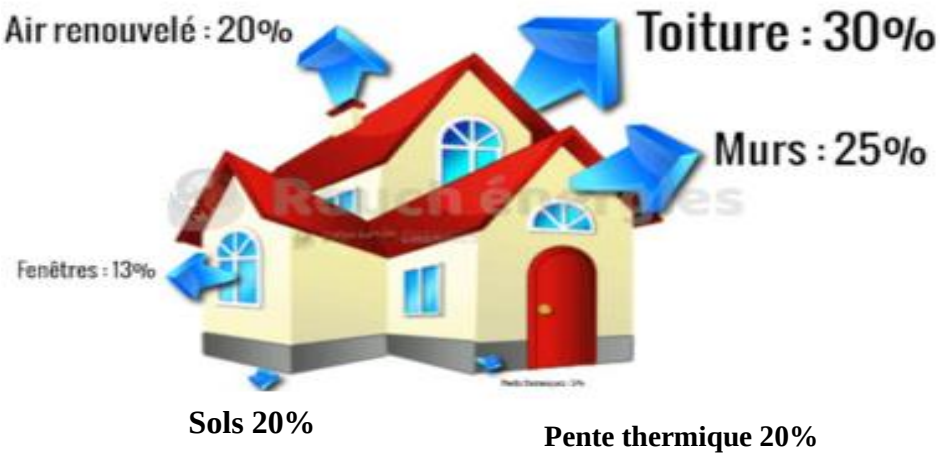


Figure III.1 : Répartition des déperditions thermiques dans une maison non isolée[16]

- **L'isolation par l'intérieure :**

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.

- **L'isolation par l'extérieur :**

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

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

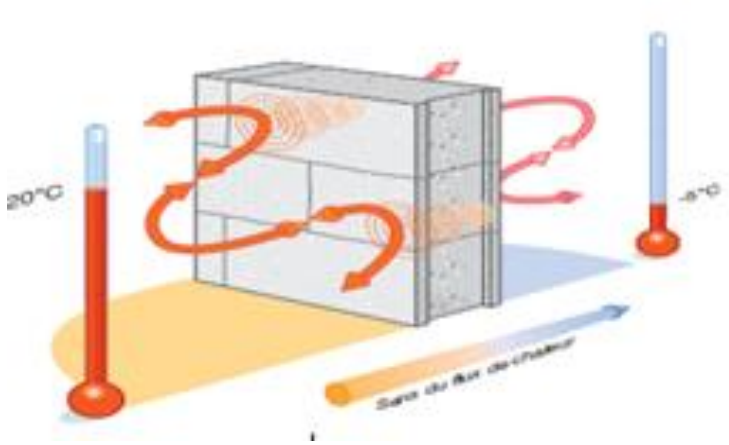


Figure III.2 : Isolation thermique des murs (Intérieur ou extérieur[17]

III.2.3. Isolation thermique des parois vitrées

III.2.3.1. Définition :[66]

La paroi vitrée, étant un élément de l'enveloppe, joue un rôle important sur le plan de la consommation d'énergie et du confort dans les bâtiments. L'optimisation de ses performances doit cependant répondre à des exigences contradictoires ; apports solaires de chauffage en hiver, protection solaire en été, apports de lumière naturelle…etc.

III.2.3.2.Caractérisation des phénomènes de transferts de chaleur d'une paroi vitrées :[67]

La conduction :C'est la transmission d'énergie de proche en proche dans la partie solide d'un matériau. La chaleur se propage avec plus ou moins de facilité suivant la nature, les caractéristiques (résistances thermiques...) et la géométrie du matériau.

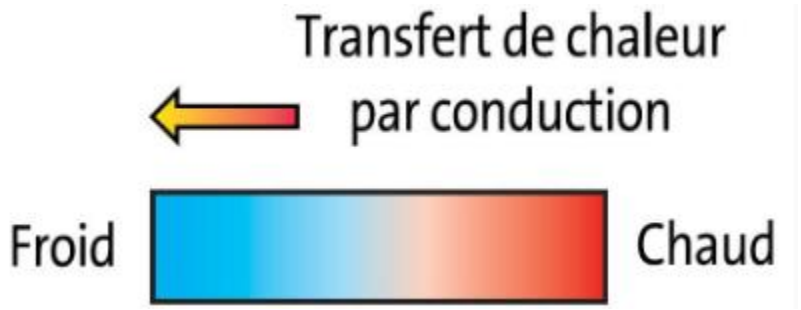


Figure III.3 : La conduction[18]

La convection : Ce mécanisme de transfert de chaleur est propre aux fluides (gaz ou liquide). Au contact d'un élément chaud le fluide, de l'air par exemple, se met en mouvement et se déplace vers l'élément froid au contact duquel il perd sa chaleur créant ainsi un mouvement vertical qui accélère les échanges thermiques entre les 2 éléments.

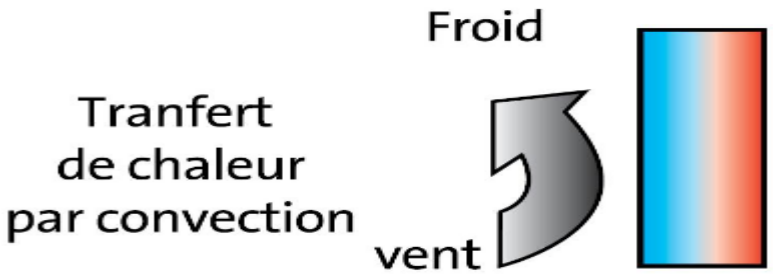
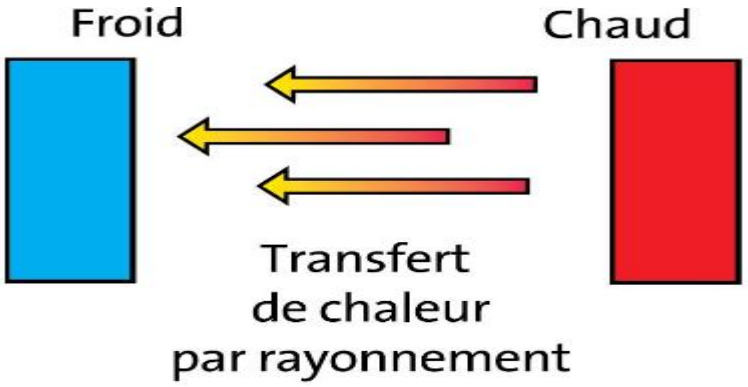


Figure III.4 : La convection**.** [19]

Le rayonnement :C'est le transfert de chaleur d'un élément à un autre par onde électromagnétique sans contact direct. Ce type de transfert ne nécessite pas de support matériel il peut se produire même dans le vide.



.**Figure III.5 :** Le rayonnement. [20]

La fuite de chaleur- le flux thermique : Le flux de chaleur φ (phi) est la quantité d'énergie ou dechaleur passant au travers de 1m2de paroi pendant uneseconde lorsqu'il existe un écart de température entre ses2 faces. Il s'exprime en W/m2.

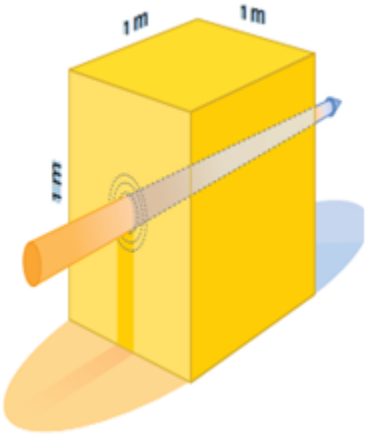


Figure III.6 : La fuite de chaleur- le flux thermique [21]

$$\varphi = \lambda \frac{\Delta T}{e} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.2)}$$

Avec λ la conductivité thermique ;

ΔT l'écart de température et e l'épaisseur de la paroi.

La conductivité thermique : λ est définie comme la quantité de chaleur traversant en une seconde un panneau de 1 m d'épaisseur et d'une surface de 1 m², lorsqu'il existe une différence de température de 1°C entre les deux surfaces de 1 m². La conductivité thermique du verre vaut 1 W/(m K). Il ne s'agit donc pas d'un matériau isolant puisque sont considérés comme tels des matériaux dont la conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/(m K). Pour minimiser des déperditions d'énergie, et donc obtenir une isolation thermique maximale, il faut que le coefficient de transmission thermique U du vitrage ait une valeur aussi faible que possible (c'est-à-dire que la résistance thermique R du vitrage soit aussi grande que possible).

III.2.4 : Isolation thermique des parois opaques

III.2.4.1. Définition :[68]

Les parois opaques regroupent les zones intermédiaires entre l'intérieur et l'extérieur comme le toit, les combles, les murs et le plancher. Ce sont des endroits stratégiques, puisqu'elles jouent un rôle important dans la réduction de la consommation énergétique. En effet, dans une maison non isolée, les parois opaques sont responsables d'environ 70 % des déperditions thermiques. Ce qui pèse très lourd sur la facture d'énergie pour un ménage. Sans parler des conséquences liées à l'environnement avec la production de gaz à effet de serre. C'est pour cela que, depuis la loi POPE en 2005, l'État a mis en place des mesures d'aides financières pour les travaux de rénovation énergétique

III.2.4.2. Caractérisation des parois opaques

- **La résistance thermique d'une paroi homogène RParoi**

➢ **Définition :**

La résistance thermique totale d'une paroi homogène caractérise la somme des transferts des chaleur réalisés par conduction au selon des matériaux et des échanges thermiques superficiels réalisés par convection et rayonnement. Elle se calcule en additionnant les résistances thermique des différents constituants de la paroi et les résistance superficiel correspondantes et s'exprime en m2.K/W.

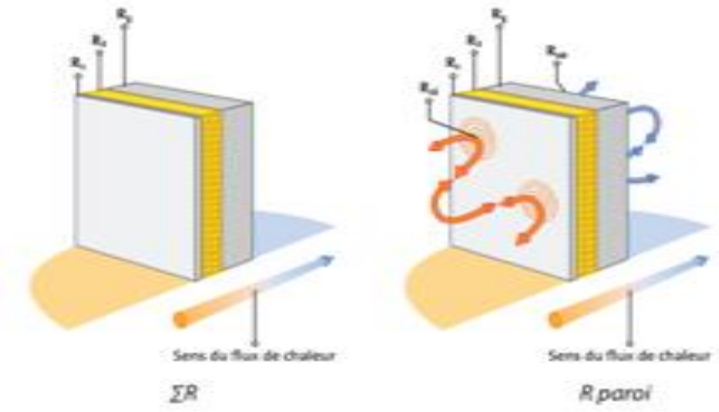


Figure III.7: La résistance thermique d'une paroi homogène.[22]

R Paroi =∑ R+ RSI+ RSe ……. (III.3)

R= les résistance thermique des élément de la paroi homogène en m2.K/W.

RSi, RSe = les résistance thermique superficielles de la paroi en m2.K/m.

- **La déperdition d'un paroi en partie courante UC :**

➢ **Définition :**Le coefficient de transmission thermique d'un paroi homogène uc traduit la quantité de chaleur s'échappant au travers d'une paroi homogène 1 m2 pour un différentiel de 1 degré. Il s'obtient par le calcule, c'est l'inverse de la résistance thermique totale d'une paroi homogène et s'exprime en (w/m2.K)).

:

Il sert à caractériser les déperditions thermiques d'une paroi homogène composée d'un matériau simple ou de plusieurs matériaux.

$$\mathbf{Uc} = \frac{\mathbf{1}}{\sum \mathbf{R} + \mathbf{Rsi} + \mathbf{RSe}}$$

R= les résistance thermique des élément de la paroi homogène en m2.K/W.

RSi, RSe = les résistance thermique superficielles de la paroi en m2.K/m.

