

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



ⵓⵏⵉⵔⵉⵏⵉⵔ ⵉⵏ ⵉⵏⵉⵔⵉⵏⵉⵔ ⵉⵏ ⵉⵏⵉⵔⵉⵏⵉⵔ

Faculté du génie de la construction

Département du génie mécanique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Professionnel en génie
mécanique spécialité Energétique :

- Froid chauffage et climatisation
- Energies Renouvelables

**Etude des performances énergétiques
d'une maison ``prototype`` en Algérie**



Réalisé par :

Mr.: REMACI Abdelkader

Mr.: AZDAOU Djamel

Promoteur :

Mr.: HAMZAOUI Malek

Co-promoteur:

Mr.: DERRADJI Lotfi

Promotion 2012/2013

Remerciements

Avant de commencer la présentation de ce rapport, nous remercions avant tout ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la foi, la volonté et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à remercier en particulier Mr. DERRADJI Lotfi, notre promoteur, qui nous a beaucoup aidé et guidé par ses conseils, durant toute la période de ce projet de fin d'étude. Nous tenons à remercier également Mr. HAMZAOUI MALEK notre promoteur.

Nous n'aurons garde d'oublier dans ces remerciements les membres du jury qui ont bien voulu examiner ce travail.

Nous adressons pareillement nos remerciements à tous les enseignants du Département de mécanique qui ont contribué à notre formation pendant ces longues années.

Enfin nous remercions vivement nos parents et nos proches pour tous les efforts qu'ils ont déployés pour nous aider et nous soutenir moralement et financièrement.

Dédicaces

*Je souhaite dédier ce modeste travail, synonyme de concrétisation
de tous mes efforts fournis ces dernières années :*

A mon ami REMACI Abdelkader

*A mes très chers parents pour leur dévouement, leur compréhension
et leur grande tendresse.*

A mes frères et mes sœurs.

A toute la famille.

*A mes amis qui n'ont jamais cessé de m'encourager et me soutenir
dans tous les moments.*

A tous mes amis de la promotion.

Djamel

Dédicaces

Je souhaite dédier ce modeste travail :

A mon ami AZDAOU Djamel

*A mes très chers parents pour leur dévouement, leur compréhension
et leur grande tendresse.*

A mes frères.

A mes très chères sœurs.

A toute la famille.

A tous mes amis.

ABDELKADER

Nomenclature

Lettres latines		
SYMBOLES	SIGNIFICATIONS	UNITES
A	Surface	m^2
C	Le flux convectif global,	W
d	diffusivité	m^2/h
E_f	effusivité thermique	$W.h^{0,5}.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$
e	Epaisseur	m
F_{cl}	Le facteur lié à l'isolement vestimentaire	-
h	Le coefficient d'échange	$W.m^{-2}.K^{-1}$,
M	L'activité métabolique	m^{-2}
PCI	le pouvoir calorifique inférieur du combustible	$MJ.m^{-3}$
Q	Quantité de chaleur	J
q	Le flux échangé par conduction	$w.m^{-2}$
Q_{ch}	la charge de chauffage	KWh
Q_{cl} :	la charge en climatisation.	KWh
R_g	Résistance thermique des parois	$m^2.KW^{-1}$
R	Le flux radiatif échangé par le corps humain	W
T	La température	K
$\bar{T}$	La température moyenne	K
V	La vitesse	$m.s^{-1}$

θ	Température paroi	K
σ	la constante de Stefan-Boltzmann	$w.m^{-2}.K^{-4}$
λ	conductivité thermique	$W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$
ρ	masse volumique	$Kg.m^{-3}$
ε_{sk}	L'émissivité cutanée	-

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I : Généralités et Bibliographie

Introduction :	3
I-1. Contexte Energétique :	3
I-1-1. Mondial :	3
I-1-1-1. Réserves Energétiques fossiles :	3
I-1-1-2. Consommation Energétique Mondiale par Secteur :	3
I-1-2. Contexte national :	4
I-1-2-1. Consommation National par Secteur :	4
I-1-2-2. L'énergie dans le résidentiel :	5
I-1-2-3. Importance des bâtiments dans la réduction de la consommation énergétique totale :	6
I-2. Le confort :	6
I-2-1. Les besoins de l'occupant :	6
I-2-2. Le confort thermique :	7
I-2-3. Nécessité de l'aération :	7
I-2-4. Le métabolisme :	8
I-2-5. Les mécanismes d'échanges calorifiques :	8
I-2-5-1. L'évaporation :	8
I-2-5-2. La convection :	8
I-2-5-3. Le rayonnement :	10
I-2-5-4. La conduction :	11
I-2-6. Les paramètres du confort thermique.....	12
I-2-6-1. Les températures :	12
I-2-6-1-1. La température de l'air ambiant :	12
I-2-6-1-2. La température des parois :	12
I-2-6-1-3. La température ressentie :	12
I-2-6-2. L'humidité :	12
I-2-6-3. La vitesse de l'air :	13
I-2-6-4. Les facteurs culturels et psychologiques :	13

I-3. Rappel des grandeurs physiques fondamentales en thermique :	13
I-3-1. Notion de température :	13
I-3-2. Définition de la chaleur :	13
I-3-2-1. Chaleur sensible:	14
I-3-2-2- Chaleur latente :	14
I-3-2-3. Quantité de chaleur :	14
I-3-2-4. Flux de chaleur :	14
I-3-3. Modes de transfert de chaleur :	14
I-3-3-1. Conduction:	14
I-3-3-2. Convection:	15
I-3-3-3. Rayonnement :	15
I-3-3-4 Evaporation ou condensation :	15
I-3-4. Transfert de chaleur à travers une paroi opaque :	15
I-4. Les paramètres influents sur l'efficacité énergétique :	17
I-4-1. Inertie thermique	17
I-4-1-1. Définition :	17
I-4-1-2. Les enjeux :	18
I-4-1-3. Les paramètres de l'inertie, ou facteurs influents :	18
I-4-1-3-2. Autres facteurs :	20
I-4-1-3-2-1. La surface d'échange :	20
I-4-1-3-2-2. La ventilation nocturne :	20
I-4-1-3-2-3. Le comportement des usagers :	21
I-4-1-3-2-4. Le chauffage :	21
I-4-1-3-2-5. Les protections solaires :	21
I-4-1-3-2-6. Le climat :	21
I-4-1-4. Les moyens de l'inertie :	21
I-4-1-5. Rôle de l'inertie :	22
I-4-2. Isolation :	22
I-4-2-1. Isolation des murs :	22
I-4-2-2. Isolation de la toiture :	26
I-4-2-3. Fenêtres et portes :	26
I-4-3. Energie solaire :	26
I-4-3-1. Energie solaire passive :	26

I-4-3-2. Energie solaire active :	27
I-4-3-2-1. Le solaire thermique :	27
Conclusion :	28

CHAPITRE II :Description de la maison

II.1 Description générale :	29
II.2 Isolation thermique de l'enveloppe :	31
II.2.1 Composition des parois :	31
II.2.1.1. Mur extérieur :	31
II.2.1.2. Plancher bas sur terre-plein :	32
II.2.1.3. Plancher haut :	32
II.2.1.4. Résistance thermique des parois :	33
II.3. Chauffage solaire passif :	33
II.4. Occultation nocturne :	35
II.5. Masse thermique :	35
II.6. Ventilation naturelle :	35
II.7. Plancher solaire direct :	36
II.8. Distribution de la chaleur dans le plancher :	37

CHAPITRE III :Simulation et Interpretation de resultats

Introduction :	39
III.1. Zones thermiques :	39
III.2. Scénario d'occupation :	39
III.3. Présentation du logiciel TRNSYS :	40
III.3.1. Fonctionnement :	40
III.3.2. Construction d'un modèle du bâtiment multizone :	40
III.3.2-1. Création du projet :	40
III.3.2-1-1. choix du type de projet :	41
III.3.2-1-2. Tracer le plan d'étage :	41
III.3.2-1-3. Dimensionnement des zones :	42
III.3.2-1-3. Fraction des fenêtres et l'orientation de la maison :	42
III.3.2-1-5. Ombrage des fenêtres :	43
III.3.2-1-6. Nuance mobile :	43

III.3.2-1-7. Le projet final :.....	44
III.3.2-2.Partie bâtiment(TRNBuild).....	45
III.4-Interprétation des résultats :	46
III.4.1 Evolution de la température des 4 zones de la maison avec et sans isolation :	46
III.4.1-1.Sans isolation :	46
III.4.1-2.Avec isolation :	48
III.4. Influence de l'épaisseur de l'isolation sur les besoins en chauffage et en climatisation :	49
III.4. 1. Effet de l'isolation de la toiture :	50
III.4. 2. Effet de l'isolation des murs :	51
III.4.3. Effet de l'isolation de plancher :	52
III.5.Influence de l'épaisseur de l'isolation sur l'évolution de la température à l'intérieure de la maison :	53
III.5.1. Sur la toiture :	53
III.5.2. Sur les murs :	55
III.6. Comparaison entre les différents matériaux de construction :	57
III.6.1.La composition des parois :	57
III.6.2.Comparaison des températures de la maison.....	58
III.6.3. Besoins en chauffage et en climatisation pour différents matériaux :	62
III .7. Variation des besoins en chauffage et en climatisation avec la variation des matériaux d'isolation :	65
Conclusion :	66

CHAPITRE IV :Etude technico-economique

Introduction :	67
IV.1. Les avantages du BTS :	67
IV.2. Epaisseur optimal d'isolation :	67
IV.2.1. Epaisseur optimal pour la toiture :	69
IV.2.2. Epaisseur optimal pour les murs :	70
Conclusion :	70
Conclusion générale :	71

Liste des figures

Figure I-1- : consommation nationale par secteur d'activité.....	5
Figure I-2-: consommation du secteur résidentiel par type d'énergie.....	5
Figure I-3- : conduction thermique.....	15
Figure I-4-: Transfert de chaleur à travers une paroi opaque.....	16
Figure I-5- Transfert de chaleur par conduction à travers la paroi.....	17
Figure I-6-:Isolation d'un pont thermique.....	25
Figure I-7- : Localisation des différent ponts thermiques	25
Figure I-8- : Energie solaire passive en hiver et l'été.....	27
Figure I-9- : Les deux types des systèmes solaires combinés.....	28
Figure II-1 : La maison prototype situé au CNERIB (à Souidania).....	29
Figure I-2 : Plan de masse de la maison prototype.....	30
Figure II-3 : Mur extérieur.....	31
Figure II-4 : Plancher bas sur terre-plein.....	32
Figure II-5 : Toiture.....	32
Figure II-6 : Différentes façades de la maison prototype.....	34
Figure II-7: Schéma détaillé du fonctionnement du plancher solaire direct.....	36
Figure II-8 : Capteurs solaires.....	37
Figure II-9 : Schéma d'installation du serpentín dans le plancher bas.....	38
Figure III-1 : Evolution de la température intérieure des quatre zones sans isolation de la maison pour la 3eme semaine du mois de Janvier.....	46
Figure III-2 : Evolution de la température intérieure des quatre zones sans isolation de la maison pour la dernière semaine du mois de juillet.....	47
Figure III-3 : Evolution de la température intérieure des quatre zones de la maison pour la 3eme semaine du mois de janvier.....	48

Figure III-4 : Evolution de la température intérieure des quatre zones de la maison pour la dernière semaine du mois de juillet.	49
Figure III-5: Variation des besoins en chauffage et en climatisation avec la variation de l'épaisseur de l'isolation de la dalle.....	50
Figure III-6 : Variation des besoins en chauffage et en climatisation avec la variation de l'épaisseur de l'isolation des murs.....	51
Figure III-7 : Variation des besoins en chauffage et en climatisation avec la variation de l'épaisseur de l'isolation du plancher.....	52
Figure III-8 : Influence de l'épaisseur de l'isolation de la toiture sur l'évolution de la température à l'intérieure de la maison.....	53
Figure III-9 : Influence de l'épaisseur de l'isolation des murs sur l'évolution de la température à l'intérieure de la maison.....	54
Figure III-10: Influence de l'épaisseur de l'isolation des murs sur l'évolution de la température à l'intérieure de la maison.....	55
Figure III-11: Influence de l'épaisseur de l'isolation des murs sur l'évolution de la température à l'intérieure de la maison.....	56
Figure III-12 : Effet des matériaux de construction sans isolation pour une semaine du mois de juillet.....	58
Figure III-13: Effet des matériaux de construction sans isolation pour une semaine du mois de Janvier.....	59
Figure III-14: Effet des matériaux de construction avec isolation pour une semaine du mois de Juillet.....	60
Figure III-15 : Effet des matériaux de construction avec isolation pour une semaine du mois de Janvier.....	61
Figure III-16 : Besoins en climatisation pour différents matériaux de construction sans isolation.....	62

Figure III-17 : Besoins en chauffage pour différents matériaux de construction sans isolation.....	63
Figure III-18: Besoins en climatisation pour différents matériaux de construction avec isolation.....	64
Figure III-19: Besoins en chauffage pour différents matériaux de construction avec isolation.....	65
Figure III-20: Besoins en climatisation pour différents matériaux d'isolation.....	65
Figure III-21 : Epaisseur optimal d'isolant pour la toiture.....	69
Figure III-22 : Epaisseur optimal d'isolant pour les murs.....	70

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Réserves mondial d'énergie 2011	3
Tableau I-2 : Consommation d'énergie selon le type d'utilisation.....	4
Tableau I-3 : Caractéristiques de quelque isolant.....	24
Tableau II-1 : Caractéristiques thermiques de différentes parois de la maison.....	33
Tableau III-1 : Composition des parois et caractéristiques thermiques des différents matériaux.....	57

Introduction générale

L'énergie est un élément vital pour les sociétés au même titre que la nourriture ou l'accès à l'eau. La croissance démographique (en un siècle, la population mondiale a quadruplé et la consommation d'énergie par habitant a été multipliée par 7), la mobilité des hommes, le développement rapide que connaît le monde construit sur un modèle de consommation de plus en plus énergivore contribuent à une véritable explosion des besoins énergétiques. Des besoins qui sont assurés en grande partie par trois produits énergétiques qui représentent à eux seuls plus de 80% des énergies primaires utilisées dans le monde : le pétrole (35,2% de la consommation d'énergies primaires), le charbon (25%) et le gaz naturel (21%)[1], mais malheureusement, ce sont des énergies fossiles : il a fallu des millions d'années pour les produire et elles ne se renouvellent plus aujourd'hui (les conditions naturelles de l'ère primaire, qui ont permis leur formation n'existe plus).

Au problème de l'épuisement inéluctable des ressources fossiles s'ajoute la question du réchauffement climatique, dû aux émissions du gaz à effet de serre qui engendre des conséquences graves sur la planète et dont la prise en conscience est de plus en plus forte.

Ainsi nous sommes aujourd'hui face à des obstacles intimement liés qui demandent à remettre en cause notre rapport à l'énergie et chercher à mieux gérer les ressources énergétiques limitées de façon à répondre aux besoins énergétiques des sociétés, tout en protégeant l'environnement et en assurant un avenir énergétique durable.

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.

Dans l'immédiat, le problème énergétique de l'Algérie est un problème qui se pose en terme de stratégie de valorisation de ces ressources pour les besoins du développement du pays, de choix d'une véritable politique énergétique à long terme et de définition immédiate d'un modèle cohérent de consommation énergétique couvrant le court et le moyen terme, avant la date fatidique de l'épuisement de ses ressources fossiles stratégiques.

Dans ce contexte, la loi algérienne (N°99-09) relative à la maîtrise de l'énergie [2] ,

Introduction générale

le Décret exécutif (N°2000-90) portant Réglementation Thermique dans les Bâtiments Neufs [3], et les deux documents techniques réglementaires (DTR C3.2 et DTR C3.4 [4-5]) sont venus fixer le modèle de consommation énergétique national et définir le cadre général des différentes actions à mener pour parvenir le plus rapidement possible à une rationalisation de l'emploi des énergies disponibles et à une meilleure maîtrise de la consommation énergétique.

Outre la nécessaire diversification énergétique qui vise essentiellement une rapide intégration des énergies renouvelables (solaire photovoltaïque et thermique, éolienne, géothermique et biomasse) dont dispose en abondance l'Algérie, le développement des économies d'énergie est un axe très important de la démarche préconisée par cette loi.

Ce travail contribue à l'effort visant la réalisation d'économies d'énergies dans le secteur de l'habitat qui consomme à lui seul 41% de l'énergie finale [6]. Il se focalise sur l'étude des performances thermiques d'une maison rurale à faible consommation d'énergie en assurant un meilleur confort thermique aux occupants. Cette maison, qualifiée de solaire passive, doit tirer profit au maximum de l'énergie des rayons du soleil et minimiser les déperditions thermiques vers l'extérieur grâce à l'optimisation de certains paramètres de construction. Cette maison est réalisée par le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) dans le cadre du projet MED-ENEC. L'outil de simulation thermique dynamique (STD) permet de prévoir le comportement du bâtiment dans son ensemble lorsqu'il est soumis à différentes sollicitations et d'évaluer ensuite l'impact de chaque paramètre de la construction sur le niveau de la performance énergétique du bâtiment. En particulier, la connaissance de la réponse du bâtiment au climat est nécessaire pour une meilleure conception.

Introduction

L'analyse des chiffres sur les réserves et la consommation énergétiques, tant au niveau mondial qu'au niveau national permet d'éclaircir la complexité du contexte énergétique dans une phase transitoire pleine d'inquiétude quant aux problèmes environnementaux : changement climatique épuisement des réserves d'énergie mondiales et montre la place du secteur résidentiel dans la consommation totale.

I-1. Contexte Energétique :

I-1-1. Mondial :

I-1-1-1. Réserves Energétiques fossiles :

En continuant sur une politique énergétique basée sur l'exploitation des ressources fossiles à un rythme effréné de consommation le monde risque d'hypothéquer l'avenir de futures générations.

Tableau I.1: Réserves mondial d'énergie 2011[7].

	Réserves mondiales (en unité physique)	Réserves mondiales (en G tep)	Réserves mondiales (en %)	Production annuelle (en G tep)	Nombre d'années de production à ce rythme
Pétrole	1 653 GBl	234	23 %	4,0	58
Gaz naturel	208 Tm ³	187	18 %	3,3	57
Charbon	861 Gt	564	56 %	3,95	145

G tep : giga tonne équivalent pétrole.

I-1-1-2. Consommation Energétique Mondiale par Secteur :

L'agence internationale de l'énergie fournit le tableau suivant qui donne la part de chaque secteur dans la consommation d'énergie pour l'année 2006 :

Tableau I.2: Consommation d'énergie selon le type d'utilisation [8].

Secteur	Consommation MTEP (2006)	Part dans la consommation
Transport	2 180	27 %
Industrie	2 226	28 %
Résidentiel	1 958	24 %
Tertiaire	643	8 %
Agriculture	181	2 %
Autres	156	2 %
Usages non énergétiques	740	9 %
Total	8 084	100 %

I-1-2.Contexte national :

Compte tenu des chiffres, l'Algérie apparaît comme un véritable géant énergétique. Dans l'espace méditerranéen, l'Algérie est en pole position, puisque elle est le premier pays producteur et exportateur du pétrole et du gaz naturel.

En ce qui concerne le gaz naturel, forte de 50% des réserves, de 48% de la production totale et de l'impressionnant taux de 94% des exportations du gaz naturel, l'Algérie n'a pas de rival dans la méditerranée [9]. Elle est le troisième fournisseur de l'union européenne en gaz naturel et son quatrième fournisseur énergétique total.

Malgré la bonne santé qu'affiche l'Algérie ses réserves ne représentent que 18 ans de production au rythme actuel [10], cela montre qu'à long terme l'Algérie est aussi vulnérable que le reste des pays de la méditerranée surtout que ses ressources continuent à constituer la manne essentielle qui fait tourner son économie.

I-1-2-1. Consommation National par Secteur :

La consommation énergétique finale nationale de l'année 2007 a atteint 20 millions de TEP (Tonne équivalent pétrole), la figure-1- montre la répartition de la consommation finale par secteur d'activité. Le secteur résidentiel et tertiaire représente 41 % de la consommation

nationale, le reste est réparti entre le secteur des transports 33 % et le secteur de l'industrie et de l'agriculture avec 26% [11].

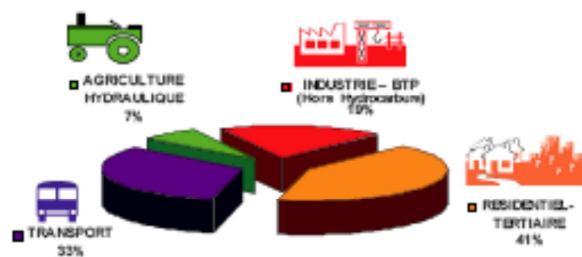


Figure I-1- : consommation nationale par secteur d'activité [11].

I-1-2-2.L'énergie dans le résidentiel :

La consommation finale du secteur résidentiel a atteint 6,5 millions de TEP, la répartition de la consommation par type d'énergie est présentée par la figure ci-dessous.

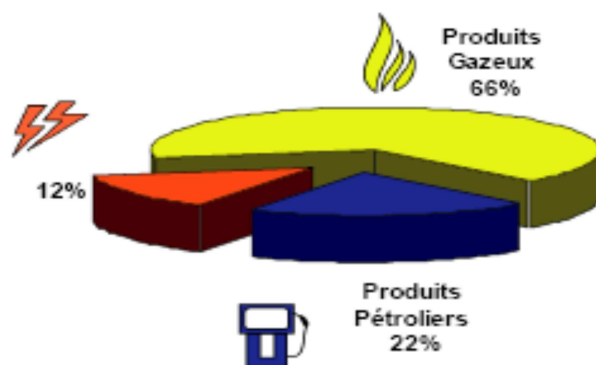


Figure I-2-: Consommation du secteur résidentiel par type d'énergie [11].

La consommation électrique du secteur résidentiel a atteint 770 KTEP. Elle représente 33% de la consommation totale d'électricité. Il a atteint 436 KTEP en produits gazeux soit 70% de la consommation totale des produits gazeux, Il représente, de ce fait, le premier secteur grand consommateur d'énergie électrique au niveau national [11].

I-1-2-3. Importance de secteur du bâtiment dans la réduction de la consommation énergétique totale :

Le secteur du bâtiment, avec plus de 40 % de la demande finale en énergie au niveau national, représente l'un des plus grands potentiels d'efficacité énergétique et de réduction des émissions du gaz à effet de serre. Selon une étude récente du Centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment (CNERIB), la consommation moyenne d'un appartement en Algérie est estimée à 15,2 m³ par m² par an pour le gaz et à 2200kWh par an pour l'électricité (référence : appartement de 66 m² occupé par un couple avec trois enfants à Alger).

Des potentiels importants d'économies d'énergie existent, parfois rentables très rapidement mais, par manque de sensibilisation sur les enjeux, d'information sur les moyens de réaliser ces économies et d'incitations financières, les opérateurs hésitent à passer à l'acte.

Il existe des technologies (isolation, équipements efficaces, énergies renouvelables,...etc.) qui, dans le neuf comme pour la rénovation, permettent d'améliorer significativement les performances énergétiques des bâtiments.

En effet il est tout à fait possible d'obtenir un meilleur confort thermique dans les logements tout en réalisant des économies d'énergie de chauffage et de climatisation, et pour cela il faut appliquer un certain nombre de principes visant à améliorer la qualité thermique de la construction.

I-2.Le confort :

I-2-1.Les besoins de l'occupant :

Le rôle premier d'un bâtiment est de protéger ses occupants des rigueurs du climat extérieur. Un bâtiment confortable assure à ses habitants un climat intérieur agréable et peu dépendant des conditions extérieures, notamment météorologiques et acoustiques. La gestion optimale de l'énergie, quoique très importante du point de vue de son impact sur l'environnement, intervient en deuxième priorité, lorsque les conditions de confort sont satisfaites.

Les exigences actuelles peuvent être classées en plusieurs catégories, qui interagissent entre elles: exigences de confort thermique, exigences de qualité d'air, besoins en éclairage, protection acoustique et exigences en termes de consommation d'énergie.

Il doit être clair que les besoins des occupants passent avant les exigences énergétiques. Le bâtiment est d'abord construit pour assurer le bien-être de l'occupant, et non pour

économiser de l'énergie. Il n'est toutefois pas correct de gaspiller l'énergie, notamment parce que la pollution qui en résulte est nuisible à l'occupant.

Il faut toutefois insister sur le fait qu'un bon confort n'implique pas automatiquement une grande consommation d'énergie. Par une planification intelligente et intégrée, il est parfaitement possible d'assurer une excellente qualité d'environnement intérieur avec une très faible consommation d'énergie.

I-2-2. Le confort thermique :

La définition du bien-être thermique est complexe, et varie d'un individu à l'autre, chaque individu, en fonction de son métabolisme, de sa culture, mais aussi de ressentis visuels, tactiles, auditifs et psychologiques appréciera différemment le même environnement.

L'homme assure le maintien de sa température corporelle autour de 36,7°C, par échanges thermiques vers son environnement extérieur. Pour cela, il dispose d'un ensemble de récepteurs sensoriels cutanés et interne.

Plusieurs actions, en réaction au déséquilibre thermique provoqué, sont alors envisageables, certaines sont conscientes et volontaires, comme par exemple la modification du niveau d'activité, de la vêtue, ou dans la mesure du possible, la modification des conditions climatiques intérieures. D'autres en revanche, sont issues de phénomènes inconscients, que sont la vasomotricité, agissant sur les échanges internes par modification du débit sanguin, la sudation, augmentant les pertes évaporatoires au travers des pores de la peau par une production d'eau, et le frissonnement, qui participe à la production de la chaleur par des réactions musculaires.