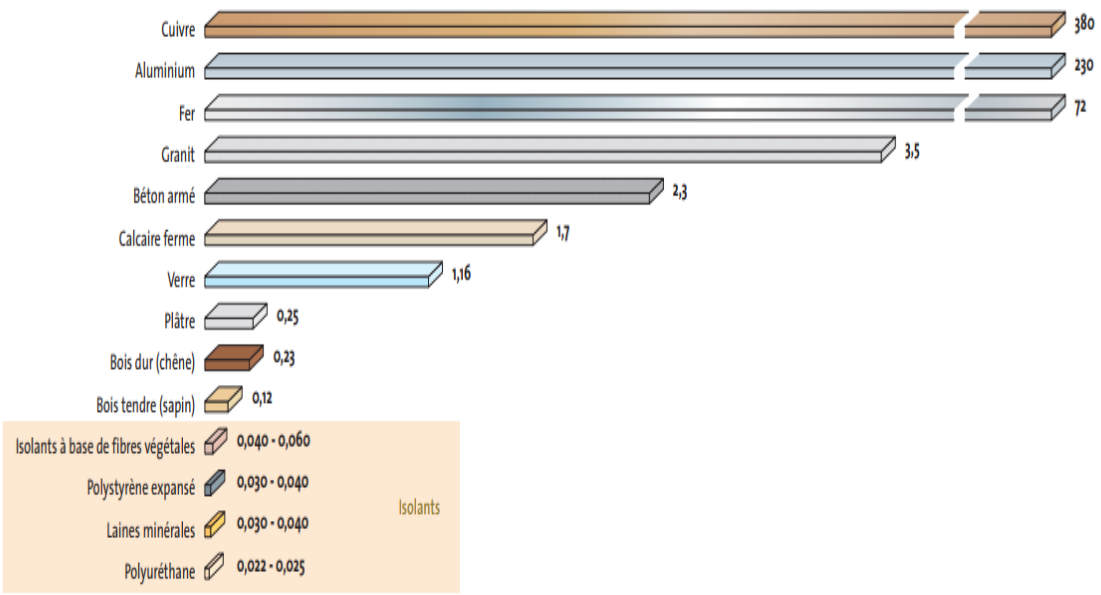


Figure III. 8: la différence de conductivité thermique de quelques matériaux usuels[23]

III. 3 Matériaux à caractère isolant

Sur le plan thermique, l'isolant est un matériau à faible conductivité thermique. La fiche suivante répertorie les matériaux d'isolation les plus importants disponibles aujourd'hui. Ces tôles sont classées en trois grandes familles selon l'origine de la matière première : les matériaux **«bio sources** ; **minéraux ; synthétiques ».**

III. 3.1 .Les matériaux bios sources :

Constitue principalement de fibres végétales ou animales. Leur matière première est donc largement issue de ressources renouvelables et valorise majoritairement des co-produits de l'agriculture ou de l'industrie du bois.

A la différence des autres types de matériaux d'isolation, la majeure partie des matériaux bio sources présente un comportement hygroscopique qui associe forte perméabilité a la vapeur d'eau et régulation de l'humidité.

III.3.1.1.Laine de mouton :

- **Définition :[69]**

La laine de mouton est lavée avec du savon ainsi qu'avec de la soude afin d'enlever les salissures et la forte odeur due à la lanoline. Une fois les nombreux lavages et rinçages terminés, la laine de

mouton est traitée contre les mites avec du matin (un dérivéde l'urée) puis elle est séchée et compressée. Enfin, elle est conditionnée en vrac ou en rouleaux.



Figure III.9: Laine de mouton.
[24]

Tableau III.1: Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de laine de mouton.[70]

Avantage :	**Inconvénient :**	**Environnement :**	**Prix :**
• Possibilité de production de local. • Bonne résistance à l'humidité. • Bonne longévité.	• L'installation doit être effectuée avec masque et des gants. • Difficulté de mise en oeuvre pour les parois verticales (plus pour les combles). • Choisir la laine de mouton sans ajouter de polyester. • Faible inertie et donc moins de confort en été. • Doit être traité contre les rongeurs. • La plupart sont ignifuges.	• Production : l 00% laine de mouton. • Énergie grise : 51 kWh/m3. • Recyclabilité : Oui. • La conductivité thermique : varie de0.039W/mK à 0.042W/mK.	• 2580 DA/m2 pour R = 2,78 m2 K/W • 926 DA/m2 pour R = 1 m2 K/W

III.3.1.2.Laine de bois (fibre de bois) :

➢ **Définition :[71]**

Laine de bois sont fabriqués à partir de déchets de scieries (écorces et branches de résineux sans traitement chimique). Les fibres sont agglomérées entre elles grâce à la lignine qu'elles contiennent. Afin d'obtenir une épaisseur importante d'isolant, plusieurs panneaux sont collés ensemble avec de la colle d'origine synthétique. Leur conductivité thermique est en moyenne comprise entre 0.040 et 0.050 W/(m.K) pour une masse volumique apparente qui oscille entre 45 et 2000 kg/m3.



Figure III.10 : Laine de bois. [25]

Tableau III.2 : Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Laine de bois .[72]

Avantages :	l'inconvénient :	Environnement :	Prix :
• Bonne longévité • Confort d'été.	• Sensible à l'humidité ; • Ils sont souvent associés à 25 % de polyuréthane pour lier les fibres entre elles ; • Doit être traité contre rongeurs • Doit être ignifugé.	• La production : déchets de l'industrie du bois • Énergie grise : 161 kWh/m3 • Recyclabilité : Oui .	• 4300 à 12900 DA/m2 pour R = 6 m2 K/W ; • 645 DA/ m2 pour R = 1 m2 K/W.

III.3.1.3. L'ouatede cellulose :

➢ **Définition :[73]**

La ouate de cellulose est issue du recyclage du papier ou du tissu. Les papiers ou tissus sont chargés, triés puis broyés. Ensuite, des additifs (il s'agit le plus souvent de sels de bore) sont ajoutés afin d'améliorer la résistance au feu, aux insectes, aux rongeurs et aux moisissures. Le mélange est de nouveau broyé afin d'être homogénéisé suite aux différents ajouts. La ouate de cellulose est conditionnée en vrac ou en panneaux. Sa conductivité thermique est en moyenne comprise entre 0.038 et 0.055 W/(m.K) pour une masse volumique apparente qui oscille entre 30 et 70 kg/m3.



Figure III.11 : La ouate de cellulose. [26]

Tableau III.3 : Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de la ouate calleuse.[74]

Avantages :	l'inconvénient :	Environnement :	Prix :
• Excellente isolation thermique et acoustique. • Haute résistance thermique. • Relativement abordable.	• N'est pas totalement ignifuge. • Peut être attaquée par les insectes. • N'est pas imperméable à l'aire.	• La production : déchets de papier ou du tissu • Matériau écologique. • Recyclable : oui	• 5-10 euros du m2

III.3.1.4. Liège Expansé

- **Définition :[75]**

Le liège est issu de l'écorce du chêne-liège. Il est prélevé de l'écorce des arbres (opération de démasclage) tous les 8 à 10 ans sans impact sur la vie de l'arbre. L'écorce est broyée puis agglomérée à chaud grâce à la résine qui est contenue dans le liège : la subérine. Le liège est à la fois hydrofuge, résistant aux insectes et imputrescible, tout en possédant de bonnes propriétés acoustiques. C'est un matériau très résistant au temps. Sa conductivité thermique varie de 0.037 à 0.040 W/(m.K) pour une masse volumique apparente comprise entre 80 et 150 kg/m3. Il est d'ailleurs conseillé de ne l'utiliser en isolation par l'extérieur que pour des maisons situées dans des climats tempérés.



Figure III.12 : Liège Expansé.[27]

Tableau III.4 : Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Liège Expansé.[76]

Avantage :	Inconvénient	Environnement :	Prix :
• L'un des meilleurs matériaux d'insonorisation, souvent utilisé dans les théâtres ; • Naturellement imputrescible : longue durée de vie	• La production d'un chêne est faible, environ une récolte de liège tous les 10 ans.	• Production : De l'écorce des chênes lièges ; • Énergie grise : 450 kWh/m3 ; • Recyclable : Oui	• 17200 DA/m2 pour R = 5 m2 K/W ; • 3130 DA/m2 pour R= 1 m2 K/W.

III.3.1.5. Chaux naturelle :

- **Définition :[77]**

La chaux est une alternative de revêtement mural. Elle peut remplacer le plâtre de plafonnage, le ciment des mortiers et les peintures vinylique ou latex.





Figure III.13 : Chaux naturelle.

Tableau III.5 : Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Chaux naturelle.[78]

Avantages :	**l'inconvénient :**	**Environnement :**	**Prix :**
• La chaux est perméable à la vapeur d'eau. • La chaux augmente le confort intérieur. • La chaux est imperméable à l'eau de ruissellement. • La chaux est un bon isolant phonique et thermique. • La chaux est saine. • La chaux est souple et résistante. • La chaux est ignifuge • .La chaux est facile à travailler. • La chaux est décorative	• Une peinture dont la couleur s'affadit en séchant : nous l'avons dit, la peinture à la chaux teintée s'éclaircit en séchant. En conséquence, il faut appliquer de multiples couches pour obtenir le coloris désiré. • Une peinture salissante : la peinture a la chaux étant poreuse, elle se salit vite. Néanmoins, elle se nettoie également facilement. • Une peinture complexe à préparer : la préparation de la peinture à la chaux est très précise. Si elle n'est pas préparée convenablement, elle se transforme en farine et peut moisir avec le temps. • Une peinture allergisante : pour certaines personnes, la peinture à la chaux peut être allergisante. Prudence donc lorsque vous la manipulez.	• Production : Une roche sédimentaire abondante, le calcaire, un peu de chaleur et le tour est joué • Énergie grise : 450kWh/m3 ; • Recyclable : Oui	NHL 2 : de 15 à 26 euros les 25 kg. La chaux hydraulique NHL 3.5 : de 15 à 18 euros les 35 kg. La chaux hydraulique NHL 5 : de 11 à 1 euros les 35 kg

III.3.1.6.Terre crue :

➢ **Définition :[79]**

La terre, matière première naturelle, est utilisée par l'homme dans la construction depuis des milliers d'années. La grande muraille de Chine, les pyramides aztèques et les casbah marocaines sont toutes bâties en terre. Sa transformation en matériau pour l'habitat ne nécessitant que peu d'énergie et sa disponibilité quasi immédiate lui confèrent encore aujourd'hui un succès incontestable. On estime que 30 % des habitations dans le monde sont construites à base de terre.



Figure III.14 : Terre crue.

Tableau III.6 : Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Terre crue.[80]

Avantages :	l'inconvénient :	Environnement :	Prix :
• Absorbe et restitue l'humidité. • Régule la température par inertie thermique. • Très bon isolant phonique.	La main d'œuvre nécessaire à toute construction en terre est souvent importante : même une petite structure représente 15 tonnes de terre à travailler. Il faut aussi bien avoir conscience que le financement de ce type de maison n'est pas conventionnel. En effet, il vous sera difficile d'obtenir un prêt hypothécaire pour ce genre d'habitation.	• Production :naturelle et locale : un mélange d'argile, de sable, de paille hachée et d'eau jusqu'à obtention d'une pâte homogène qui sera ensuite moulée pour faire des briques, qui sont laissées à l'air libre pour sécher quelques semaines avant d'être maçonnées • Énergie grise : 30 kWh/m3 • Recyclable : Oui	• 7*11*25 cm =59.40€ /m² • 5*11*22 cm =75.20€ /m² • 10*10*33 cm = 86.40€ /m²

III. 3.2 . Les matériaux minéraux

Constitue principalement de ressources minérales vierges ou issus en partie du recyclage pour certains. Sous forme de laines de verre ou de roche, et des fibres agglos.

III.3.2.1. Laine de roches :

- **Définition :[81]**

La laine de roche est un isolant issu de roches volcaniques et basaltiques très utilisé pour l'isolation des constructions. Depuis quelques années, elle tend à remplacer la laine de verre malgré son coût légèrement supérieur, en raison de ses meilleures performances thermiques et acoustiques, mais aussi pour sa composition moins irritante. Faisons le point sur les caractéristiques de la laine de roche, sur ses avantages et inconvénients, ainsi que sur son coût.



Figure III.15: Laine de roches.

Tableau III.7 : Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Laine de roches.[82]

Avantage :	**l'inconvénient :**	**Environnement :**	**Prix :**
• La laine de roche est peu coûteuse, au regard de nombreux autres isolants. Elle figure en effet parmi les matériaux les moins chers du marché, bien qu'elle soit légèrement plus onéreuse que la laine de verre. C'est un isolant au rapport qualité/prix très attractif. • Elle est un excellent isolant thermique et phonique. Grâce à sa résistance thermique élevée, elle contribue à maintenir une bonne température de confort en intérieur en plein hiver sans	• La laine de roche est un bon isolant thermique, ce qui lui permet de protéger la maison du froid. En revanche, elle est peu performante contre la chaleur et ne protège pas aussi bien la maison du réchauffement estival que la laine de verre. • La laine de roche est durable, mais pour préserver ses capacités isolantes, il est impératif de la remplacer tous les 15 ans en moyenne, ce qui a un certain coût.	• Production : l'activité volcanique) transformé en fibres • Énergie grise :150 kWh/m³ beaucoup d'énergie. • Recyclable : Non	entre 18 € /m² et 53 € /m²

pour autant faire exploser la facture d'énergie. • Facile à poser, la laine de roche se décline en plusieurs formats souples et semi-rigides pour répondre à tous les besoins. • La laine de roche résiste bien mieux à l'humidité et à l'eau que la laine de verre puisqu'elle ne les absorbe pas. • C'est un matériau durable, imputrescible et incombustible. Elle offre une bonne barrière contre le feu afin de ralentir la progression des incendies. • La laine de roche est un isolant respirant, ce qui permet de laisser circuler l'air et la vapeur d'eau. En conséquence, l'air intérieur est peu exposé à l'humidité et plus sain pour ses occupants.	• Cet isolant est moins irritant que la laine de verre, mais il est indispensable de se protéger tout autant pour le poser. Masque, gants, lunettes et vêtements de protection sont vivement recommandés, car ses fibres sont très volatiles et dangereuses pour les poumons. De même, pensez à mettre en place un film d'étanchéité à l'air pour éviter que la VMC n'aspire ces particules et les diffuse dans l'air.		

III.3.2.3. Laine de verre :

Définition : [83]

La laine de verre est un isolant naturel vendu sous forme de panneaux ou de rouleaux et accessible dans toutes les enseignes de bricolage. Économique, bon isolant thermique et phonique, incombustible, imputrescible et facile à poser, elle présente des atouts indéniables qui expliquent son succès à travers le monde. En revanche, elle n'est pas dénuée d'inconvénients. Faisons le point sur ses caractéristiques, ses avantages, ses inconvénients et son coût.



Figure III.16 : Laine de verre.

Tableau III.8 : Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Laine de verre.[84]

Avantages :	l'inconvénient :	Environnement :	Prix :
• La laine de verre offre d'excellentes performances en matière d'isolation thermique et phonique. • Son prix est très intéressant et nettement moins coûteux que d'autres isolants du marché. • Imputrescible, la laine de verre a une longue durée de vie. • C'est un matériau naturel qui ne présente aucun danger pour la santé des occupants de la maison. • La laine de verre est un matériau non inflammable. • C'est un isolant idéal pour les combles, les caves et les abris extérieurs, car elle résiste aux rongeurs et autres nuisibles. • La laine de verre est accessible partout et vendue dans toutes les enseignes de bricolage. • Elle peut isoler toutes sortes de surfaces (plafonds, combles perdus, combles habités, murs, cloisons, toitures, etc.). • Élastique et flexible, elle est facile à poser et s'adapte à tous les espaces, y compris les plus exigus et contraints.	• La pose de la laine de verre ne peut se faire sans gants, masque, lunettes et vêtements de protection, car elle est très irritante pour la peau et les yeux. • Bien qu'elle soit d'origine naturelle et recyclable, elle affiche un bilan écologique négatif, notamment car ses matières premières ne sont pas renouvelables. • Sa sensibilité à l'eau fait de la laine de verre un matériau qui ne convient qu'aux pièces entièrement étanches et non humides. En outre, pour mieux réguler l'humidité, il convient de la poser avec un pare-vapeur. • La laine de verre a tendance à se tasser au contact de l'eau ou de l'humidité. Si votre habitation est exposée à celles-ci, il faudra la remplacer. • Si c'est un bon isolant thermique, ses performances acoustiques sont limitées.	• Production : est créée à partir de sable et de verre recyclé ou calcin • Énergie grise :250 kWh/m³; • Recyclable : Oui	23 €/m²

III.3.2.3. Perlite Expansé :

- **Définition :[85]**

La perlite est une roche volcanique siliceuse qui est fragmentée puis chauffée à 1200°C dans des fours spéciaux afin de provoquer son expansion grâce au pourcentage d'eau qu'elle contient (2 à 6 %). Les grains obtenus ont un diamètre compris entre 0 et 6 mm, ce qui correspond à 10 – 20 fois le volume initial. Elle peut-être utilisée en vrac ou être conditionnée sous forme de panneaux.

Ces derniers ont une épaisseur qui varie entre 20 et 120 mm et sont fabriqués par moulage en voie humide avec l'ajout d'un liant à base de résine. Sa conductivité thermique est en moyenne. comprise entre 0.040 et 0.070 W/(m.K) pour une masse volumique apparente qui oscille entre 90 et 165 kg/m3.



Figure III.17: Perlite. [28]

Tableau III.09 : Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Perlite Expansé.[86]

Avantages :	Inconvénient :	Environnement	Prix
• Léger : il permet de créer un mur léger et ne pèse pas sur le support isolé. • Naturel : il n'est pas dangereux pour l'homme • Incombustible : un bon pare-feu. • Imputrescible : une bonne résistance • Non toxique : ne dégage pas de fumées toxiques . • Inaltérable durée de vie élevée. • Résistant à la compression : masse volumique :135 à 165 kg/m3. • Simple d'usage : utilise en association avec un autre matériau comme le béton ou le bitume.	• Grande capacité à absorber l'eau (vapeur, humidité, goutte d'eau…). • Capable d'emmagasiner de l'eau jusqu'à 5 fois son poids. En absorbant une grande quantité d'eau, la perlite expansée perd peu à peu son pouvoir isolant	• Production : issue de roches volcaniques siliceuse; • Énergie grise : 230 kWh/m3 ; • Recyclable : Oui	• 1150 DA/m2 pour R = 5 m2 K/W ; • 230 DA/m2 pour R = 1 m2 K/W ;

III.3.2.4. Verre cellulaire :

➢ **Définition : [87]**

Le verre cellulaire est un matériau inorganique qui a d'excellentes propriétés isolantes, notamment dans les pièces humides, comme les caves. On utilise également ce matériau pour isoler les toits plats et les murs extérieurs. Capacité thermique massique : 840J/KgK ; Conductivité thermique **(valeur λ)** : 0,04 – 0,05 W/mK ; Résistance diffusion vapeur : infinie et masse volumique :110Kg/m3



Figure III.18: Verre cellulaire. [29]

Tableau III.10: Les Avantages, l'inconvénient, Environnement et le prix de Verre cellulaire.[88]

Avantages :	l'inconvénient :	Environnement :	Prix :
• C'est un matériau étanche qui est idéal pour isoler des environnements humides. C'est l'un des seuls matériaux isolants qui n'est pas du tout affecté par l'humidité. • Il n'absorbe donc pas l'humidité et ne se dilate pas. • C'est aussi un excellent pare-vapeur. • Le verre cellulaire est incombustible. Il est d'ailleurs classifié dans la catégorie A1, la plus sûre.. • Comme c'est un matériau inorganique, il est imputrescible et résistant à la vermine. • Il possède une longue durée de vie et garde ses propriétés isolantes pendant plus de 50 ans. • Le verre cellulaire est léger et résistant à la pression.	• Le matériau peut émettre une odeur nauséabonde lorsqu'on le scie. • Les panneaux et blocs en verre cellulaire sont plutôt rigides, ce qui les rend plus difficiles à travailler que la laine de verre ou de roche, par exemple. • Le verre cellulaire est coûteux. • Il n'a pas d'effet régulateur sur le climat intérieur.	• Production :mélange de **verre** recyclé, de sable, de dolomite, de chaux et d'oxyde de fer aux propriétés précisément définies. Le **verre est** ensuite broyé et mélangé à une petite quantité de carbone. Le mélange poudre de **verre** et carbone, dans une moule spécifique, **est** chauffé dans un premier four • Énergie grise :700 à 1 300 kWh/m³. • Recyclable :oui	Pour des panneaux de 60 x 45 cm avec une épaisseur de 5 cm, comptez **20 à 25 €/m²**. L'épaisseur peut aller de 4 à 18 cm. Évidemment, plus le matériau est épais, plus il coûte cher.

III. 3.3 . Les matériaux synthétiques

Issus de ressources pétrochimiques, donc non renouvelables et fortement émetteurs de gaz à effet de serre.

Pour la plupart dépourvus de toute sensibilité à l'humidité, ces matériaux peuvent être particulièrement indiques pour le traitement des zones fortement soumises a l'humidité (soubassement, sous-dalle...).

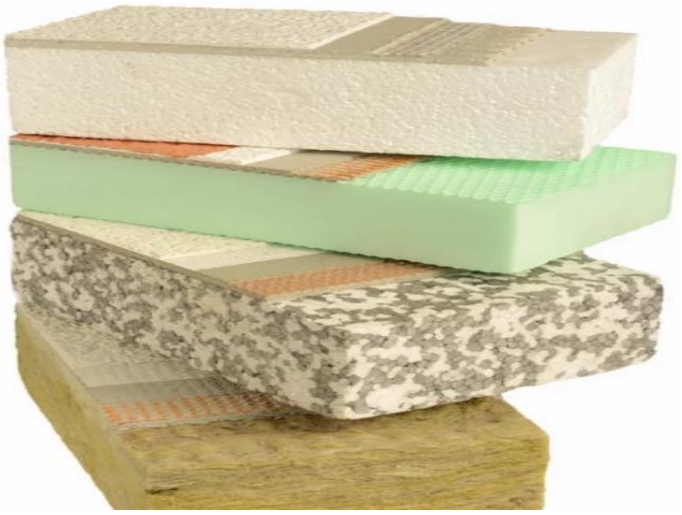


Figure III.19 : Les matériaux synthétiques.

Les isolants synthétiques en polystyrène expansé ou extrudé, en polyuréthane ou mousse phénolique se trouvent sous forme de panneaux rigides. Très efficaces, ils sont toutefois peu écologiques.

Le premier est composé de billes de polystyrène compressées qui emprisonnent l'air sec. C'est un matériau bon marché, très léger et facile à utiliser, surtout lorsqu'il est recouvert de plaques de plâtres. Si sa performance thermique est bonne, il n'en est pas de même pour l'isolation phonique. De même, ce matériau est sensible aux rongeurs et libère des fumées nocives en cas d'incendie. Le polystyrène extrudé possède un pouvoir isolant très élevé. Vendu sous forme de panneaux, il est très résistant au poids et à la chaleur, et peut être utilisé en milieu humide (sol, toiture-terrasse...). Leur prix se situe aux environs de 15 euros/m2, pour une épaisseur de 10 mm. Les isolants synthétiques en mousse Ceux-ci sont fabriqués à base de polyuréthanne ou de polyisocyanurate. Ces matériaux très légers résistent à l'humidité et comptent parmi les plus performants en matière d'isolation thermique. Si les panneaux sont utilisés pour les sols ou pour doubler les murs, la mousse, vendue en bombes, est très pratique pour les endroits difficiles d'accès (contours de fenêtres, portes, coins...) car elle se dilate. Une fois sèche, il suffit de couper ce qui a durci et qui dépasse. Il est donc important de ne pas en mettre trop. Son coût (environ 20 euros/m2) est plus élevé que le polystyrène et les vapeurs dégagées en cas d'incendie sont encore plus toxiques. La mousse phénolique Cet autre isolant phénolique, de couleur rouge-brun, est utilisé en panneaux pour ses performances acoustiques et non thermiques. Ce matériau très léger est sensible à l'humidité mais pas au feu, et peut être utilisé au mur ou au sol. Des isolants synthétiques controversés : les isolants minces Constitués d'une superposition de feuilles (aluminium, ouate, feutre...), ils sont placés sous la toiture pour réfléchir le rayonnement thermique. Ils laissent la chaleur à l'intérieur et empêchent les rayons du soleil de surchauffer les pièces sous combles en été, comme un réflecteur. Très souples et légers, ils sont très faciles à installer, et ce sans aucune protection particulière, contrairement aux laines minérales qui irritent la peau. Mais il y a toujours débat sur leurs

réelles capacités isolantes, d'où leur utilisation en complément d'une autre isolation. Leur prix, de 5 euros à 10 euros/m2, en fait des produits très attractifs

III. 5 . Comment l'efficacité énergétique favorise la transition écologique :[89]

Par l'atténuation du changement climatique, En réduisant la consommation d'énergie, l'efficacité énergétique contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les bâtiments économes en énergie, utilisent moins de combustibles fossiles pour le chauffage et la climatisation, ce qui permet de réduire significativement les émissions de dioxyde de carbone (CO2) et d'autres gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique.

III. 6 . Conclusion

En conclusion, la construction de bâtiments à base de matériaux passifs offre de nombreux avantages en termes d'efficacité énergétique, de confort intérieur et de durabilité. Ces bâtiments sont conçus pour minimiser leur impact sur l'environnement et réduire leur consommation d'énergie.

L'utilisation de l'isolation thermique renforcée par les fenêtres à double vitrage et les matériaux passifs, permettent de réduire les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été. Cela se traduit par une meilleure régulation thermique, ce qui réduit les besoins en chauffage et en climatisation, et donc la consommation d'énergie.

Les bâtiments à base de matériaux passifs favorisent aussi le confort intérieur en créant des espaces bien isolés, en assurant une bonne qualité de l'air intérieur. Les occupants bénéficient d'une température ambiante agréable et constante.

Du point de vue de la durabilité, les matériaux passifs sont souvent issus de ressources renouvelables et recyclables, ce qui réduit l'empreinte carbone des bâtiments.

En résumé, les bâtiments à base de matériaux passifs offrent une solution efficace pour réduire la consommation d'énergie, améliorer le confort intérieur et promouvoir la durabilité. Ils jouent un rôle crucial dans la transition vers une construction plus respectueuse de l'environnement et dans la lutte contre le changement climatique.