I-2-3. Nécessité de l'aération :

Le but de l'aération est d'assurer un environnement intérieur confortable, maintenant les occupants en bonne santé. Un air sans cesse renouvelé à l'intérieur des bâtiments est nécessaire, non pour assurer l'apport d'oxygène indispensable à la vie, mais surtout pour éliminer au fur et à mesure les divers polluants générés dans le bâtiment et qui rendent l'atmosphère malodorante et toxique.

En l'absence d'aération, l'oxygène est la dernière chose qui manque. Les occupants seront incommodés en premier lieu par une concentration trop élevée en polluants divers, dont notamment les odeurs, la vapeur d'eau et la chaleur.

Ces nuisances sont essentiellement générées par l'activité des occupants. Elles sont notamment:

- les odeurs, auxquelles les personnes entrant dans les locaux sont très sensibles,
- la vapeur d'eau, qui augmente l'humidité relative, donc le risque de moisissures,
- le gaz carbonique, qui, en trop grande concentration, rend les occupants léthargiques,
- les poussières, aérosols et gaz toxiques provenant des activités et du bâtiment lui-même,
- la chaleur en excès, provenant des activités humaines, qui augmente la température et doit donc être évacuée.

I-2-4. Le métabolisme :

Le métabolisme caractérise la quantité de chaleur produite par réaction chimique à l'intérieur du corps. Homogène à un flux de chaleur, le métabolisme s'exprime en met , 1met correspondant à l'activité métabolique d'un sujet assis au repos, et valant $58,2\text{W/m}^2$. Le métabolisme est une grandeur toujours positive non nulle, l'activité métabolique minimale vitale étant évaluée à $0,7\text{met}$, mais cette valeur demeure fonction des paramètres physiologiques, notamment le poids, la taille, et le sexe de l'individu.

Une partie du métabolisme est transformée en travail W , pour des activités physiques poussées. Dans la majeure partie des cas, le travail est nul, et dans tous les cas, celui-ci ne dépasse jamais 20 % du métabolisme.

I-2-5. Les mécanismes d'échanges calorifiques :

I-2-5-1. L'évaporation :

Le mécanisme de la transpiration (l'eau, en passant de l'état liquide à l'état gazeux, absorbe les calories), grâce à son évaporation, rafraîchit la surface de la peau.

I-2-5-2. La convection :

La température de l'air est un paramètre très important parce qu'elle participe activement et de façon permanente (dans nos climats du moins) à notre déperdition calorifique du fait de sa part active dans les échanges convectifs. Son impact est d'autant plus grand que les vitesses d'air et courants sont également influant dans cette modalité d'échange.

Les échanges par convection sont régis par l'équation :

$$C = h_c(T_a - T_{sk}) \cdot A_c \cdot F_{cl} \quad (I-1)$$

Où :

C : est le flux convectif global, W,

h_c : Le coefficient d'échange par convection, W /m².K,

T_{sk} : La température moyenne de peau, K,

T_a : La température de l'air, K,

A_c : La surface cutanée exposée (souvent la surface totale, A_d), m²,

A_d : La surface cutanée, calculée à partir du poids P (kg) et de la taille de T (m) selon la formule suivante :

$$A_d = 0,2025 \cdot P^{0,425} \cdot T^{0,725} \quad (I-2)$$

F_{cl} : Le facteur de prise en compte de l'effet lié à l'isolement vestimentaire: si l'isolement est nul, F_{cl} = impliquant 100% des échanges possibles ; si l'isolement est grand F_{cl} tend vers 0 limitant considérablement le flux convectif.

Le coefficient de convection est calculé par :

$$h_c = 3,5 + 5,2 V_{ar} \text{ Pour } V_a \leq 1 \text{ m s}^{-1} \quad (I-3)$$

$$h_c = 8,7 V_{ar}^{0,6} \text{ Pour } V_a > 1 \text{ m s}^{-1} \quad (I-4)$$

Les coefficients de ces relations sont donnés pour h_c exprimé en W.m⁻².K⁻¹ et V en m s⁻¹

Définissons ici le coefficient h_{co} d'échange convectif en air calme ($V_a = 0,05 \text{ m s}^{-1}$) qui vaut :

$$h_{co} = 3,5 + (5,2 * 0,05) = 3,8 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (I-5)$$

La vitesse d'air résultante V_{ar} tient compte de la vitesse de l'air ambiant V_a et des vitesses liées aux déplacements et à l'activité du sujet selon la proposition :

$$V_{ar} = V_a + 0,0052(M - 58) \quad (I-6)$$

Où M est l'activité métabolique (en m^{-2}) avec une limitation de sorte que, si $M > 200$ alors $M = 200 \text{ W}$, afin de limiter le second terme du membre droit de l'équation à 0,7.

I-2-5-3. Le rayonnement :

La température de rayonnement correspond à la température des surfaces avec lesquelles le corps humain échange de la chaleur. Le flux radiatif dépend de la constante de Stefan-Boltzmann, de l'émissivité des corps, des différences des puissances quatrièmes de températures des surfaces et des facteurs de forme.

Dans un souci de simplification et par analogie avec l'échange convectif, on utilise une formule simplifiée linéaire :

$$R = h_r(\bar{T}_r - \bar{T}_{sk}) \cdot A_r \cdot F_{cl} \quad (I-7)$$

Où R : est le flux radiatif échangé par le corps humain.

h_r : Le coefficient d'échange par rayonnement.

$\bar{T}_r$: La température moyenne de rayonnement du milieu environnant.

$\bar{T}_{sk}$: La température moyenne de peau.

A_r : La surface cutanée qui rayonne.

F_{cl} : Le facteur lié à l'isolement vestimentaire.

Pour la formule linéaire
$$h_r = 4 \cdot \sigma \cdot \varepsilon_{sk} \left(\frac{\bar{T}_r + \bar{T}_{sk}}{2} \right)^3 \quad (I-8)$$

Où σ : la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ w.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$) (I-9)

ε_{sk} : L'émissivité cutanée (0,97, sans dimension).

Soit
$$h_r = 0,22 \cdot 10^{-8} \left(\frac{\bar{T}_r + \bar{T}_{sk}}{2} \right)^3 \quad \text{où} \quad h_r = 0,22 \left(\frac{\bar{T}_r + \bar{T}_{sk}}{200} \right)^3 \quad (I-10)$$

Comme la surface A_r est difficile à déterminer, on écrit :

$$A_r = \frac{A_r}{A_d} \cdot A_d \quad (I-11)$$

Où A_r/A_d , est le rapport entre la surface cutanée qui rayonne et la surface corporelle totale, il joue le rôle d'un coefficient de forme qui vaut :

- 0,67 pour le sujet accroupi,
- 0,70 pour le sujet assis,
- 0,77 pour le sujet debout.

Dans l'exemple ci-dessus, le coefficient d'échange radiant que l'on peut appliquer si on considère le flux en fonction de la surface totale (A_d) devient pour l'homme debout

$$h_r = 0,77 * 6 = 4,6 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (\text{I-12})$$

Cette notion est intéressante car elle permet de voir que globalement pour l'Homme le coefficient d'échange radiatif est supérieur au coefficient convectif en air calme.

La température moyenne de rayonnement se déduit des mesures de température de globe noir (T_g), de la température de l'air et de la vitesse d'air selon la formule empirique:

$$\bar{T}_r = \left[(T_g)^4 + 2,5 \cdot 10^8 V_a^{0,6} (T_g + T_a) \right]^{1/4} \quad (\text{I-13})$$

Une formule simplifiée (voir Beshir et Ramsey, 1988) a été proposée pour une approximation de la température moyenne de rayonnement à partir des températures d'air (T_a) et de globe noir (T_g) ainsi que de la vitesse de l'air (V_a) :

$$\bar{T}_r = T_g + 1,8 \sqrt{V_a} (T_g + T_a) \quad (\text{I-14})$$

I-2-5-4. La conduction :

Même si nous échangeons parfois de la chaleur par conduction, seules de petites zones corporelles sont concernées. Quand des parties plus grandes de notre surface sont en contact avec des éléments de mobilier (chaise, fauteuil, canapé, lit) les tissus en contact se mettent rapidement en équilibre et se comportent comme un isolant thermique par rapport à l'ambiance : globalement donc en régime permanent, on néglige donc les températures de surface et les aspects conductifs, en les incluant dans les échanges convectifs.

I-2-6. Les paramètres du confort thermique

I-2-6-1. Les températures :

I-2-6 -1-1. La température de l'air ambiant :

C'est la température de l'air mesurée à l'ombre, comprise généralement entre 19°C en hiver et 26°C en été. L'enveloppe de l'habitat doit être capable de maintenir la température

dans cette fourchette malgré les écarts de la température extérieure, été comme hiver, de jour comme de nuit. Ensuite, il faut assurer une certaine homogénéité dans l'espace : l'air chaud monte et l'air froid descend. Il est peu confortable d'avoir la tête au chaud et les pieds au froid, de passer d'une pièce froide à une pièce chaude.

I-2-6-1-2. La température des parois :

L'impact de la température rayonnante est généralement sous-estimé, voire ignoré. Il est pourtant un des éléments les plus importants dans la sensation du confort, en été comme en hiver. Une paroi froide absorbe le rayonnement chaud du corps (simple vitrage orienté au nord) et produit une sensation du froid, même avec une température ambiante agréable. A contrario, une paroi chaude délivre une sensation de chaleur au corps.

I-2-6-1-3. La température ressentie :

C'est la combinaison air parois. Pour une humidité donnée, en l'absence de courant d'air perceptible, on estime que la température effectivement ressentie est la moyenne entre celle de l'air et celle des parois. A partir d'une différence de 4°C, l'écart entre la température de l'air et celle des parois devient perceptible. Une paroi froide augmente l'inconfort et nécessite une augmentation de la température de l'air pour atteindre une zone du confort.

I-2-6-2. L'humidité :

L'air contient de la vapeur d'eau. Le taux d'humidité (qui varie de 0 à 100%), mesure la quantité d'eau. Plus la température augmente, plus l'air peut contenir de la vapeur d'eau : à 15°C, l'air contient 10g de vapeur d'eau par Kg d'air, alors qu'à 20°C, cette quantité passe à 15g. Si l'humidité est contenue entre 35 et 70%, nous restons dans la zone du confort. Sous 20%, l'air est trop sec et au-delà de 80%, trop humide.

I-2-6-3. La vitesse de l'air :

Autre paramètre très important, la vitesse de l'air. L'air en mouvement accélère les échanges thermiques par convection au niveau de la peau. Si l'air est plus froid que la peau (30 à 33°C), la sensation du froid est d'autant plus importante que la température de l'air ambiant est faible. Pour une vitesse de 3,6km/h (1m/s), la baisse de température ressentie est de 4°C pour une température ambiante de 10°C, mais n'est que de 1°C pour une température ambiante de 30°C. Les mouvements de l'air sont dus souvent aux défauts d'étanchéité des

bâtiments, aux systèmes de ventilation, et à des différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur : vent, combustion par cheminée à bois... La sensation de courant d'air apparaît à partir de 0,15m/s en hiver et de 0,25m/s en été.

I-2-6-4. Les facteurs culturels et psychologiques :

Si des températures de confort ont été définies, elles restent très subjectives. La perception est bien différente en fonction de paramètres personnels : l'âge, le sexe, l'état de santé, l'état psychologique...

A cela, il faut ajouter les aspects socioculturels : pour un américain, la zone de confort se situe entre 20 et 26°C, alors qu'un anglais est plus à l'aise entre 14,5 et 21°C. Un habitant des régions tropicales préfère une température comprise entre 23 et 29,5°C. [12]

Certains dorment la fenêtre ouverte, d'autres fermée. L'environnement est lui-même une source d'influence du ressenti thermique : couleurs chaudes, lumière, vue du feu accentue l'impression de chaleur alors que des couleurs froides, l'ombre, la vue de l'eau renforcent la sensation du froid.

I-3. Rappel des grandeurs physiques fondamentales en thermique :

I-3-1. Notion de température :

La température est une grandeur physique, elle décrit l'état thermique d'un corps. Son unité légale est le kelvin (K). Ce dernier est la 1/273,16 partie de la température thermodynamique du point triple de l'eau. Température en degré Celsius (°C) = température en kelvin – 273,16

I-3-2. Définition de la chaleur :

La chaleur est une forme d'énergie créée par l'agitation moléculaire intense d'un milieu. Cette agitation peut être produite par une combustion, un passage d'un courant électrique, une réaction chimique, la compression d'un gaz, le frottement de deux matériaux, ou enfin l'excitation due à l'effet des micro-ondes sur certaines molécules (eau).

I-3-2-1. Chaleur sensible:

Concerne l'élévation ou la baisse de température d'un corps.

I-3-2-2- Chaleur latente :

Concerne les changements d'état de la matière sans variation de température (chaleur total = chaleur sensible + chaleur latente).

I-3-2-3. Quantité de chaleur :

C'est l'énergie calorifique, elle s'exprime en joule (J) ou en watt heure (Wh)
(1 Wh = $3,6 \times 10^3$ joules, 1j = $0,278 \times 10^{-3}$ Wh).

I-3-2-4. Flux de chaleur :

Quantité de chaleur qui s'écoule pendant l'unité du temps, elle est notée Q et exprimée en w/m^2 , selon la loi de Fourier Q est égale :

$$Q = \lambda \frac{\Delta\theta}{e} \quad (\text{I-15})$$

Ou λ : La conductivité thermique,

$\Delta\theta$: La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur,

e : L'épaisseur de la paroi.

I-3-3. Modes de transfert de chaleur :**I-3-3-1. Conduction:**

La chaleur se transmet sans déplacement de matière, par contact moléculaire entre un ou plusieurs corps qui se touchent. Il suffit de chauffer l'extrémité d'un morceau de métal pour que la chaleur s'y propage.

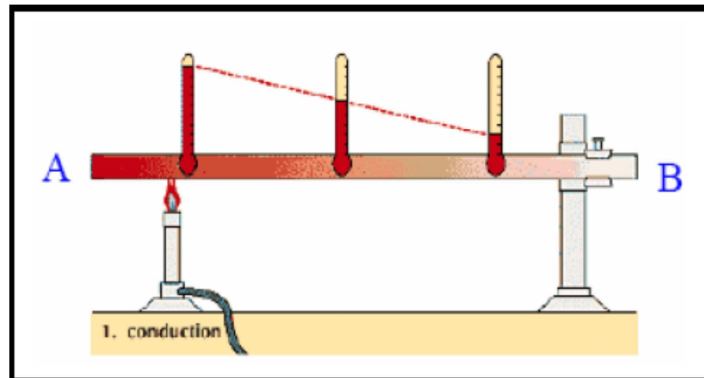


Figure I-3- : Conduction thermique [13].

I-3-3-2. Convection:

Mécanisme propre aux fluides. Au contact d'un corps chaud, le fluide se met en mouvement et se déplace vers le corps froid où il perd son énergie calorifique. Créant ainsi un mouvement de convection qui peut-être naturelle ou forcée.

I-3-3-3. Rayonnement :

Quelle que soit sa température, un corps rayonne de la chaleur vers d'autres corps plus froids.

Tels que l'air ou le vide. Mais un corps qui serait porté à 0 K ne rayonne plus.

I-3-3-4. Evaporation ou condensation :

Ces phénomènes impliquent des changements d'état liquide ou gazeux, et produisent une absorption ou une émission de chaleur.

I-3-4. Transfert de chaleur à travers une paroi opaque :

Les interactions continues des facteurs climatiques sur l'enveloppe des bâtiments impliquent des transferts d'énergie à travers ses parois (murs ou toiture). Ces transferts sont des processus qui se produisent simultanément dans les deux directions. Le rayonnement solaire est absorbé et réfléchi. La chaleur sensible est transférée par conduction et convection à travers la masse du mur. La chaleur latente est absorbée puis relâchée lorsqu'il se produit le phénomène de condensation et l'évaporation de l'eau sur la paroi. Ces modes d'échange sont bien souvent "cumulés".

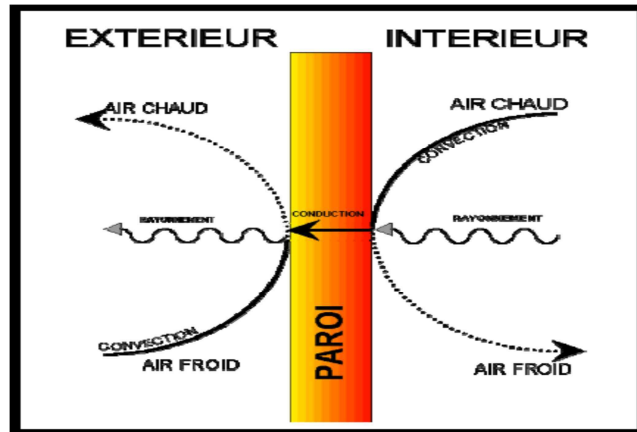


Figure I-4: Transfert de chaleur à travers une paroi opaque [14].

Dans le cas de la conduction, l'inertie s'oppose à l'écoulement du flux de calories qui la traverse de l'extérieur ou de l'intérieur Figure I-4. L'inertie thermique de la paroi est proportionnelle à l'épaisseur et inversement proportionnelle au coefficient de conductibilité du matériau. Ce flux est de coefficient de transmission K , séparant deux ambiances intérieures à la température t_i et extérieure à la température extérieure (t_e) :

$$q = K (t_i - t_e) \quad (I-16)$$

Le flux est aussi exprimé sous forme traduisant les échanges entre l'ambiance intérieure et la surface interne de la paroi :

$$q = h_i (t_i - \theta_i) \quad (I-17)$$

Avec h_i : coefficient de transmission thermique de surface interne.

De (I-16) et (I-17) la température de la surface interne de la paroi s'écrit par :

$$\theta_i = t_i - K / h_i (t_i - t_e) \quad (I-18)$$

Avec: - t_e : température de air extérieur,

- θ_e : température de la face extérieure de la paroi,

- θ_n : température intérieur de la paroi,

- θ_i : température de la face intérieure de la paroi,

- t_i : température de l'air intérieur.

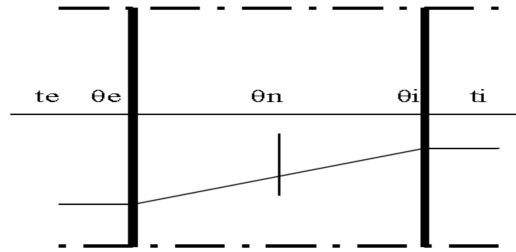


Figure I-5- Transfert de chaleur par conduction à travers la paroi.

Aussi «la paroi est souvent le siège d'un grand nombre d'échanges thermiques et hydriques, échanges couplés et de régimes variés». Les matériaux possèdent des propriétés hygroscopiques (perméabilité à la vapeur d'eau) qui interviennent sur le comportement thermique et hydrique du bâtiment. «Les matériaux naturels ont des propriétés hygroscopiques que n'ont pas les matériaux modernes (synthétique et minéraux)».

Les facteurs favorables à la transmission sont l'humidité des matériaux, de l'air, mouvement libre de l'air et renouvellement de l'air nécessaire à la salubrité. Tandis que les facteurs défavorables à la transmission sont la matière compacte (masse volumique élevée), la porosité des matériaux, l'air prisonnier en cellules réduites, le changement de matériaux dans la paroi et l'épaisseur croissante des parois.

La température résultante T_r est liée également à la teneur en humidité de l'air.

$$T_r = \frac{T(\text{air}) + T(\text{moyenne des parois})}{2} \quad (\text{I-19})$$

I-4. Les paramètres influents sur l'efficacité énergétique :

I-4-1. Inertie thermique

I-4-1-1. Définition :

L'inertie thermique (ou la masse thermique) est le potentiel de stockage thermique d'un local ou d'une maison. C'est la capacité d'un bâtiment à emmagasiner de la chaleur (ou de la fraîcheur).

La propriété des constructions à forte inertie est de conserver une température stable et de se réchauffer ou se refroidir très lentement, alors que les constructions à faible inertie suivent sans amortissement ni retard les fluctuations de la température.

Cette inertie peut être une inertie de transmission (à travers les parois soumises à l'exposition solaire) ou une inertie d'absorption (capacité à stocker la chaleur du local dans les parois internes ou périphériques).

I-4-1-2. Les enjeux :

Les enjeux de l'inertie thermique sont de deux ordres :

- L'un étant de l'ordre de la sensation : l'amélioration du confort thermique.
- L'autre étant d'ordre économique : la réduction des consommations.

Il est à noter que les deux ont un impact immédiat sur l'environnement, puisque réduire les consommations implique nécessairement une diminution de la facture énergétique.

En effet, l'enjeu principal consiste à limiter l'inconfort dû aux fortes variations de températures dans les bâtiments en été, avec pour corollaire la possibilité de se passer de climatisation (ou au mieux de diminuer sa puissance lorsqu'elle demeure tout de même nécessaire). La chaleur devra alors être évacuée en profitant de la chaleur relative de l'air durant la nuit.

En hiver, il consiste à réduire les consommations de chauffage grâce au stockage des apports solaires gratuits transmis par les vitrages en hiver. La chaleur sera alors restituée afin de réchauffer les locaux.

Cet effet permettra d'améliorer le confort et de réduire les consommations tant en hiver qu'en été.

I-4-1-3. Les paramètres de l'inertie, ou facteurs influents :**✓ Les matériaux :**

L'inertie thermique est liée à des matériaux et à la manière dont ils constituent un bâtiment. Les principales notions physiques des matériaux, regroupées derrière le terme d'inertie thermique, participent au bon rendement, à la bonne utilisation et au confort de la machine thermique qu'est aussi l'habitat.

✓ La conductivité thermique : λ (Lambda) :

La conductivité thermique est le flux de chaleur, par mètre carré, traversant un matériau d'un mètre d'épaisseur pour une différence de température de un degré entre les deux faces. Elle s'exprime en W/m. °C. C'est une donnée intrinsèque à chaque matériau, qui caractérise donc uniquement ses performances isolantes.

✓ La Capacité thermique :

La capacité thermique d'un matériau est le produit de sa masse volumique par sa chaleur spécifique, cette dernière étant la quantité de chaleur nécessaire pour élever la

température de l'unité de masse de 1°C en Wh/kg. °C. La capacité thermique est donc la quantité de chaleur mise en réserve lorsque sa température augmente de 1°C. Elle s'exprime en Wh/m³. °C.

Plus la capacité thermique est élevée plus la quantité d'énergie que peut stocker le matériau pour que sa température s'élève d'un degré est grande. Les variations de températures des parois et de l'air seront d'autant plus faibles que la capacité thermique des matériaux sera plus forte. D'une manière générale, les matériaux à forte capacité thermique sont aussi les plus lourds.

✓ La diffusivité thermique :

La diffusivité thermique caractérise la vitesse à laquelle la chaleur se propage, par conduction, dans un corps. Plus elle est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau, et donc, plus le temps entre le moment où la chaleur est arrivée sur une face d'un mur et le moment où elle atteindra l'autre face est importante.

La diffusivité est le rapport de la conductivité d'un corps à sa capacité thermique

$$d = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (\text{I-20})$$

d : diffusivité en m²/h,

λ: conductivité thermique en W/m.°C,

ρ : masse volumique en kg/m³,

c : chaleur spécifique en Wh/kg. °C.

✓ La vitesse de l'onde :

Lorsque le rayonnement solaire frappe la face extérieure d'une paroi, il faut un certain temps pour que l'onde de chaleur atteigne l'autre face de la paroi. Ce temps s'appelle le déphasage, exprimé en heure.

Pour caractériser un matériau, il est plus parlant de parler de vitesse de l'onde de chaleur à travers la paroi. Cette vitesse, en cm/h, peut être exprimée de façon approchée par la relation suivante :

$$v = \frac{72,5}{\sqrt{\frac{1}{d}}} \quad (21)$$

✓ L'effusivité thermique :

L'effusivité caractérise la capacité des matériaux à réagir plus ou moins rapidement à un apport de chaleur intérieur au logement, que cet apport soit le fait d'une source interne ou du rayonnement solaire.

Plus l'effusivité est grande, plus la chaleur interne à la pièce sera absorbée rapidement par le mur, et donc, plus l'élévation de température dans le local sera limitée. On privilégiera les matériaux ayant une grande effusivité. Elle est donnée par la formule suivante et s'exprime en $W.h^{0,5}/m^2.°C$:

$$Ef = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (22)$$

Cette capacité ne signifie pas que la température du mur s'élève rapidement, puisqu'une grande effusivité implique une valeur élevée de la capacité thermique, ce qui garantit de faibles variations de température de paroi et une grosse quantité d'énergie stockée.

I-4-1-3-2. Autres facteurs :**I-4-1-3-2-1. La surface d'échange :**

L'inertie d'une paroi dépend aussi de la surface d'échange. Un mur de refend intérieur a deux fois plus de surface d'échange utile qu'une paroi en contact avec l'extérieur. Les volumes compacts présentent une petite surface d'échange. Une bonne inertie thermique associe donc une grande surface d'échange.

I-4-1-3-2-2. La ventilation nocturne :

En été, afin de "décharger" le bâtiment de la chaleur qu'il a emmagasinée durant la journée, il est indispensable de ventiler le local durant la nuit, quand l'air extérieur devient moins chaud que l'air intérieur. En effet, dans le cas contraire, le bâtiment ne se décharge pas et monte constamment en température, ce qui entraîne bien évidemment une très nette et très rapide sensation d'inconfort. De plus, un courant d'air contribue à la sensation de confort par élimination de la sueur. La réduction de cette ventilation à son minimum durant la journée permettra de conserver cette fraîcheur. Il faut donc réduire au minimum les entrées d'air chaud durant la journée et favoriser un renouvellement d'air important en période nocturne.