CHAPITRE IV : Caractéristique des matériaux

IV.1 Introduction

Ce mémoire de fin d'étude s'inscrit dans le but de réduire la consommation d'énergie, nécessaire à assurer le confort thermique des bâtiments résidentiels. Ce mémoire propose la fabrication des mortiers à base de trois différents types de matériaux qui peuvent être ciblés comme isolants performants.

Le premier matériau visé est la laine de mouton. Le second matériau est la perlite expansée, tandis que le troisième est la poudre d'aluminium.

Ce chapitre présente, au premier lieu les différents matériaux utilisés dans la confection des mortiers étudiés. Par la suite, il présence les essais mécaniques et thermiques adoptés pour évaluer l'efficacité de ces mortiers.

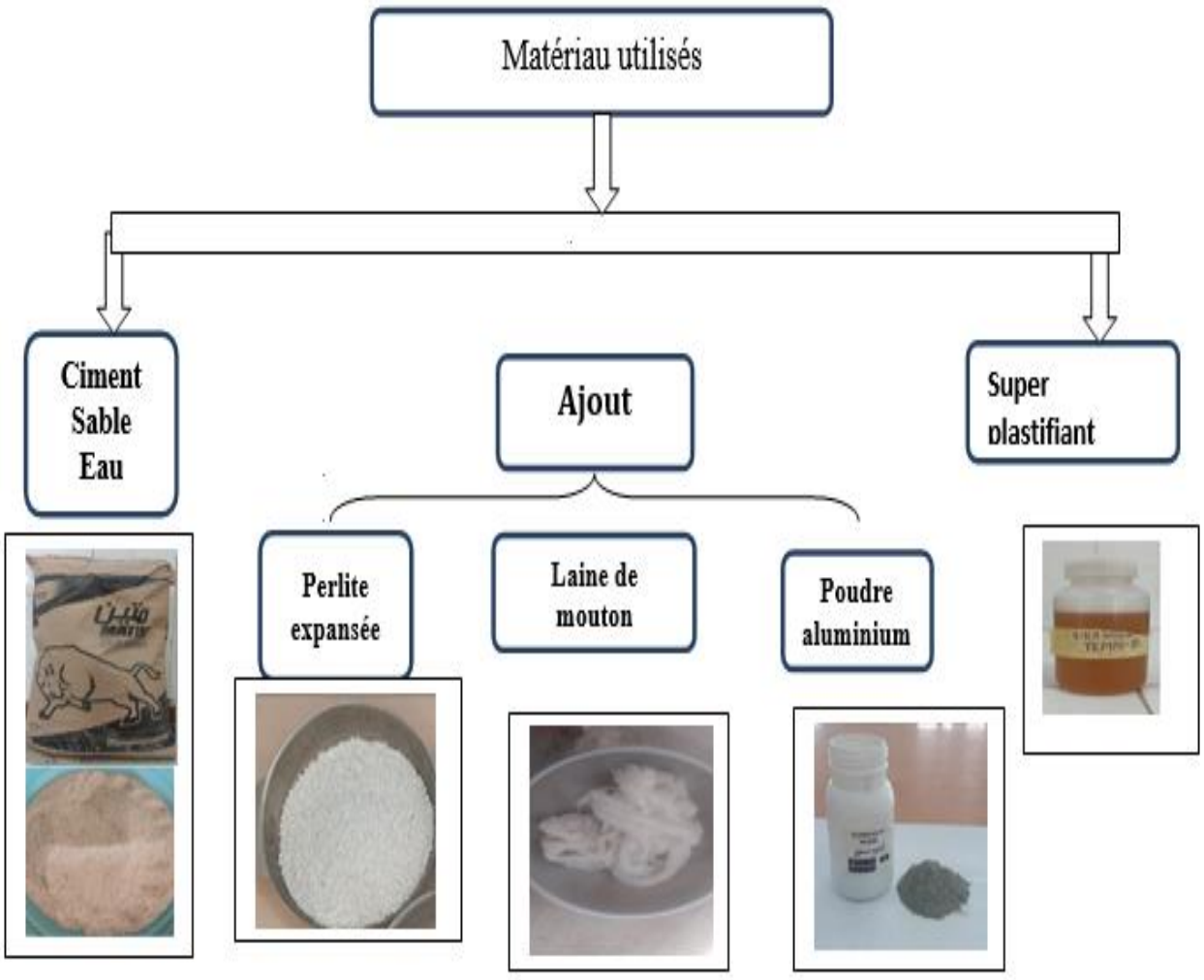


Figure IV : Matériaux utilisés

IV.2Matériaux utilisés

IV.2.1 Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est le ciment portland composé CEM II/A 42,5 N. Il est produit par la cimenterie de Lafarge d'OGGAZ (Wilaya Mascara). Les compositions chimiques et minéralogiques ainsi les caractéristiques physico-mécaniques sont présentées dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Caractérisation chimique et minéralogique du ciment CEM II 42.5 R

composition chimique (%)									
CaO	**SiO2**	**Al2O3**	**Fe2O3**	**MgO**	**SO3**	**Na2O**	**K2O**	**P.Feu**	**R. Insoluble**
55.70	28.57	4.28	3.81	1.11	2.43				

Composition minéralogique (%)			
C3S	**C2S**	**C3A**	**C4AF**
57 - 63	12 - 18	6.5 - 8.5	10-12

Propriétés physiques					
	Masse volumique absolue (kg /m³)	SSB (cm²/g)	Expansion (mm)	Début de prise (min)	Fin de prise (min)
	3100	3964	0,2	120-180	180-280

IV.2.2 Sable

Le sable utilisé est un sable roulé de classe granulaire de 0/2. Il provient de la carrière de Hassi Bahbah (W. Djelfa). La granulométrie et les caractéristiques physiques du sable sont données respectivement dans la figure 5 et le tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Caractéristique physique du sable

Masse volumique absolue	Masse volumique apparente	Coefficient d'absorptions d'eau	Module de finesse	Equivalent de sable
2.58	**1.4**	**0.01**	**1.16**	**65**

IV.2.3 Superplastifiant

L'adjuvant utilisé est le superplastifiant "Sika® ViscoCrete® TEMPO-10", C'est un produit haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération sans chlore à base d'un copolymère acrylique.

Tableau 4.3: Caractéristiques du superplastifiant Tempo-10

Forme	Couleur	Extrait sec	Densité	PH	Teneur en chlorure
liquide	**Brun clair**	**40%**	**1.06±0.01**	**4.0±1.0**	**<1 g/l**

IV.2.4 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée est une eau potable, de robinet et ne contenant pas d'impuretés.

IV.2.5 Poudre aluminium

Dans le but de la réalisation d'un mortier cellulaire, on a introduit une poudre aluminium. Les caractéristiques de la poudre d'aluminium sont données par le tableau 4-5.

Tableau 4-4 caractérisation de poudre aluminium

Forme	Couleur	Odeur	Densité (g/cm3)	PH	Point de fusion	Point initial d'ébullition
Poudre	***noire***	***Inodore***	***2.7***	***7***	***666°C***	***2460°C***

IV.2.6 Chaux

La chaux utilisée pour la confection d'un mortier léger est une chaux CL-90. Elle est issue de la carrière de Hassana (w. SAIDA). Ces propriétés physique et chimiques sont présentées dans le tableau 4.6 .

Tableau 4-5 Propriétés physique et chimiques de la chaux de Saida

	Composition chimique (%)								
	CaO	**SiO2**	**Al2O3**	**Fe2O3**	**MgO**	**SO3**	**Na2O**	**CO2**	**CaCO3**
	73.3	2.5	1.5	2	0.5	0.5	0.45	5	

Caractéristiques physiques				
Densité spécifique (g/cm3)	Densité apparente (g/cm3)	Matériaux insoluble	Granularité	
			>90um	>630um
2	600-900	<1%	<10	0



Figure IV.2 : chaux et poudre aluminium

IV.2.7 Laine de mouton

La laine utilisée provient de la toison du mouton. Une fois la laine tondue sur le mouton, elle est triée, lavée, cardée et filée.

Sa masse volumique apparente est de l'ordre de 15 kg/m3, les caractéristiques physique et mécaniques sont indiquée dans le tableau suivant.

Tableau 4.6 : les caractéristiques physique et mécaniques

Densité (g/cm3)	Diamètre (um)	Longueur (mm)	Absorption d'eau(%)	Resistance traction (MPa)	Déformation ultime (%)	Conductivité thermique **λ** (W/(m.K)	Chaleur spécifique (J/(kg K)
15	95-130	60	28	390	50.2	0.04	1400



Figure IV.3 : Laine de mouton.

IV.2.8 Perlite expansée

La perlite utilisée est une perlite expansée d'une une fraction granulaire de 2 - 4 mm et de conductivité thermique de 0.04 W/(m.K). Sa masse volumique apparente est de l'ordre de 95 kg/m3, tandis que la masse volumique absolue est de 160 kg/m3. la composition chimique est indiquée dans le tableau suivant.

Tableau 4-7 Propriétés physique et chimiques de la Perlite expansée

Composition chimique									
SIO2	**CaO**	**AL2O3**	**Fe2O3**	**MgO**	**K2O**	**Na2O**	**MnO**	**TiO2**	
74	0.2	12.8	0.8	0.2	4.3	3.3	0.05	0.1	

Caractéristiques physico-chimique						
couleur	Masse volumique apparent (g/cm3)	Masse volumique absolue (g/cm3)	Absorption d'eau	Porosité	Classe granulaire	PH
Blanche	90	160	40 %	70%	2 – 4 mm	7

propriétés Thermiques					
	Conductivité thermique **λ** (W/(m.K)	Chaleur spécifique (J/(kg K)	Chaleur spécifique (k cal/(kg°C)	Température de fusion	
	0.04	837.36	0.2	1200°C	

IV I.3 Préparation des Formulations et essai de caractérisation

Les formulations des mortiers ont été préparées par la considération d'une ouvrabilité constante, caractérisée par un temps LCL au maniabilimètre de l'ordre de 12s et un affaissement de 2 cm au mini cône. Pour l'ensemble des formulations, un rapport Eau/ ciment est pris égal à 0.4 par l'utilisation d'un superplastifiant haut réducteur d'eau.

Les formulations des mortiers ont été confectionnées en trois séries :

1- **Mortiers à base de perlite expansée** sont obtenus par la substitution volumique du sable à différents pourcentages (10%,15%,20%,30%,……,100%) de perlite expansée.

Tableau 4.8 : Composition des mélanges de mortier avec perlite expansée

Type de Mortier	Remplacement (%)	Sable (g)	Perlite expansée (g)	Ciment (g)	Eau (g)	SP (%)
MT	**0**	**1350**	**0**	**450**	**250**	**4.5**
M10	**10**	**1215**	**21**	**450**	**250**	**4.5**
M20	**20**	**1080**	**42**	**450**	**250**	**4.5**
M30	**30**	**945**	**63**	**450**	**250**	**4.5**
M40	**40**	**810**	**84**	**450**	**250**	**4.5**
M50	**50**	**675**	**105**	**450**	**250**	**4.5**
M60	**60**	**540**	**126**	**450**	**250**	**4.5**
M70	**70**	**405**	**154**	**450**	**250**	**4.5**
M80	**80**	**270**	**168**	**450**	**250**	**4.5**
M90	**90**	**135**	**189**	**450**	**250**	**4.5**
M100	**100**	**0**	**210**	**450**	**250**	**4.5**

2- **Mortiers à base de fibre de laine de mouton** sont obtenus par une addition des fibres de laine de mouton à différents pourcentages (0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%) en poids de ciment.

Tableau 4.9 : Composition des mélanges de mortier avec laine de mouton

Identification	Ciment (g)	Sable (g)	L/C (%)	Laine (g)	E/C	Eau (g)	SP (g)
Témoin	450	1350	0	0	0.5	225	4.5
L0.5	450	1350	0.5	2.25	0.5	225	4.5
L 1	450	1350	1	4.5	0.5	225	4.5
L1.5	450	1350	1.5	6.75	0.5	225	4.5
L 2	450	1350	2	9	0.5	225	4.5
L2.5	450	1350	2.5	11.25	0.5	225	4.5
L3	450	1350	3	13.5	0.5	225	4.5

3- **Mortiers à base de poudre d'aluminum** sont obtenus par une addition poudre d'aluminum à différents pourcentages (0.1%, 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25%, 1.5%, 1.75%, 2%, 2.25%) en poids de ciment.