I-4-1-3-2-3. Le comportement des usagers :

Mettre un bâtiment à forte inertie entre les mains des hommes implique nécessairement une obligation pour eux d'apprendre à s'en servir. Non pas que cela soit contraignant, mais il faut simplement changer les habitudes : ne pas ventiler la journée en été, et ventiler la nuit, si possible de manière naturelle. Il est nécessaire d'adapter l'inertie du bâtiment à l'usage.

I-4-1-3-2-4. Le chauffage :

L'inertie freine les évolutions de la température des locaux. L'hiver, elle contribue donc à la stabilité de l'ambiance, ce qui est généralement souhaité.

Dans les locaux à occupation discontinue, l'inertie oblige à anticiper sur les horaires de mise en route et d'arrêt du chauffage. Sous réserve d'une programmation de qualité, ceci n'est pas une source de surconsommation notable. Il est à noter que le système de chauffage doit toujours être moins inerte que le bâtiment.

I-4-1-3-2-5. Les protections solaires :

La réduction des apports solaires est une priorité quel que soit l'inertie du bâtiment considéré. Pour les locaux à occupation permanente ou diurne, les inerties fortes sont d'autant plus nécessaires que les protections solaires sont incomplètes.

I-4-1-3-2-6. Le climat :

En été surtout, le climat joue un rôle important, par la différence de température entre le jour et la nuit. Il faut que l'inertie soit suffisante pour décharger le bâtiment, sinon le logement montera en température rapidement.

I-4-1-4. Les moyens de l'inertie :

L'inertie peut être apportée principalement par :

- Les murs porteurs intérieurs.
- Les murs extérieurs.
- Les plafonds et les planchers.

Seules les parties de ces maçonneries comprises entre l'intérieur du local et l'isolation interviendront dans l'inertie. Le rôle des cloisons intérieures, si elles ont une certaine masse (briques, carreaux de plâtre...), n'est pas à négliger.

I-4-1-5. Rôle de l'inertie :

L'inertie thermique joue un rôle d'amortisseur sur les variations de température et contribue à la stabilité de celles-ci. Elle permet aussi de stocker la chaleur du soleil durant la journée en hiver et la fraîcheur en été.

L'inertie forte devra être d'autant plus importante que :

- La surface vitrée est importante.
- Les possibilités de ventilation réduites.
- Les protections solaires peu efficaces.

I-4-2. Isolation :

Elle vise à conserver la chaleur à l'intérieur des espaces de vie : l'hiver, elle empêche la chaleur de s'évacuer des logements chauffés ; l'été, elle l'empêche de pénétrer à l'intérieur. Une bonne isolation augmente donc le confort, hiver comme été, et permet de faire des économies importantes de chauffage et de climatisation. Toutes les surfaces en contact avec l'extérieur, ou avec des pièces non chauffées, sont le siège de déperditions. Ces surfaces doivent systématiquement être isolées, l'isolation doit être réalisée en priorité au niveau des zones où les déperditions sont les plus importantes. La chaleur s'évacue par le chemin le plus Facile :

- 25 à 30% par les toits,
- 25 à 35 % par les murs extérieurs (surtout les moins bien isolés),
- 15 à 20 % de la chaleur s'échappe par les fenêtres.

I-4-2-1. Isolation des murs :**➤ Par extérieur :****• Avantage :**

- Continuité de l'isolant : élimine les risques de ponts thermiques des locaux.
- Amélioration de l'étanchéité de la façade.
- Protège le mur du gel et de la fissuration.
- Améliore l'aspect extérieur en cas de revêtement abîmé ou pas assez homogène.
- Masse thermique et finitions intérieures préservées.
- Pas de perte de surface habitable à l'intérieur.

• Inconvénients :

- Modification de l'aspect extérieur.
- Retours de baies doivent être isolés, seuils remplacés, etc. (diminution de la surface

vitree).

- Déplacement/remplacement/adaptation des descentes d'eau, gouttières, chéneaux, etc.
- Nécessité de faire appel à une entreprise spécialisée (coût élevé).

➤ Isolation par l'intérieur :

- **Avantage :**

- Aspect extérieur maintenu.
- Réalisation sans échafaudages.
- Grande diversité de choix au niveau des isolants.
- Chantier à l'abri des intempéries.
- Réalisation possible pièce par pièce : phasage du chantier et des dépenses.
- Coût moindre.

- **Inconvénients :**

- Diminution de la surface habitable.
- Finitions intérieures (et éventuellement installations électriques ou de chauffage) à déplacer ou remplacer.
- Augmentation des sollicitations hygrothermiques dans le mur : risque de condensation interne, de gel, de dilatations de la maçonnerie et d'efflorescences de sels.
- Ponts thermiques difficiles à résoudre : risque de condensation superficielle et de formation de moisissures.
- Diminution de l'inertie thermique : risque de surchauffe.

Le tableau suivant donne les différents matériaux d'isolation existants sur le marché et leurs caractéristiques physiques :

Tableau I-3 : Caractéristiques de quelque isolant

► Isolants

Densité	Épaisseur	Masse par m ²	Isolation	Inertie				Humidité			Isolation	Inertie	Humidité	
ρ	d	m	λ	C	ρC	Diffusivité	Effusivité	μ sec	μ hum.	A	U	dpC	μ d sec	μ d hum.
kg/m ³	m	kg/m ²	W/mK	J/kgK	kJ/m ² K	10 ⁻⁷ m ² /s	J/m ² Ks ^{1/2}	/	/	kg/m ² s ^{1/2}	W/m ² K	kJ/m ² K	m	m

ISOLANTS A BASE MINÉRALE

Panneau de laine de roche	100	0,12	12	0,035	1030	103,00	0,34	60,04	2	1	[0]	0,292	12,36	0,24	0,12
Panneau de laine de verre	50	0,12	6	0,035	1030	51,50	0,68	42,46	2	1	[0]	0,292	6,18	0,24	0,12
Panneau de verre cellulaire	110	0,14	15,4	0,040	1000	110,00	0,36	66,33	[∞]	[∞]	[0]	0,286	15,40	[∞]	[∞]
Panneau de silicate de calcium	270	0,25	67,5	0,070	1000	270,00	0,26	137,48	3	1	1,2	0,280	67,50	0,75	0,25

ISOLANTS A BASE SYNTHÉTIQUE

Panneau de polystyrène expansé	25	0,12	3	0,035	1450	36,25	0,97	35,62	100	40	[0]	0,292	4,35	12,00	4,80
Panneau de polystyrène extrudé	38	0,11	4,18	0,032	1450	55,10	0,58	41,99	200	80	[0]	0,291	6,06	22,00	8,80
Panneau de polyuréthane	30	0,08	2,4	0,023	1400	42,00	0,55	31,08	100	30	[0]	0,288	3,36	8,00	2,40

ISOLANTS A BASE DE FIBRES NATURELLES

Cellulose en vrac	40	0,14	5,6	0,041	2150	86,00	0,48	59,38	2	1	0,3	0,293	12,04	0,28	0,14
Matelas souple de cellulose	50	0,14	7	0,040	2150	107,50	0,37	65,57	2	1	0,3	0,286	15,05	0,28	0,14
Matelas souple de fibres de bois	75	0,13	9,75	0,038	2100	157,50	0,24	77,36	5	3		0,292	20,48	0,65	0,39
Panneau rigide de fibres de bois	160	0,14	22,4	0,040	2100	336,00	0,12	115,93	5	3	0,007	0,286	47,04	0,70	0,42
Panneau de liège	120	0,14	16,8	0,040	1600	192,00	0,21	87,64	30	5	[0]	0,286	26,88	4,20	0,70
Panneau semi-rigide de fibres de chanvre	30	0,14	4,2	0,040	1600	48,00	0,83	43,82	2	1		0,286	6,72	0,28	0,14
Mélange chaux-chanvre	440	0,38	167,2	0,110	1560	686,40	0,16	274,78	5	3	0,07	0,289	260,83	1,90	1,14

► Les ponts thermiques :

Un pont thermique est constitué par toute discontinuité dans la couche isolante, par tout endroit où la résistance thermique présente une faiblesse. Au voisinage d'un pont thermique, les lignes de flux se resserrent: plus de chaleur passe par unité de surface. Les isothermes se déforment en s'écartant les unes des autres. Les lignes de flux restent néanmoins perpendiculaires aux isothermes. Ces ponts ne causent pas seulement des pertes de chaleur inutiles, mais peuvent être sources de dégâts: moisissures, taches de poussière.

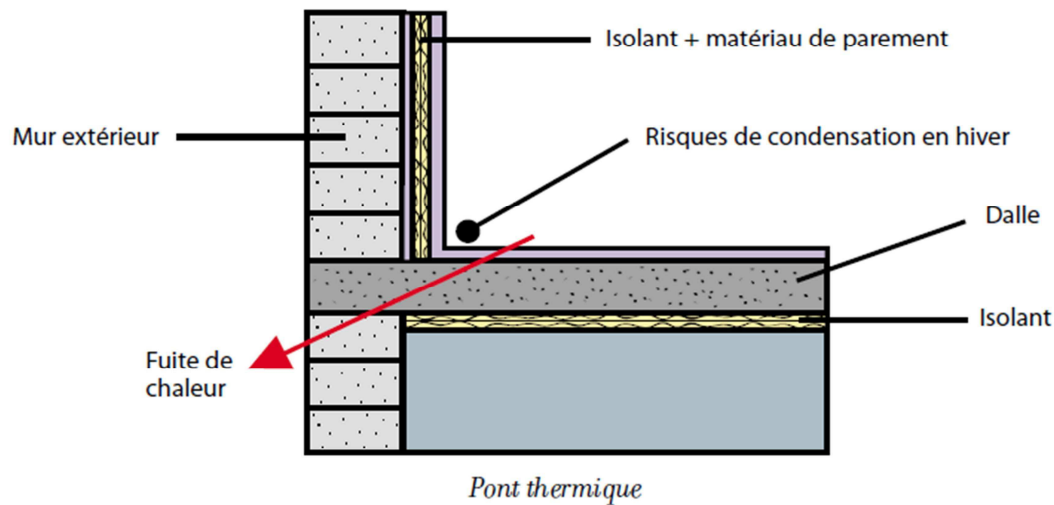


Figure I-6:-Isolation d'un pont thermique [15].

En dehors du pourtour des ouvertures, les principaux ponts thermiques se situent comme le montre la figure (I-7) au niveau des liaisons entre :

- les murs et les planchers hauts, intermédiaires et bas (repères 1, 2 et 3),
- les refends et les planchers bas et hauts (repères 4, 6 et 7),
- les refends et les murs (repère 5).

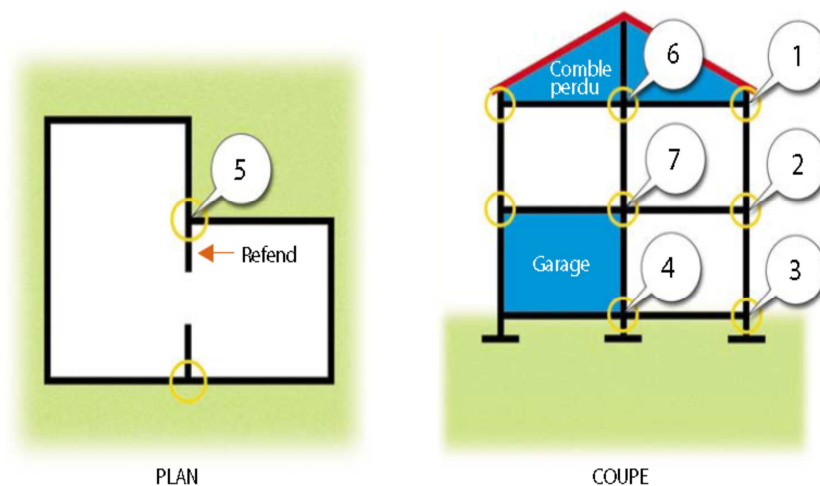


Figure I-7- : Localisation des différents ponts thermiques [15].

I-4-2-2. Isolation de la toiture :

Une simple couche de laine de verre, de roche ou de polystyrène de 12 cm bien jointoyée réduit généralement de 30 % la consommation énergétique en hiver[15]. C'est une opération peu coûteuse et pourtant négligée.

I-4-2-3. Fenêtres et portes :

Il faut privilégier les doubles vitrages qui emprisonnent une couche d'air entre les vitres. Il y a les vitrages dits TBE (Très Basse Emissivité), ces vitrages laissent passer dans l'habitation plus d'énergie solaire qu'il n'en sort. Ce différentiel se solde par une réduction des besoins en chauffage en période hivernal. La pose de ces fenêtres est importante surtout dans l'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment.

I-4-3. Energie solaire :

L'énergie solaire arrivant sur notre planète représente une source extraordinaire : la terre reçoit plus de 10 000 fois la puissance énergétique totale installée par l'homme aujourd'hui.