- **Tableau 4.10 : Composition des mélanges de mortier avec poudre d'aluminium.**

Type de Mortier	Remplacement (%)	Sable (g)	Laine mouton (g)	Ciment (g)	Eau (g)	SP (%)
MT	0	1350	0	450	250	4.5
Ma0.1	10	1215	21	450	250	4.5
Ma0.25	20	1080	42	450	250	4.5
Ma0.5	30	945	63	450	250	4.5
Ma0.75	40	810	84	450	250	4.5
Ma1.0	50	675	105	450	250	4.5
Ma1.25	60	540	126	450	250	4.5
Ma1.5	70	405	154	450	250	4.5
Ma1.75	80	270	168	450	250	4.5
Ma2.0	90	135	189	450	250	4.5
Ma2.25	100	0	210	450	250	4.5

IV.4 Essais expérimentaux

Les formulations réalisées doivent être caractérisés à l'état frais et durci, Les différents essais faits au cours de ce travail sont résumés dans le tableau suivant

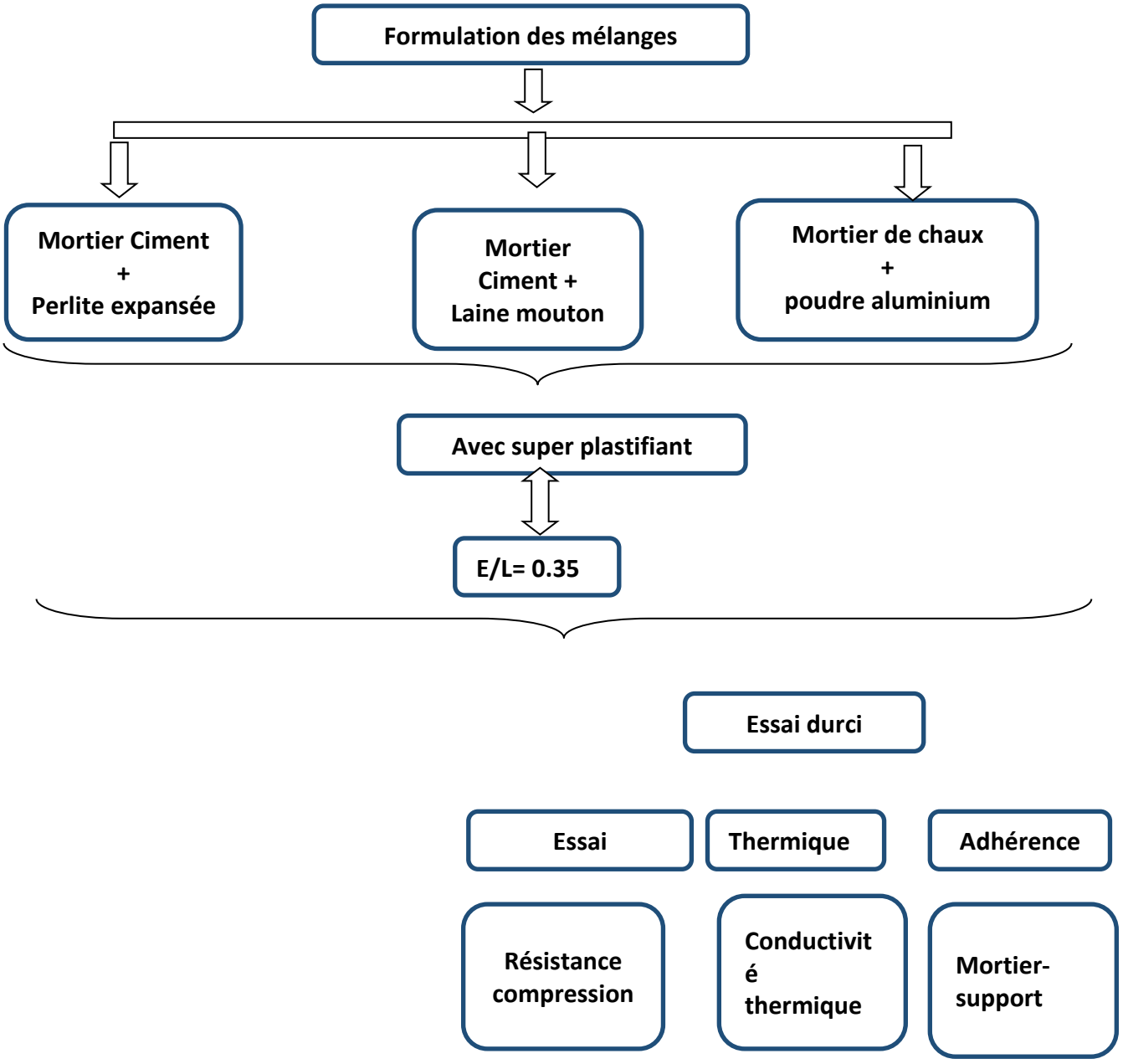


Figure IV.4 : Formulation et variables étudiées

IV.4.1 Essais mécanique:

IV .4.1.1. Résistance à la flexion

Selon la norme [EN 196-1], l'essai consiste à rompre en flexion (par trois points) des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm3.



Figure IV.5 : Essai de flexion sur éprouvette en mortier

IV .4.1.2. Résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée conformément à la norme EN196-1. Les éprouvettes testées sont des demi-prismes (4×4×8) cm3 obtenus lors de l'essai de flexion.



Figure IV.6 : Essai de compression sur éprouvette en mortier

IV.4.2 Essais de la conductivité thermique :

Les mesures de la conductivité thermique et la chaleur spécifique ont été réalisées par la technique de fil chaud, à l'aide de CTMètre conformément à la norme (NF EN 993-15) [145]. Après un étuvage jusqu'à masse constante des éprouvettes 16x16x4 cm3 et leurs rectifications, l'essai implique l'insertion d'une sonde entre les surfaces de ces deux éprouvettes, pour pouvoir mesurer les caractéristiques thermiques (conductivité thermique et la chaleur spécifique)



Figure IV.7 : Essai de mesure de conductivité thermique et la chaleur spécifique **CT-Mètre**

Tableau 4.11 : mesure de conductivité thermique .

	mortier(%)	Conductivité thermique (λ) W/m.K]
Mortier de Perlite	M o	1.41
	M1	1.15
	m2	0,97
	M4	0,85
	M5	0,62
	M6	0,43
	M75	0,35
Mortier de laine de mouton	M 0	1.4
	M 1	0.7
	M 20	0.44
	M 3	0.04
	M 4	0.38
	M 5	0.37
	M 6	0.3
	M 7	0.31
Mortier de Poudre d'alimnuime	M0	1.41
	M0.25	1.15
	M 0.5	1.07
	M 0.75	0.97
	M 1	0.88
	M 1.5	0.85
	M 2	0.35

IV.4.3. Essai adhérence mortier brique

Selon la norme NF P18-852, Le degré d'accrochage d'un mortier sur un support est évalué par un essai d'adhérence par dynamomètre de traction.



Figure. IV.8: Appareil de l'essai d'adhérence par dynamomètre

Le principe de l'essai consiste à exercer une traction directe perpendiculaire sur une pastille circulaire rigide en acier de 50 mm de diamètre, collée à la surface du béton, la surface d'essai ayant été définie par carottage

Forage de préférence à sec du support béton au moyen du trépan de carottage sur une profondeur minimale de 3 ou 4 mm. Dépose du carottier et du trépan sans endommager la pastille métallique collée.

Préalablement, L'essai consiste à délimiter une surface par carottage sur une profondeur minimale de 3 ou 4 mm. Après nettoyage, une pastille circulaire rigide en acier de 50 mm de diamètre munie d'une rotule mâle est collée une. Après 24 heures de collage de la pastille, un effort de traction normale sur la surface d'une pastille munie d'une rotule mâle où vient se loger une rotule femelle située à la base de l'axe central de l'appareil d'essai d'adhérence, qui est équipé d'un capteur de 16 KN (figure IIV.8)





Carottage






Préparation résine époxy





Collage de la pastille circulaire rigide en acier de 50 mm de diamètre munie d'une rotule mâle





Rupture adhésives : plan de collage (mortier/ brique)

Figure. IV: Etape de préparation e l'essai d'adhérence par dynamomètre

Chapitre V : Modélisation Numérique d'une Maison Individuelle

V.1 Introduction

Le chapitre Cinque traite les performance énergétique et thermique d'une maison type en utilisant le logiciel TRNSYS dans sa version 16. L'étude effectuée permet de connaitre, parmi les matériaux traités dans les chapitres précédents, l'isolant le plus efficace et adapté aux bâtiments en période hivernale.

Tout d'abord, nous avons commencé par une présentation détaillée de la maison que l'on souhaite étudier, ensuite, nous avons expliqué le programme TRNSYS. A la fin du chapitre, la simulation thermique réalisé dans le cadre de cette étude a été effectuée en changeant dans chaque cas le type d'enveloppe.

V.2. Présentation du logement étudie

La maison qui fait l`objet de cette étude possède d'une surface habitable de 80 m². Elle est implantée dans la ville de Dar El Beida (latitude 36.71°N et Longitude 3.12°E) au 'sud-est' d'Alger. Cette ville fait partie de la zone climatique 'A' qui est caractérisée par un hiver frais et un été chaud et humide [90]

La maison en question est de type F3 (voir figure V.1) avec un seul niveau. Elle est composée de deux chambres (la première est positionnée vers le côté 'sud-ouest' et la deuxième est orienté vers le côté 'nord-ouest'), une salle de séjour avec une grande fenêtre orientée vers le 'sud' pour bien profiter de l'éclairage naturel en laissant pénétrer le maximum de lumière, une cuisine et une salle de bain.

La structure de la maison est réalisée en béton armé pour les poteaux et les poutres et en briques de doubles cloisons d'une épaisseur de 30 cm pour les murs extérieurs (mur de référence). Ce système de construction est généralisé en Algérie. La toiture est composée d'une dalle en béton armé de 16 cm, polystyrène de 5cm, une forme de pente en béton de 5 cm et une étanchéité de bitume de 3 cm. Les cloisons intérieures sont construites en briques creuses avec une épaisseur de 10 cm. Les fenêtres de la maison sont de type double vitrage avec une menuiserie en aluminium. Le rapport de la surface

vitrée par rapport à la surface habitable est de 13%. Toutes les fenêtres sont équipées de volets sauf celles de la salle de bain.

En hiver, La maison est chauffée par un système de chauffage central à eau chaude avec des radiateurs installés dans chaque pièce et une chaudière mural installée dans la véranda.

Aucun système de ventilation mécanique est installé dans la maison.

La maison est occupée par une famille de 4 personnes (un couple et deux enfants).

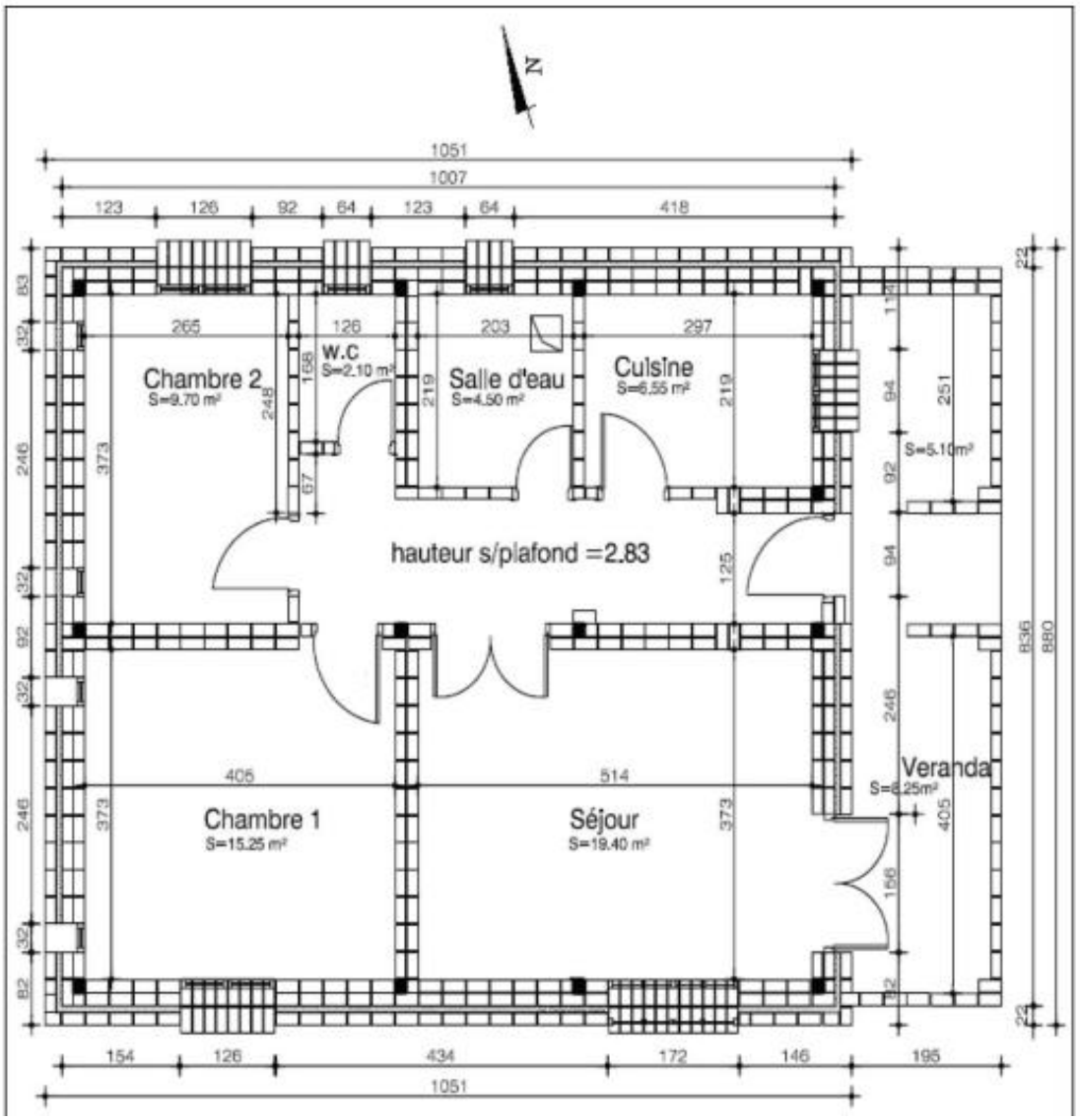


Figure V .1 : Plan de la maison étudié.

V.3. Présentation du logiciel TRNSYS

Le logiciel TRNSYS (Transient System Simulation Program) est considéré comme une référence mondiale dans le domaine de la simulation dynamique des bâtiments et des systèmes associés. Il a été développé par le laboratoire d'énergie solaire de l'Université de Madison (USA) [91]

Pour une étude approfondie du comportement thermique d'un bâtiment, l'outil de simulation TRNSYS permet d'intégrer toutes les caractéristiques d'un bâtiment et de son équipement (les systèmes de chauffage et de climatisation) en fonction de son emplacement, des matériaux de construction utilisés, de l'architecture globale, du concept énergétique choisi, etc.

Dans la bibliothèque de TRNSYS, les composants du système sont appelés Types, et chaque type a un ensemble de paramètres, des entrées et des sorties qui décrivent et définissent leur relation avec d'autres types. La "sortie" d'un TYPE (modèle/composant) devient "l'entrée" d'un autre TYPE. Les utilisateurs peuvent également ajouter des composants non inclus dans la bibliothèque d'origine. La création d'un fichier TPF (TRNSYS PROJECT FILE) permet de réaliser les différentes connexions entre les types (voir figure V.2) [92]

Pour simuler le comportement thermique des bâtiments, trois Types au minimum sont nécessaires : il s'agit des données météorologiques (Type 109), du modèle du bâtiment (Type 56) et du fichier utilisé pour l'impressions des données (Type 65).

L'interface graphique du TYPE 56 est le programme TRNBuild qui génère un fichier contenant la description détaillée du bâtiment : l'architecture, l'orientation, la composition et les dimensions des parois opaques et transparentes, les charges thermiques, les apports internes, le taux de ventilation et le taux d'infiltration. Cette description est stockée dans un fichier d'extension *.b17 [93]

En ce qui concerne les données météorologiques, le type 54 est basé sur les données du logiciel Meteonorm qui contient une base de données climatiques fournie par 8350 stations dans le monde. À partir de là, les algorithmes de calcul inclus dans le programme peuvent être utilisés pour générer des valeurs horaires du rayonnement solaire global, de la température et d'autres paramètres

météorologiques.

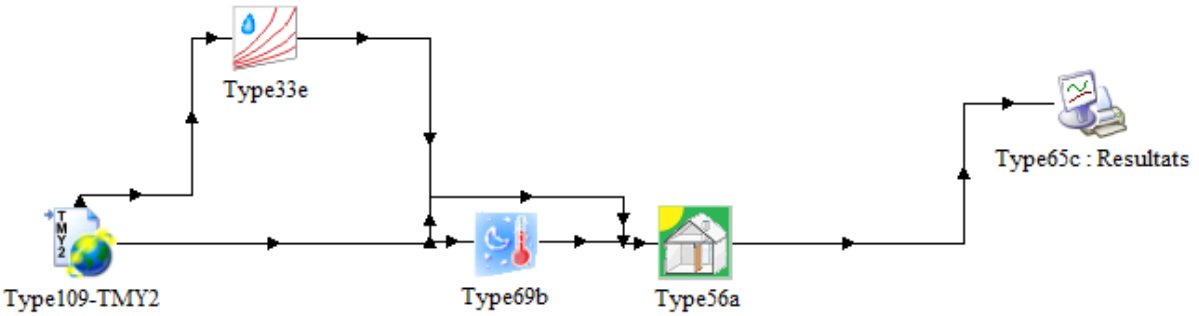


Figure IV .2 : Projet TPF du logement étudié (interface graphique).

IV.4. Simulations thermiques du logement étudié

Le logiciel TRNSYS dans sa version 16 a été utilisé pour modéliser le comportement thermique de la maison type. Une seule zone thermique a été considérée dans le calcul avec un volume d'air total de 229.16 m3 ; les températures des différentes pièces sont considérées proches.

Les parois opaques et transparentes introduites dans le modèle sont celles des murs extérieurs, de la toiture et des fenêtres. Les propriétés physiques des matériaux adoptés dans les calculs sont ceux fournis par la réglementation thermique algérienne [94] est à noter qu'il y a des pertes de chaleur vers la toiture et le sol.

Le taux de renouvellement d'air dû aux infiltrations est pris en compte dans le calcul avec une valeur de 0,6 volumes par heure.

En ce qui concerne les gains internes produites par les équipements électriques, nous avons pris en considération l'équation empirique suivante [95]

$$Gainsinternes = 5{,}294 \times A_{plancher} - 0{,}01557 \times A^2_{plancher} \qquad [W]$$

Pour les gains internes générés par l'éclairage artificiel (entre 7h et 8h du matin et entre 18h et 21h) et les occupants, nous avons utilisés les valeurs fournis par TRNSYS [96]

Comme les radiateurs du chauffage à eau chaude émettent plus de chaleur par rayonnement, nous avons pris dans le model de calcul une valeur de 46% pour la partie convective et une valeur de 54%

pour la partie radiative [97]Une température de consigne du chauffage a été fixé, dans le modèle, à 21°C. Le rendement de la chaudière est de 0.90.

Les valeurs des données météorologiques sont obtenues à partir du logiciel METEONORM pour la ville de Dar el Beida, Alger.

Pour les calculs, le pouvoir calorifique du gaz naturel est pris égal à 36,828 MJ/m3[98]

La période de la simulation va du 1er janvier jusqu'au 15 avril, période dans laquelle le système de chauffage est allumé en Algérie. Le pas de temps pour les simulations a été pris égal à 1 heure.

IV.5. Réduction de la consommation énergétique du logement étudie

En hiver, le chauffage représente 46% du bilan énergétique globale des logements en Algérie [99]Il est nécessaire alors, de réduire cette consommation énergétique par l'amélioration des enveloppes du bâtiment et /ou le rendement des équipements de chauffage et de ventilation. Dans notre cas nous avons :

(1) : En premier lieu, changé le matériau utilisé pour le revêtement extérieur (mortier 75% perlite avec une conductivité thermique de 0,35 [W/m.K], mortier laine de mouton avec une conductivité thermique de 0,44 [W/m.K] ou mortier 7% aluminium avec une conductivité thermique de 0,55 [W/m.K])

(2) En deuxième lieu, nous avons placé dans la lame d'air un isolant d'une épaisseur de 5 cm de laine de mouton avec une conductivité thermique de 0,044 [W/m.K] ou de perlite expansée avec une conductivité thermique de 0,04 [W/m.K]. Le logiciel TRNSYS dans sa version 16 a été utilisé pour évaluer la consommation énergétique du chauffage pour chaque type de parois.

La figure V.3 montre la paroi de référence (paroi de base) du logement étudié. Elle est constituée de deux parois en briques creuses séparées par une lame d'air immobile.

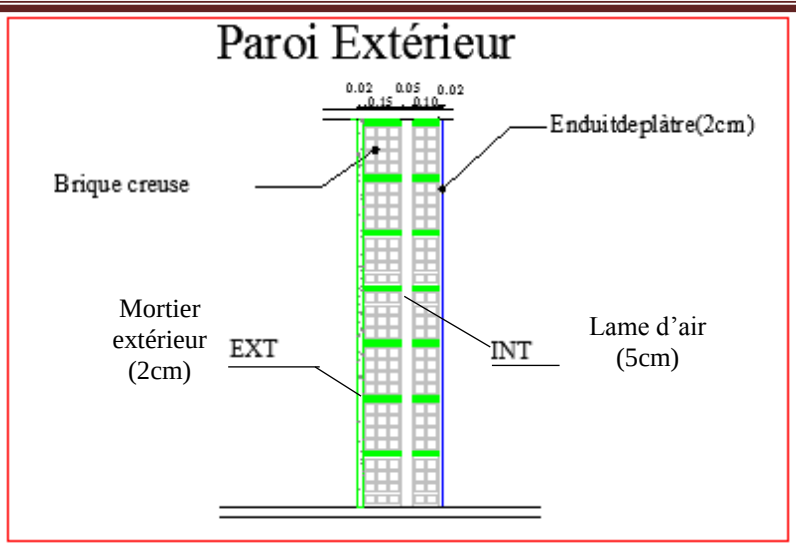


Figure V .3 : Paroi de référence du logement étudié.

Les résultats de la simulation montrent que le changement du revêtement extérieur en appliquant le mortier 75% perlite, le mortier laine de mouton ou le mortier 7% aluminium à la place du mortier ordinaire n'apporté aucune réduction en termes de consommation d'énergie (1022 m3, 1025 m3, 1028 m3 vs 1035 m3 respectueusement) car les conductivités thermiques des différents revêtements sont supérieures à 0.12 W/m.K. Le Document technique règlementaire C3.2 et C3.4 explique que la fonction d'isolation est assurée par un feuillet de matériau isolant dont la conductivité thermique est inférieure à 0,12 W/m. K [100]

Par contre le placement de l'isolant de 5 cm en laine de mouton ou en perlite expansé à la place de la lame d'air a apporté une réduction d'environ 200 m3 pour les deux matériaux précités (883 m3 et 883 m3 vs 1035 m3 respectueusement).

La figure V.4 montre les barres de consommations d'énergie pour le chauffage selon les différentes propositions.

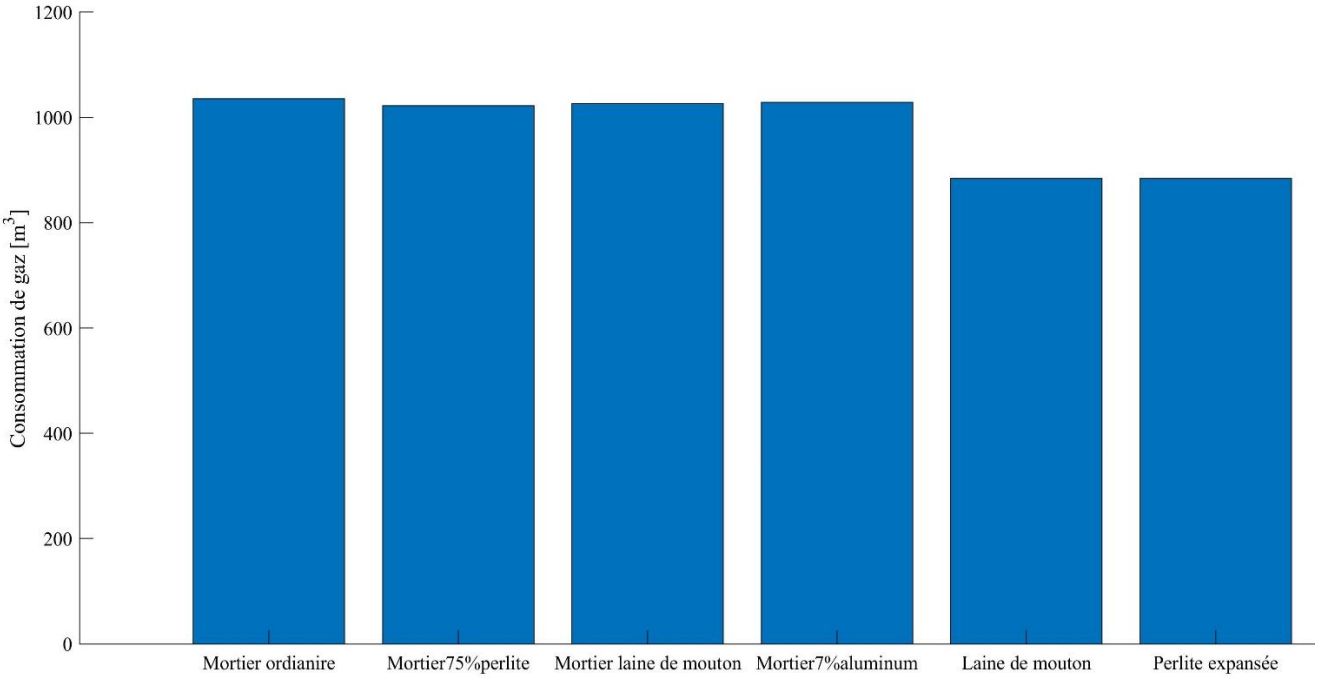


Figure V.4. Consommation énergétique du gaz pour le chauffage.

v.6Conclusion

Dans ce chapitre, un modèle monozone pour l'étude du comportement thermique en hiver des logements a été développé sous TRNSYS. Le modèle élaboré permet de connaitre le type d'enveloppe qui consomme moins d'énergie en période du chauffage.