Les principaux avantages apportés par l'énergie solaire sont sa disponibilité. Dans une habitation bioclimatique, cette énergie apporte à ces occupants de la lumière et de la chaleur. Il y a deux façons d'utiliser l'énergie solaire :

I-4-3-1. Energie solaire passive :

Pour profiter des apports solaires de façon passive, la maison doit être orientée au sud car le soleil y est disponible toute l'année. Cette façade doit donc s'ouvrir à l'extérieur par de larges surfaces vitrées. En hiver la maison bénéficie des apports solaires ce qui diminue les besoins en chauffages. En été Le rayonnement s'accompagne de chaleur qui peut devenir gênant en raison des phénomènes de surchauffe, des masques et des protections solaires sont alors indispensables. Ces derniers augmentent le pouvoir isolant des fenêtres et contrôlent l'éblouissement. Ils peuvent être fixes comme les auvents ou amovibles comme les stores parisiennes. Un auvent orienté au sud laissant passer les rayons du soleil en hiver et les bloquant en été est très utile pour éviter les surchauffes. Pour profiter au maximum des apports solaires passifs, la maison doit remplir les fonctions suivantes : capter, stocker, distribuer et réguler la chaleur.

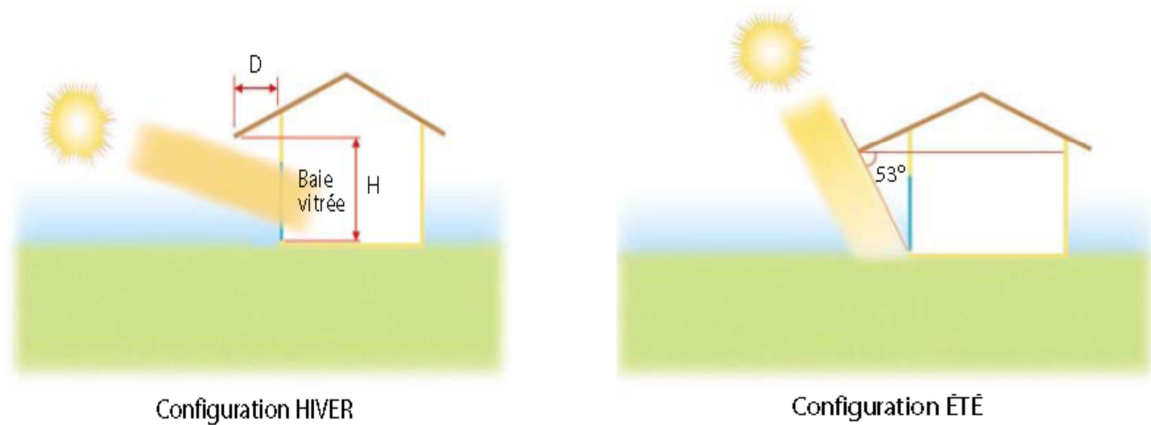


Figure I-8- : Energie solaire passive en hiver et l'été [16].

I-4-3-2. Energie solaire active :

Elle est obtenue par la conversion des rayonnements solaires en chaleur ou en électricité grâce à des capteurs thermiques ou des modules photovoltaïque. Elle est une technique éprouvée et performante tant du point de vue économique qu'environnemental et largement diffusée à travers le monde. Non polluante et inépuisable à l'échelle humaine, l'énergie solaire permet de respecter l'environnement et de préserver la santé. Elle permet de préserver les ressources énergétiques, sans produire de déchets ni d'émissions polluantes, notamment du gaz carbonique. Au-delà des enjeux environnementaux et de l'impact sur la production du gaz à effet de serre, elle contribue à économiser une part non négligeable de la facture énergétique d'un bâtiment ou d'une habitation, qui peut être réduite dans une grande proportion grâce à l'utilisation de l'énergie solaire.

I-4-3-2-1. Le solaire thermique :

Les systèmes solaires thermiques convertissent le rayonnement solaire en chaleur, ils sont composés d'un ensemble de capteurs, d'un système de régulation et d'un ballon de stockage. Les panneaux fonctionnent comme une serre. Un fluide caloporteur s'échauffe dans le capteur et restitue la chaleur emmagasinée à un système de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire.

➤ Le système solaire combiné

Ce système assure le chauffage et la production d'eau chaude à partir de l'énergie solaire. Deux solutions techniques la restituent :

- le plancher solaire direct (PSD),
- le système solaire combiné.

✓ Le plancher solaire direct (PSD) :

Le circuit de chauffage s'apparente à un serpentín incorporé à la dalle de béton. L'eau glycolée circule dans le capteur puis restitue la chaleur via le plancher chauffant. Le système d'appoint est séparé et assure la fourniture du reste de la demande énergétique. En été ou lorsque la période de chauffage est terminée, le PSD produit de l'ECS.

✓ Le système solaire combiné :

L'énergie collectée au niveau des capteurs est stockée directement dans le ballon puis restituée selon les besoins vers les circuits de chauffage ou de production d'eau chaude, la priorité tant définie par une régulation. Le système d'appoint est ici directement intégré au système et une régulation pilote l'ensemble du système de chauffage et de production d'ECS en privilégiant l'apport solaire.

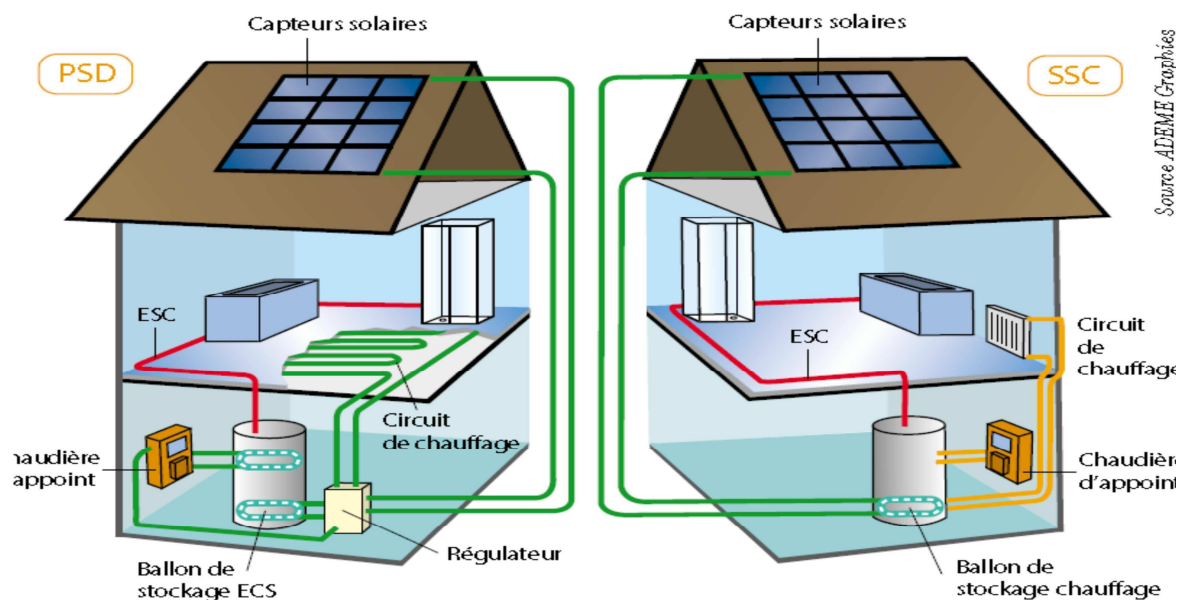


Figure I-9- : Les deux types des systèmes solaires combinés [15].

Conclusion :

Dans cette partie de multiples conclusions ont été tirées. En effet les conditions qui caractérisent un environnement considéré confortable ne sont pas définissables à l'absolu, vu que les paramètres culturels, historiques, sociaux, etc. influent énormément sur la notion du bien être.

D'après l'analyse bioclimatique, l'isolation et l'inertie thermique de l'enveloppe sont des recommandations nécessaires pour la conception architecturale.

II.1. Description générale :

La maison qui fait l'objet de cette étude possède une surface habitable de 90 m², elle est implantée dans la région d'Alger, plus précisément dans le village de Souidania (figure II-1). Cette région fait partie de la zone climatique A (Latitude 36.70N, Longitude 03.20E) qui est caractérisée par un hiver frais et un été chaud et humide.



Figure II-1 : La maison prototype situé au CNERIB (à Souidania).

La maison contient deux chambres, la chambre 1 est positionnée vers le côté sud-ouest et la chambre 2 est vers le côté nord-ouest. La salle de séjour a une grande fenêtre orientée vers le sud pour bien profiter de l'éclairage naturel en laissant pénétrer le maximum de lumière et une porte-fenêtre orientée vers l'est, la cuisine est du côté est, et enfin la salle de bain et les toilettes qui sont dirigées vers le nord (voir figure II- 2).

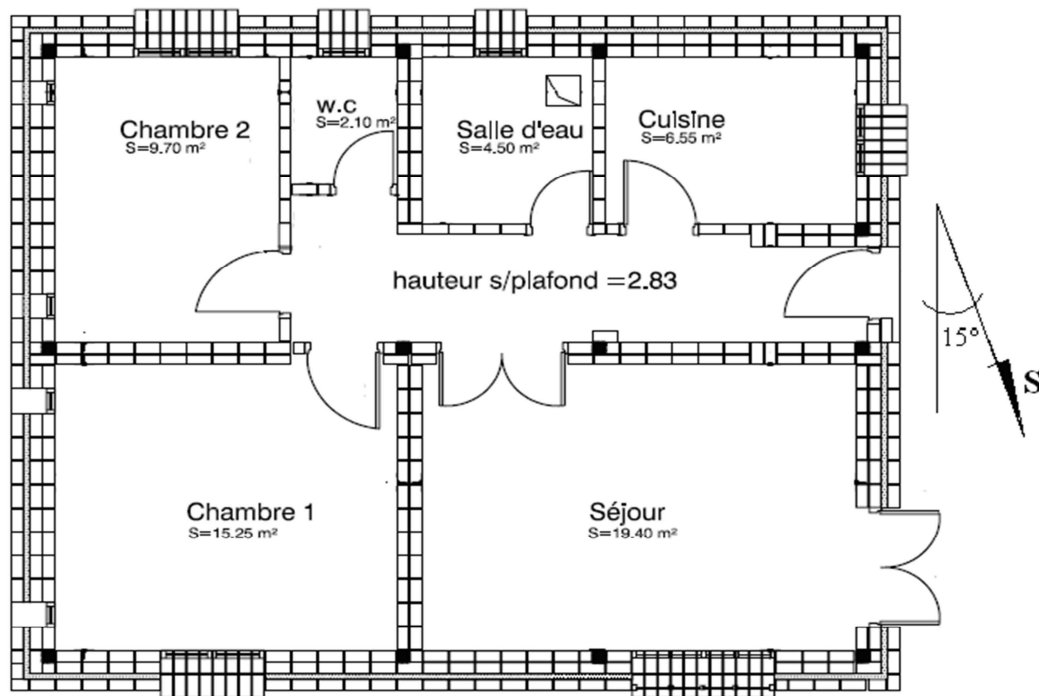


Figure II-2 : Plan de masse de la maison prototype.

Cette maison se distingue par l'optimisation de certains paramètres de construction dans le but de minimiser la consommation énergétique (Chauffage, climatisation et éclairage). Pour ce faire, des principes ont été appliqués pour que celle-ci soit la plus économe possible en énergie :

- Minimiser les pertes de chaleur vers l'extérieur (par transmission et par renouvellement d'air),
- maximiser l'exploitation des apports gratuits d'énergie (apport interne, apport par des parois vitrées...etc),
- n'utiliser le chauffage d'appoint qu'au moment où les autres sources de chaleur ne suffisent plus,
- utilisation des lampes à basse consommation au lieu des lampes à incandescence halogènes qui consomment plus d'énergie.

Pour ce faire, certains éléments de construction ont été conçus de manière différente pour répondre à ce but. Ainsi, cette maison se distingue donc des autres maisons par :

- Son isolation thermique,
- l'optimisation de l'utilisation de l'énergie solaire d'une façon active et passive,

- la présence d'une importante masse thermique,
- l'utilisation de la ventilation naturelle,
- l'utilisation des lampes à basse consommation.

II.2. Isolation thermique de l'enveloppe :

L'enveloppe extérieure doit limiter les pertes de chaleur en hiver et protéger des radiations solaires en été. Cette propriété d'atténuation dépend des caractéristiques de transmission thermique des parois par conduction, convection et radiation.

Pour minimiser les déperditions thermiques vers l'extérieur, il est important de réduire au maximum la conductance thermique des murs par une bonne isolation thermique. L'isolation thermique du logement prototype répond bien à la réglementation thermique algérienne décrite dans les Documents Techniques Réglementaires DTR C3-2 "Réglementation thermique des bâtiments d'habitation : Règles de calcul des déperditions calorifiques : Fascicule 1" et DTR C3-4 "Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments : Climatisation : Fascicule 2". Les caractéristiques des parois pour les différentes parties de la maison (murs, plancher haut et plancher bas) sont présentées dans le tableau 1.