Les résultats de la simulation ont montré que le changement du revêtement extérieur de 2 cm par le mortier 75% perlite, le mortier laine de mouton ou le mortier 7% aluminium n'a apporté aucune réduction de la consommation d'énergie car leurs conductivités thermiques sont supérieures à 0.12 W/m.K et l'épaisseur est très faible. Par contre lorsque nous avons appliqué un isolant de 5 cm à l'intérieur de la lame d'air, une réduction d'environ 200 m3 en termes de consommation du gaz a été constaté.

Cette étude affirme que l'amélioration du mortier extérieure n'a aucun impact sur la réduction de la consommation énergétique du gaz pour le chauffage des bâtiments.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

L'évaluation énergétique d'un bâtiment consiste à évaluer ses performances énergétiques actuelles et à identifier les possibilités d'amélioration de son efficacité énergétique. Elle vise à évaluer principalement la consommation d'énergie du bâtiment.

Pour notre cas, et en jouant sur le critère d'isolation, nous avons fabriqué des mortiers à base de matières isolantes de diverses natures (perlite, laine de mouton et poudre d'aluminium) avec différents pourcentages dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique de l'habitat.

La simulation numérique faite sur un habitat individuel dont les remplissages extérieurs faits par les matériaux préalablement fabriqués, a montré que l'usage de ces derniers n'a apporté rien à la réduction de la consommation du gaz par rapport au mortier ordinaire, mais si nous appliquons un revêtement de 5 cm de perlite par exemple vers l'intérieur au niveau du l'âme d'air, nous obtenons une réduction remarquable.

Donc nous devons améliorer les formulations de nos matériaux isolants fabriqués dans le but d'atteindre des valeurs de conductivités thermiques très faibles de l'ordre de 0.020 W/m.K, afin de minimiser le maximum possible la consommation d'énergie (gaz) tout en assurant un environnement agréable à l'intérieur de l'habitat.

Annexe :

1. Introduction :

Le marché des matériaux d'isolation pour le bâtiment est segmenté par type et par secteur utilisateur (résidentiel et non résidentiel).

Il fournit de l'énergie à la maison et contribue également à réduire les émissions de gaz à effet de serre

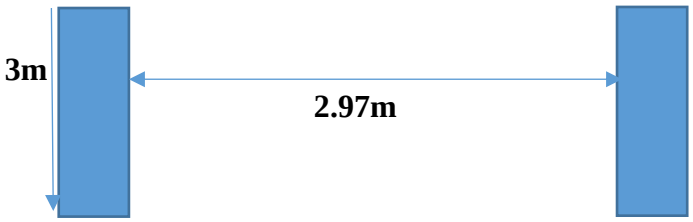


Figure.1 Mesure de mure.

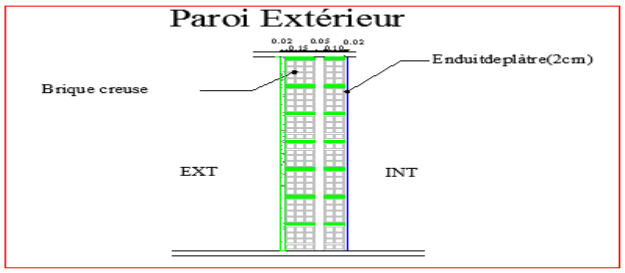


Figure .2 : Double cloisons simple

2. Calcul :

Tableau : Comparaison de matériaux.

Matériaux		Unité	Quantité	Prix Unitaire	Prix	Prix total
Mortier simple	Ciment	kg	50	10,00	500,00	3 700,00
	Sable	kg	40	5,00	200,00	
	Brique	Unité	150	20,00	3 000,00	
	Ciment	kg	50	10,00	500,00	

Mortier de perlite	**sable**	**kg**	**40**	**5,00**	**200,00**	**8 325,00**
	brique	**Unité**	**150**	**20,00**	**3 000,00**	
	perlite	**kg**	**12,5**	**370,00**	**4 625,00**	
mortier de mouton de laine	**ciment**	**kg**	**50**	**10,00**	**500,00**	**3 946,00**
	Sable	**kg**	**40**	**5,00**	**200,00**	
	Brique	**Unité**	**150**	**20,00**	**3 000,00**	
	Mouton de laine	**kg**	**1**	**120,00**	**120,00**	
	Sel de bore	**kg**	**0,1**	**1 260,00**	**126,00**	
mortier d'aluminium	**Ciment**	**kg**	**50**	**10,00**	**500,00**	**10 200,00**
	Sable	**kg**	**40**	**5,00**	**200,00**	
	brique	**Unité**	**150**	**20,00**	**3 000,00**	
	poudre d'aluminium	**kg**	**0,5**	**13 000,00**	**6 500,00**	
Mortier polystyrène	**polystyrène**	**M^3**	**9**	**851,00**	**7 659,00**	**7 659,00**

3. Conclusion :

Nous concluons de cette étude que perlite et la laine sont les moins économique dans leur utilisation, mais l'aluminium est plus cher, ilfaut donc l'utiliser en petit quantité .

Références

Bibliographiques:

[*1*]Étude de l'influence du comportement des habitants sur la performance énergétique du bâtiment.20/05/2023

[2]Shobhakar D. *« Comment infléchir les émissions de CO2 dans quatre mégapoles d'Asie » in La RevueDurable, « Vivre ensemble en mégapole », n° 14*.2005

[3]Despretz, H . « Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments. Définitions. Usages. Consommations », revue technique de l'ingénieur, vol 4. Année 2004

[4]Morillon, R. L'intégration de l efficacité énergétique et du développement urbain durable dans le bâtiment. Par : Morillon, R. Université Marne la vallée. Année 2005

[5]www.connaissancedesenergies.org Consulté le 20/05/2025

[6]Santa mouris, M .Demosthenes et Asimakopoulos,N .*Energy and Climate in the Urban Built Environment.*.2001. James and James édition Ltd ,p412

***[7]www.iea.org.* consulté le 25/05/2023**

[8]https://www.aps.dz/ accéléré 25/05/2023.

[9]Rapport : Bilan énergétique national 2015. Ministère de l'énergie

[10]Rapport : Bilan énergétique national 2015. Ministère de l'énergie

[11]www.connaissancedesenergies.org

[12] (Salomon, et al., 2004),Salomon, Thierry et Bedel, Stéphane. 2004. La maison des [néga]Watts: Le guide malin de l'énergie chez soi. Mens : Terre vivante, 2004. 2-904082-77-8, consulte le 25/03/2023.

[13] (De Béthencourt, et al, 2013).

[14]https://www.connaissancedesenergies.org/.

[15] Elle s'applique en France aux permis de construire de certains bâtiments tertiaires dès le 28 octobre 2011 et de tous les bâtiments résidentiels à partir du 1er janvier 2013.

[16]Présentation RT.

[17] SEC(2010) 1409: «The functioning of retail electricity markets for consumers in the European Union»

[18 BCG, Efficacité énergétique des bâtiments, analyse stratégique de la filière.

[18] **Commission Européenne, Communication Commission au Parlement Européen, au Conseil, au Comité Economique et Social Européen et au Comité des régions, « Plan 2011 pour l'efficacité énergétique », Bruxelles, 08/03/2011.**

[19] **Commission Européenne, Communication Commission au Parlement Européen, au Conseil, au Comité Economique et Social Européen et au Comité des régions, « Plan 2011 pour l'efficacité énergétique », Bruxelles, 08/03/2011.**

[20] La rénovation énergétique des logements du secteur privé, rapport de l'Ademe de janvier 2011.

[21] (Salomon, 2000)), Salomon, Thierry et Bedel, Stéphane. 2004. La maison des [néga]Watts: Le guide malin de l'énergie chez soi. Mens : Terre vivante, 2004. 2-904082-77-8, consulte le 25/03/2023.

[22](AITF, 2013)), Bâtiment Basse Consommation. [PDF] Paris : AITF/EDF, 2013, consulte le 24/03/2023.

[23](effinergie, 2008)), Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. Paris : TMG, 2008, consulte le 20//03/2023.

[24](Agence TEKHNE architectes, Mai 2006).

[25] (Salomon, 2000)), Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. Paris : TMG,

2008, consulte le 20//03/2023.
[26] (effinergie, 2008)),Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. Paris : TMG, 2008, consulte le 20//03/2023.
[27](Robertson, et al., 2012)), consulte le 28/03/2023.
[28] (SIA, 1990).
[29](Salomon, et al., 2004),), Salomon, Thierry et Bedel, Stéphane. 2004. La maison des [néga]Watts: Le guide malin de l'énergie chez soi. Mens : Terre vivante, 2004. 2-904082-77-8, consulte le 25/03/2023.
[30] (Belekhal, et al., Juin 2003).
[31] (Benradouane, et al., 2008)),Benradouane, N et Benyoucef, B. 2008. La fenêtre et son rôle dans la conception des maisons bioclimatiques. Revue des Energies Renouvelables CICME. 2008, 08, consulte le 24/03/2023.
[32] (effinergie, 2008),Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. Paris : TMG, 2008, consulte le 20//03/2023.
[33] (effinergie, 2008),Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. Paris : TMG, 2008, consulte le 20//03/2023.
[34] (Robertson, et al., 2012), consulte le 28/03/2023.
[35](Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada, 2011).
[36] (Robertson, et al., 2012)), consulte le 28/03/2023.
[37] (IBGE, 2010),Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments. [PDF] Bruxelles : Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, 2010, consulte le 28/03/2023.
[38] (IBGE, 2010),Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments. [PDF] Bruxelles : Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, 2010, consulte le 28/03/2023.
[39] (IBGE, 2010),Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments. [PDF] Bruxelles : Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, 2010, consulte le 28/03/2023.
[40] (Bouattour, et al., 2009),Bouattour, Mohamed et Alain, Fuchs. 2009. La végétalisation des bâtiments. [PDF] Paris : DREIF (Direction régionale de l'Equipement Ile de France), 2009, consulte le 22/03/2023.
[41] (DELMET), consulte le 27/03/2023.
[42] (IBGE, 2010),Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments. [PDF] Bruxelles : Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, 2010, consulte le 28/03/2023.
[43](Dessons, et al., 2011).
[44] (effinergie, 2008),), Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. Paris : TMG, 2008, consulte le 20//03/2023.
[45] (ADEME, 2006),Être écocitoyen à la maison: Toutes les solutions pour un logement économe et facile à vivre. Paris : ADEME, juillet 2013. 978-2-35838-235-9. —. 2006. Mur manteau (isolation par l'exterieur). [PDF] Bordeaux : ADEME, 2006, consulte le 25/03/2023.
[46](effinergie, 2008),Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. Paris : TMG, 2008, consulte le 20//03/2023.