II.2.1. Composition des parois :

II.2.1.1. Mur extérieur :

Les murs en contact avec l'extérieur sont réalisés d'une manière à limiter les déperditions thermiques. Ils sont construits en couche de 43 cm de Briques de Terre Stabilisée (BTS) et isolés par l'extérieur avec une couche de 9 cm de polystyrène expansé (voir la figure II- 3).

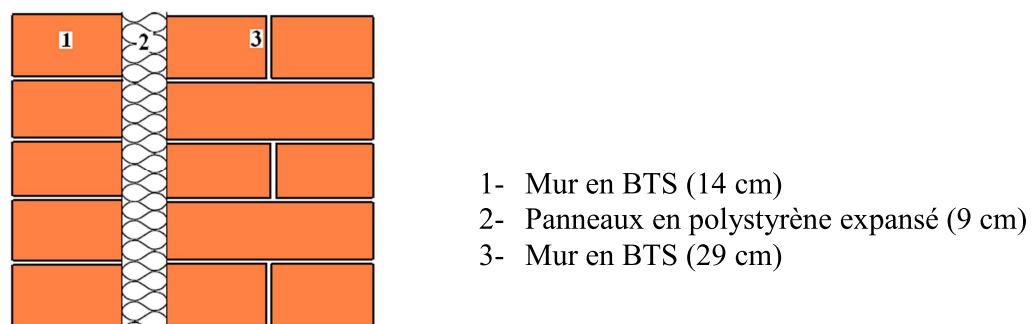
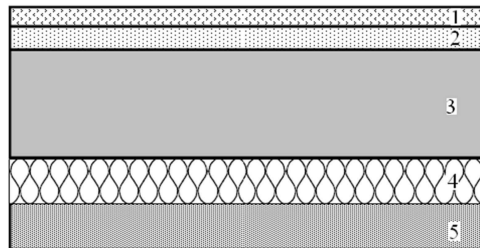


Figure II-3 : Mur extérieur.

I.2.1.2. Plancher bas sur terre-plein :

Placer un isolant en polystyrène expansé de 6 cm sous le plancher est absolument nécessaire pour réduire les déperditions de chaleur, sachant que 10 % des pertes de chaleur d'une maison sont par le plancher. La composition du plancher bas est présentée dans le schéma ci-dessous.

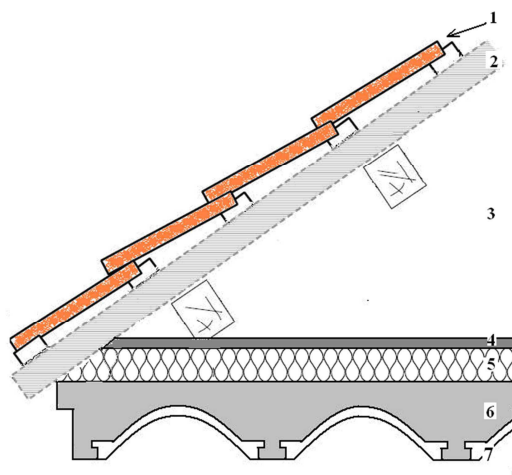


- 1- Carrelage (2 cm)
- 2- Sable + mortier (3 cm)
- 3- Couche de béton (15 cm)
- 4- Polystyrène expansé (6 cm)
- 5- Dalle de compression (6 cm)

Figure II-4 : Plancher bas sur terre-plein.

II.2.1.3. Plancher haut :

L'isolation thermique de la toiture réduit de manière importante les échanges de chaleur entre la maison, qui doit être maintenue à environ 21°C en hiver et l'extérieur où la température peut descendre au dessous de 0 °C. Le plancher haut est isolé sur toute sa surface de façon à minimiser les pertes de chaleur et augmenter la température du plafond des pièces. La figure (II- 5) présente les différentes couches qui constituent la toiture.



- 1- Tuile en terre cuite
- 2- Chevrons
- 3- Comble
- 4- Couche de mortier (3 cm)
- 5- Polystyrène expansé (16 cm)
- 6- Dalle de compression (8 cm)
- 7- Voûtain en plâtre (4 cm)

Figure II-5 : Toiture.

II.2.1.4. Résistance thermique des parois :

Les caractéristiques thermiques et les matériaux qui composent les éléments de la maison sont donnés dans le tableau II-1.

Tableau II-1 : Caractéristiques thermiques des différentes parois de la maison.

	Composition	Epaisseur (cm)	λ (W/m.K ⁻¹)	R = e/ λ (m ² .K/W)	R _g (m ² .K/W)	U (W/m ² .K)
Mur extérieur	BTS	0,14	1,3	0,11	2,75	0,36
	Polystyrène	0,09	0,040	2,25		
	BTS	0,29	1,3	0,22		
Plancher Bas	Béton lourd	0,05	1,75	0,03	1,82	0,54
	Polystyrène expansé	0,06	0,040	1,50		
	Béton lourd	0,15	1,75	0,09		
	Mortier + sable	0,03	1,15	0,03		
	Carrelage	0,02	1,7	0,01		
Plancher haut	Couche de mortier	0,03	1,60	0,02	4,36	0,23
	Polystyrène expansé	0,16	0,040	4,00		
	Béton lourd	0,08	1,75	0,05		
	Voûtain en plâtre	0,04	0,35	0,11		

II.3. Chauffage solaire passif :

La maison est conçue dans le but de maximiser l'apport des gains solaires dans le bilan énergétique de la maison. Ceci est atteint par l'emplacement des deux fenêtres orientées sud (1,7 m × 1,4 m et 1,2 m × 1,4 m), la première dans le séjour et la deuxième dans la chambre 1, soit une surface vitrée de 4,06 m² (voir figure II 6-a).

Par contre, le côté ouest ne contient pas de fenêtres (voir figure II 6-b), et les autres fenêtres du côté nord et du côté est présentent de faibles superficies de vitrage (voir figures II-6-c et II-6-d). Ces faibles superficies ont d'abord pour but de diminuer les déperditions thermiques. Car, bien que les fenêtres sur les façades nord et est soient très performantes, il n'en demeure pas moins que leur résistance thermique est beaucoup plus faible que celle des murs. De plus, des fenêtres à l'est et à l'ouest permettent la pénétration des rayons du soleil lors du lever et du coucher du soleil en été, conduisant ainsi à des surchauffes désagréables et inconfortables. Concernant l'orientation sud, le soleil est bas en hiver, période de l'année où l'on souhaite maximiser les gains solaires alors qu'en été, celui-ci est plus haut dans le ciel. La fraction du rayonnement traversant une paroi verticale est donc moindre en été.



Figure II-6 : Différentes façades de la maison prototype**II.4. Occultation nocturne :**

L'utilisation d'une isolation mobile durant la nuit devant les fenêtres améliore les performances des fenêtres et augmente le confort de la maison.

L'occultation nocturne a un impact important sur l'efficacité énergétique des ouvertures, car elle limite les échanges de chaleur qui se produisent à travers les fenêtres pendant la nuit. La maison prototype possède une occultation nocturne appropriée sous forme des volets en bois.

II.5 Masse thermique :

L'utilisation d'une masse thermique importante a pour but de répartir dans le temps l'apport des différents gains énergétiques afin de diminuer les surchauffes. Cette masse thermique permet aussi de redistribuer la chaleur qu'elle contient lorsque les autres formes de gains sont moins importantes. La principale composante de cette masse thermique est constituée d'un mur en BTS (Brique de Terre Stabilisée), ce mur, qualifié de mur thermique est directement exposé aux rayons solaires durant une bonne partie des journées d'hiver. Il accumule alors la chaleur du soleil pendant le jour pour la redistribuer le soir après le coucher du soleil.

II.6. Ventilation naturelle :

La ventilation a un double objectif : le premier est de veiller à ce que l'air intérieur soit de bonne qualité, en maintenant les polluants qu'il contient à des concentrations sans effet ou d'effet limité sur la santé. Ceci est impératif pour le bien-être des occupants, mais aussi pour éviter toute dégradation du bâti, pouvant être causée par exemple par un excès d'humidité.

Le second objectif de la ventilation des locaux est d'y maintenir des conditions de confort thermique acceptables pour les occupants, essentiellement en saison chaude, grâce à un apport d'air neuf qui rafraîchit directement les occupants, par échanges convectifs.

Cependant, la ventilation constitue une charge de chauffage puisqu'il faut absolument chauffer l'air frais que l'on fait entrer dans la maison. Le système de ventilation dont est munie cette maison a l'avantage d'être naturel. Ce type de ventilation permet de limiter les déperditions par renouvellement d'air et de diminuer ainsi la dépense énergétique sur le poste de chauffage.

II.7. Plancher solaire direct :

Le système (PSD) est composé de capteurs solaires, du plancher chauffant, d'un ballon d'eau chaude solaire et d'un liquide caloporteur.

Ce fluide est réchauffé dans les capteurs solaires par le rayonnement du soleil puis circule directement dans les tuyaux du plancher. C'est donc lui qui permet de véhiculer la chaleur du soleil jusque dans la maison. Grâce à une forte inertie de la dalle, le fluide peut stocker et restituer plus tard la chaleur produite. La température du fluide caloporteur ne doit pas dépasser la valeur de cinquante degrés Celsius. Ce système doit être de préférence utilisé avec un système de régulation qui permet de limiter la température émise dans le plancher.

Le principe de fonctionnement en détail du plancher solaire directe (PSD) est schématisé dans la figure suivante.

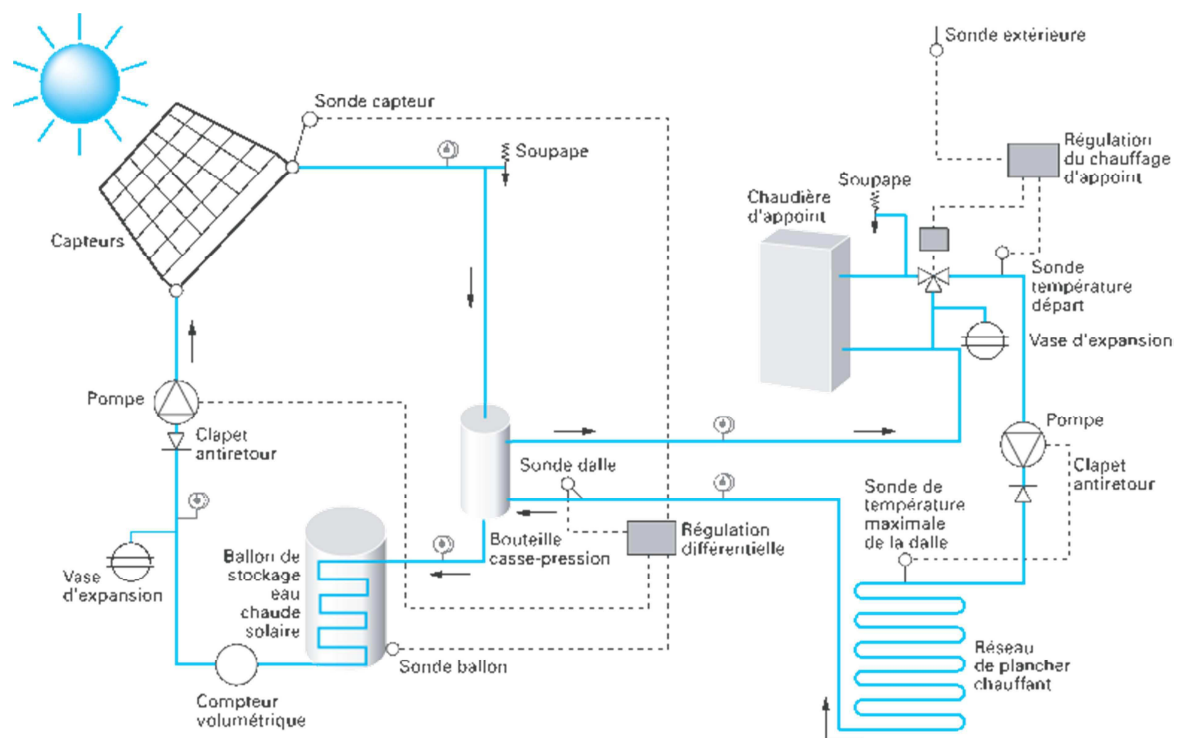


Figure II-7 : Schéma détaillé du fonctionnement du plancher solaire direct.

Le système PSD installé dans le prototype est alimenté par 8 m² de capteurs solaires pour chauffer une surface de 90 m² (voir figure II-8), il couvre presque 70 % des besoins de

chauffage, cependant un appoint d'énergie (chaudière à gaz) est nécessaire lors de période de grand froid ou de temps très couvert.



Figure II-8 : Capteurs solaires.