[47] (ACTIS, 2012),),Efficacité énergétique des bâtiment: Lever les freins à l'innovation sur le marché de l'isolation. Limoux : ACTIS S.A., 2012.
[48] (Dessons, et al., 2011), consulte le 26/03/2023.
[49] (AITF, 2013),), Bâtiment Basse Consommation. [PDF] Paris : AITF/EDF, 2013, consulte le 24/03/2023.
[50] (effinergie, 2008),), Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. Paris : TMG, 2008, consulte le 20//03/2023.
[51](effinergie, 2008), Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. Paris : TMG, 2008, consulte le 20//03/2023.
[52] (Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2010).
[53] (Sidler, OCTOBRE 2012), consulte le 27/03/2023.
[54] (Salomon, et al., 2004),Salomon, Thierry et Bedel, Stéphane. 2004. La maison des [néga]Watts: Le guide malin de l'énergie chez soi. Mens : Terre vivante, 2004. 2-904082-77-8, consulte le 25/03/2023.
[55] (GIMÉLEC, 2008),La Mesure dans un projet d'efficacité énergétique. [pdf] Paris : GIMÉLEC PROMOTION, 2008, consulte le 22/03/2023.
[56](GIMÉLEC, 2008),La Mesure dans un projet d'efficacité énergétique. [pdf] Paris : GIMÉLEC PROMOTION, 2008, consulte le 22/03/2023.
[57](AITF, 2013),Bâtiment Basse Consommation. [PDF] Paris : AITF/EDF, 2013, consulte le 24/03/2023.
[58](Association des fournisseurs suisses VSR, 2007).
[59] (Robertson, et al., 2012), consulte le 28/03/2023.
[60]https://energieplus-lesite.be/Consulte le 22/04/2023
[61]https://www.dedietrich-thermique.fr/ Consulte le 25/04/2023
[62](AITF, 2013)),Bâtiment Basse Consommation. [PDF] Paris : AITF/EDF, 2013, consulte le 24/03/2023.
[63] (p. ex. les émissions de CO2). (Building Technologies, 2012),Économisez sur l'énergie,pas sur le confort. [pdf] Huizingen : Siemens SA, 2012, consulte le 22/03/2023.
[64]https://batiadvisor.fr/isolation-thermique-du-batiment/Consulte le 25/04/2023
[65]http://www.thermique-du-batiment.wikibis.com/isolation_thermique.php/Consulte le 25/04/2023
[66]https://www.infoenergie38.org/wp-content/uploads/parois_vitrees.pdf
[67]file:///C:/Users/IT%20DOCTOR/Downloads/isolation%20thermique%20parois%20vitr%C3%A9es%20et%20parois%20opaques.pdf
[68**]https://www.infoenergie38.org/wp-content/uploads/parois_vitrees.pdf**
[69**]Développement de composites bio-sourcés destinés à l'isolation des bâtiments. Marie Viel.**
[70]CHABANE-SARI Amel-Zoulikha, Mémoire de Classification d'une variété de matériaux dans l'amélioration de l'isolation thermique d'un bâtiment en Algérie ; HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES--T L E M C E N ; 2021/2022.
[71]Marie VIEL ;Mémoire de Développement de composites bio-sources destinés à l'isolation des bâtiments. Marie Viel ;l'université de rennes 1 commue université Bretagne Loire ;2018

[72]CHABANE-SARI Amel-Zoulikha, Mémoire de Classification d'une variété de matériaux dans l'amélioration de l'isolation thermique d'un bâtiment en Algérie ; HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES--T L E M C E N ; 2021/2022

[73]Marie VIEL ;Mémoire de Développement de composites bio-sources destinés à l'isolation des bâtiments. Marie Viel ;l'université de rennes 1 commue université Bretagne Loire ;2018

[74]https://guidedestravaux.com/ouate-de-cellulose-isolation

[75]Marie VIEL ;Mémoire de Développement de composites bio-sources destinés à l'isolation des bâtiments. Marie Viel ;l'université de rennes 1 commue université Bretagne Loire ;2018

[76]CHABANE-SARI Amel-Zoulikha, Mémoire de Classification d'une variété de matériaux dans l'amélioration de l'isolation thermique d'un bâtiment en Algérie ; HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES--T L E M C E N ; 2021/2022

[77]https://www.ecoconso.be/fr/content/9-raisons-dutiliser-de-la-chaux-sur-ses-mursconsulte le 19/05/2023

[78]https://www.ecoconso.be/fr/content/9-raisons-dutiliser-de-la-chaux-sur-ses-murset **https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-1034-peinture-chaux.htmlconsulte le 19/05/2023**

[79]https://www.ecohabitation.com/guides/2413/la-construction-en-terre-crue/consulte le 21/05/2023

[80]https://www.ecohabitation.com/guides/2413/la-construction-en-terre-crue/consulte le 21/05/2023

[81]https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-757-laine-roche.htmlconsulte le 20/05/2023

[82]https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-757-laine-roche.htmlconsulte le 20/05/2023

[83]https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-12-laine-verre.htmlconsulte le 20/05/2023

[84]https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-12-laine-verre.html consulte le 20/05/2023

[85]Marie VIEL ;Mémoire de Développement de composites bio-sources destinés à l'isolation des bâtiments. Marie Viel ;l'université de rennes 1 commue université Bretagne Loire ;2018

[86]https://www.renovationettravaux.fr/perlite-expansee-enisolation#:~:text=Le%20principal%20inconv%C3%A9nient%20de%20la,%C3%A0%20peu%20son%20pouvoir%20isolant.

[87]https://www.isolation-info.fr/materiaux-isolants/verre-cellulaire . consulte le 25/05/2023

[88] : https://www.isolation-info.fr/materiaux-isolants/verre-cellulaire.consulte le 25/05/2023

[89] : https://www.saint-gobain.com/fr/news/comment-lefficacite-energetique-favorise-la-transition-ecologiqueconsulte le 25/05/2023

[90] :CNERIB. Ministère de l'habitat. Algérie, « Réglementation Thermique du Bâtiment C 3.2 et C 3. 4. Document Technique Réglementaire. » juin 2011.

[91] : Caroline FLORY-CELINI, « Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant », Thèse de doctorat en génie civil, L'université Lyon 1 Claude Bernard, France, 2008.

[92] : Ilyas KHELIFA KERFAH, « Modélisation du comportement thermique des systèmes de chauffage à eau chaude », Thèse de doctorat en génie civil, Université des sciences et de la technologie houari Boumediene, Alger, Algérie, 2022.

[93] : Ilyas KHELIFA KERFAH, « Modélisation du comportement thermique des systèmes de chauffage à eau chaude », Thèse de doctorat en génie civil, Université des sciences et de la technologie houari Boumediene, Alger, Algérie, 2022.

[94] : CNERIB. Ministère de l'habitat. Algérie, « Réglementation Thermique du Bâtiment C 3.2 et C 3. 4. Document Technique Réglementaire. » juin 2011.

[95] : Ilyas KHELIFA KERFAH, « Modélisation du comportement thermique des systèmes de chauffage à eau chaude », Thèse de doctorat en génie civil, Université des sciences et de la technologie houari Boumediene, Alger, Algérie, 2022.

[96] : Klein, S.A et al, *TRNSYS 16, a transient system simulation program*. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2006.

[97] : Ilyas KHELIFA KERFAH, « Modélisation du comportement thermique des systèmes de chauffage à eau chaude », Thèse de doctorat en génie civil, Université des sciences et de la technologie houari Boumediene, Alger, Algérie, 2022.

[98] : M. Amirat et S. M. K. El Hassar, « Energy Savings in the Existing Buildings in Algeria », *International Journal for Housing and Its Applications*, vol. 28, n° 4, p. 309- 321,2004.

[99] : M. Amirat et S. M. K. El Hassar, « Energy Savings in the Existing Buildings in Algeria », *International Journal for Housing and Its Applications*, vol. 28, n° 4, p. 309-321,2004.

[100] : CNERIB. Ministère de l'habitat. Algérie, « Réglementation Thermique du Bâtiment C 3.2 et C 3. 4. Document Technique Réglementaire. » juin 2011.

[1] : Consommation d'énergie finale dans le monde dans connaissance des énergies (2011-2023) https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/consommation-denergie-finale-dans-le monde#:~:text=%C3%80%20RETENIR,utilis%C3%A9es%20dans%20la%20consommation%20finale.consulté le 17/06/2023

[2]: Consommation d'énergie finale dans le monde dans connaissance des énergies (2011-2023) https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/consommation-denergie-finale-dans-le-monde#:~:text=%C3%80%20RETENIR,utilis%C3%A9es%20dans%20la%20consommation%20finale.consulté le 17/06/2023

[3] : Consommation d'énergie finale dans le monde dans connaissance des énergies (2011-2023) https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/consommation-denergie-finale-dans-le-monde#:~:text=%C3%80%20RETENIR,utilis%C3%A9es%20dans%20la%20consommation%20finale.consulté le 17/06/2023

[4] : Consommation d'énergie finale dans le monde dans connaissance des énergies (2011-2023) https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/consommation-denergie-finale-dans-le-monde#:~:text=%C3%80%20RETENIR,utilis%C3%A9es%20dans%20la%20consommation%20finale.consulté le 17/06/2023

[5] : Ministère de l'énergie en Algérie (2011-2012). https://www.energy.gov.dz/?article=bilan-energetique-national-du-secteur. Consulté le

[6] :Ministère de l'énergie en Algérie (2011-2012). https://www.energy.gov.dz/?article=bilan-energetique-national-du-secteur. Consulté le

Tableau I.1: S. Latreche et L. Sriti, Optimisation énergétique d'un bâtiment résidentiel autoproduite à Biskra à travers ses caractéristiques matérielles. Revue des Energies Renouvelables Vol. 21 N°3 (2018) 433 - 443

[7] : S. Latreche et L. Sriti, Optimisation énergétique d'un bâtiment résidentiel autoproduite à Biskra à travers ses caractéristiques matérielles. Revue des Energies Renouvelables Vol. 21 N°3 (2018) 433 - 443

[7] : GuidEnRPhotovoltaique : le guide des énergies renouvelables (2023) http://www.photovoltaique.guidenr.fr/informations_techniques/conception-photovoltaique-raccordee-reseau/releve-masque.php. Consulté le 06/03/2023

[8] : eRT2012 :les principe de base d'une conception bioclimatique (2023)https://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/. Consulté le 06/03/2023

[9] : solarex : panneaux solaires thermiques (2014)http://www.solarexsarl.ch/produits/solaire-thermique/ consulté le

[10] : Quelle énergie :Tout ce qu'il faut savoir sur les panneaux solaires

photovoltaïques.https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/panneaux-solaires-photovoltaiques. Consulté le 10/03/2023

[11] : l'énergie tout compris: Installer ou changer une VMC double flux (2020),https://www.lenergietoutcompris.fr/travaux-renovation-energetique/vmc/double-flux/fonctionnement#:~:text=VMC%20double%20flux%20%3A%20le%20principe%20de%20base&text=Deux%20r%C3%A9seaux%20de%20gaines%20distincts,de%20bain%20et%20la%20buanderie). Consulté le 10/03/2023.

[12] : énergie : ventilation double flux(2007), https://energieplus-lesite.be/techniques/ventilation8/ventilation-hygienique/systemes-de-ventilation/ventilation-mecanique/ventilation-double-flux/. Consulté le 11/03/2023

[13] : Changes for the better : Le fonctionnement de la pompe à chaleur air eau (2023) https://confort.mitsubishielectric.fr/particulier/produit/pompe-a-chaleur-air-eau/fonctionnement-performances. Consulté le 11/03/2023

[14]: futura : Chaudière à condensation : qu'est-ce que c'est ? (2022).https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/chauffage-chaudiere-condensation-5351/.consulté le11/01/2023[17]

[15] : rouch énergies :pourquoi isoler une maison (2010) :https://www.rouchenergies.fr/isolation-ecologique/isolation-thermique/pourquoi-sur-isoler-combles.html. consulté le02/04/2023

[16]: Guidner haute qualité environnementale https://www.hqe.guidenr.fr/cible-2-hqe/verre-isolation-thermique.php. consulté le 03/04/2023

[17]:La conduction https://www.hqe.guidenr.fr/cible-2-hqe/verre-isolation-thermique.php. consulté le 03/04/2023

[18] :https://www.hqe.guidenr.fr/cible-2-hqe/verre-isolation-thermique.php :convection. Consulté le05/04/2023

[19] : Le rayonnement. https://www.hqe.guidenr.fr/cible-2-hqe/verre-isolation-thermique.php. consulté le 05/05/2023

[20] : maison chauffage, maison climatisation (2011) https://energie2maison.wordpress.com/2011/01/18/calculer-flux-thermique/.consulté le

[21] : maison chauffage, maison climatisation (2011) https://energie2maison.wordpress.com/2011/01/18/calculer-flux-thermique/.consulté le

[22] : diagnostique thermique d'une habitation (2020), http://cedric.despax.free.fr/physique.chimie/activites/1STI2D/HABITAT/AE_n%C2%B

05_HABITAT.pdf.consulté le 05/05/2023

[23] : isolant biosourcé : laine de mouton (2019) https://www.toutsurlisolation.com/laine-de-mouton. Consulté le 20/03/2023

[24] : Quelle énergie, tout savoir sur la fibre de bois : https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/isolation-thermique/les-isolants-eskmz/fibre-de-bois. Consulté le20/03/2023

[25]: isolation ,ouate de cellulose , pose et caractéristiques (2022): https://www.lisolation.fr/ouate-cellulose-pose-caracteristiques-avantages-infos/. Consulté le 20/03/2023

[26] :écobati , isoliège isolation naturel en liège expansé (2023). https://www.ecobati.com/fr/produits/isolation-thermique/isoliege-isolation-en-liege-expanse. Consulté le 20/03/2023

[27] :habitatpresto, laine de roche ou laine de verre. https://www.habitatpresto.com/mag/isolation/laine-verre-laine-roche-comparatif. Consulté le 20/03/2023

[28] : habitatpresto, laine de roche ou laine de verre. https://www.habitatpresto.com/mag/isolation/laine-verre-laine-roche-comparatif. Consulté le 25/03/2025

[29]: garantie verte, Qu'est-ce que la perlite ?

(2018). https://www.gammvert.fr/conseils/conseils-de-jardinage/qu-est-ce-que-la-perlite. Consulté le25/03/2023

: encyclopédie libre wikipédia, verre cellulaire (2021), https://fr.wikipedia.org/wiki/Verre_cellulaire. Consulté le25/03/2023