II.8. Distribution de la chaleur dans le plancher :

Le système de distribution de la chaleur captée par le capteur solaire est constitué d'un réseau de tubes en polyéthylène réticulé noyés dans une chape en ciment qui constitue l'élément diffusant la chaleur (figure II- 9). Dans ce réseau, l'eau chaude circule dans les tubes en polyéthylène réticulé en cédant la chaleur contenue dans l'eau vers le plancher. La forte épaisseur de ce plancher lui donne une grande inertie thermique permettant de stocker la chaleur et de la faire diffuser d'une manière continue pour éviter le changement rapide de la température de l'espace chauffé.

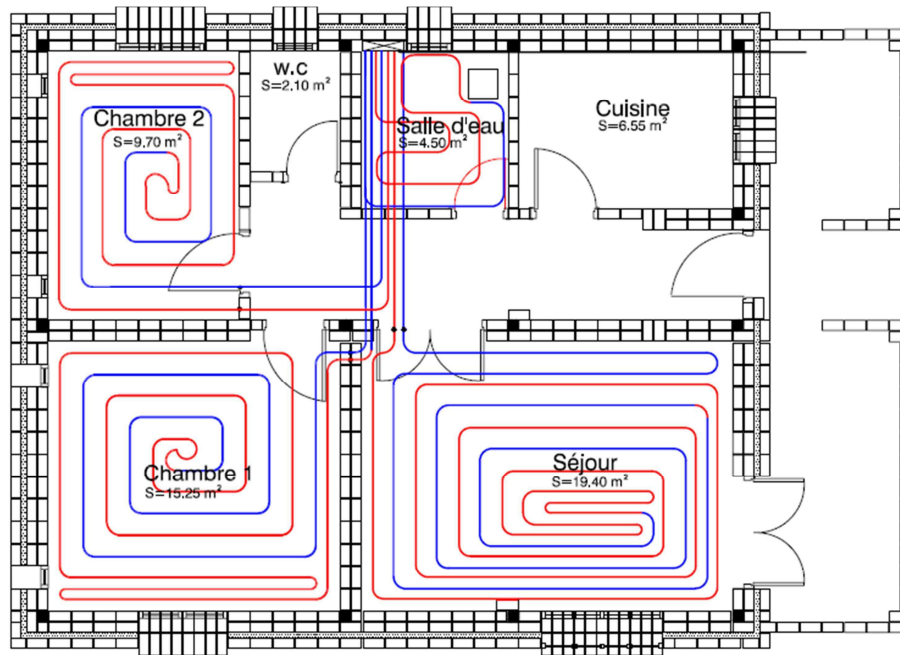


Figure II-9: Schéma d'installation du serpentin dans le plancher bas.

Introduction :

En raison du coût et des durées expérimentales, la simulation est un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable. Mais il est nécessaire de savoir ce que l'on cherche pour utiliser l'outil de façon optimale. L'informatique offre la possibilité d'effectuer des calculs qui seraient longs, fastidieux et répétitifs. La simulation doit permettre de valider rapidement des options fondamentales, d'explorer et de commencer à optimiser certains choix pour un meilleur confort et des charges de fonctionnement moindres.

Des techniques bioclimatiques permettent de d'améliorer le confort à l'intérieur de l'habitation et réduire la facture énergétique. Afin de voir l'impact de ses techniques sur la température à l'intérieur d'une maison et ses besoins en chauffage et en climatisation, on a choisi pour la simulation le logiciel TRNSYS pour les divers avantages qu'il présente.

III.1. Zones thermiques :

Une zone thermique définie un volume du bâtiment dont le comportement thermique est supposé homogène et dont on souhaite étudier la température ou les besoins énergétique. Les critères qui nous permettent de définir une zone peuvent être son usage, sa localisation, les apports internes, les équipements de chauffage ou de climatisation.

Dans notre cas nous avons décomposé la maison en 4 zones définies en fonction de leur orientation et l'épaisseur des murs internes de séparation :

- Zone 1 : le séjour.
- Zone 2 : la chambre1.
- Zone 3 : elle comprend la cuisine, la salle d'eau, et une partie du couloir cette zone est appelée cuisine.
- Zone 4 : chambre2.

III.2. Scénario d'occupation :

- Nous considérons que la maison est occupée par 5 personnes, la moyenne d'occupation en Algérie.
- Nous considérons que les gains internes dus aux équipements sont nuls.
- Le débit d'infiltration est considéré constant, il vaut 0,6 volume par heure en hiver et 1 volume par heure en été.

- Les températures du confort sont 24°C en été et 21°C en hiver.
- Pas de ventilation mécanique.

III.3. Présentation du logiciel TRNSYS :

Dans le cadre de notre étude, nous avons opté pour l'utilisation de logiciel TRNSYS, ce logiciel est une structure modulaire de simulation des systèmes énergétiques développée par le Laboratoire d'Energie Solaire de l'Université de Wisconsin-Madison. Créé à l'origine pour étudier plus particulièrement les systèmes concernant l'énergie solaire, il est utilisé actuellement de façon plus générale dans le domaine de la modélisation des bâtiments. La simulation dynamique permet, par exemple, de simuler le comportement énergétique d'un bâtiment et de son équipement (chauffage, climatisation), en fonction de l'emplacement, des matériaux de construction utilisés, de l'architecture, du concept énergétique choisi, etc.

III.3.1. Fonctionnement :

Le fonctionnement du logiciel est basé sur l'assemblage de modules élémentaires, appelés TYPE, représentant soit des composants du système simulé, soit des fonctions particulières (lecture de fichier météorologique...). Les restrictions imposées au niveau de l'écriture des TYPES assurent la compatibilité des développements et leur échange entre utilisateurs. Une bibliothèque regroupant des familles de modules (composants des parois ...) est fournie avec le logiciel.

Pour simuler un système thermique, il faut tout d'abord définir l'ensemble des composants élémentaires formant le système. Chaque composant est représenté par un TYPE qui est en fait un programme fortran. Un TYPE est généralement schématisé par une boîte possédant des variables d'entrée, des paramètres constants et des variables de sortie.

L'utilisateur doit connecter les entrées et les sorties de tous ces modules pour déterminer le comportement du système dans son ensemble.

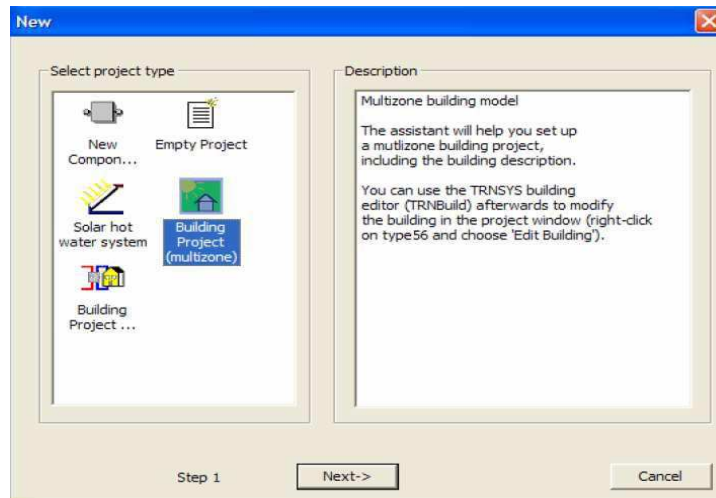
III.3.2. Construction d'un modèle du bâtiment multizone :

Le modèle initial du bâtiment proposé dans le logiciel TRNSYS, le TYPE 56 « Multizone Building » utilise la méthode des fonctions de transfert pour déterminer la réponse thermique d'une paroi.

III.3.2-1. Création du projet :

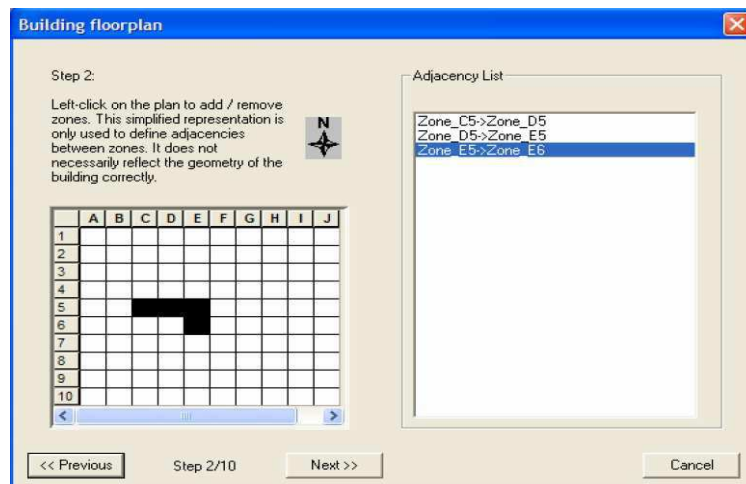
Pour commencer notre projet on doit passer par TRNSYS studio, dans cette partie il existe plusieurs étapes à suivre.

III.3.2-1-1.choix du type de projet :



Une fois que le bon article est choisi dans la liste (c.-à-d. **Building Project (multizone)**), on clique sur bouton (**Next->**) on passe à l'étape suivante.

III.3.2-1-2.Tracer le plan d'étage :



Dans cette étape on définit les zones de notre bâtiment, pour ajouter une zone au bâtiment, on clique sur la grille. Chaque place noire représente une zone. A la même heure, le magicien calculera automatiquement les contiguïtés entre les zones supplémentaires et montrera la liste du côté droit.

Une fois que le plan d'étage est tracé, on clique sur **Next->** .

III.3.2-1-3. Dimensionnement des zones :

Zone properties

Step 3: Define zone dimensions

Select the zone you want to modify in the plan and edit the values below.

Name:

Zone dimension

Height: [m]

Width: [m]

Depth: [m]

Volume: [m³]

<< Previous Step 3/10 Next >> Cancel

Le choix d'une zone dans la grille montre ses propriétés. Les propriétés montrées sont : le nom, la longueur, la largeur, la profondeur et le volume. L'utilisateur doit placer ces dimensions sauf le volume qui est automatiquement calculé selon la taille, la largeur et la profondeur.

III.3.2-1-3. Fraction des fenêtres et l'orientation de la maison :

Windows, orientation and location

Fraction of windows in external walls [%]

North:

West: East:

South:

Building rotation

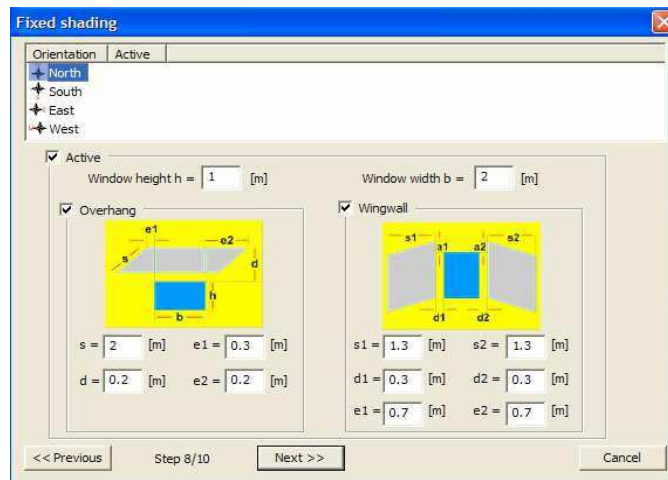
Rotation (North to East = positive): [deg.]

Location: Browse

<< Previous Step 4/10 Next >> Cancel

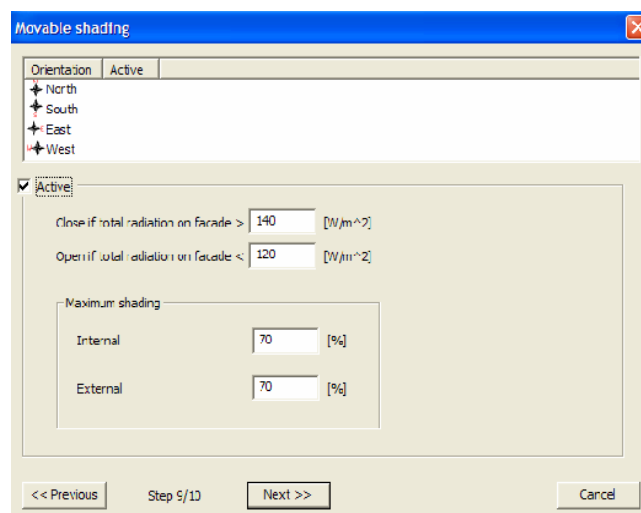
Dans cette figure la partie gauche définit la fraction des fenêtres sur les murs de la maison, la partie droite pour l'orientation de la maison. L'angle est positif du nord à l'est et négatif du nord à l'ouest. Le bouton « brows » permet d'introduire le fichier météo, ce fichier contient toutes les informations météorologiques de la région de notre habitation.

III.3.2-1-5. Ombrage des fenêtres :



Cette étape nous permet de définir les éléments de l'ombrage fixes pour chaque fenêtre placée dans les quatre orientations principales du bâtiment.

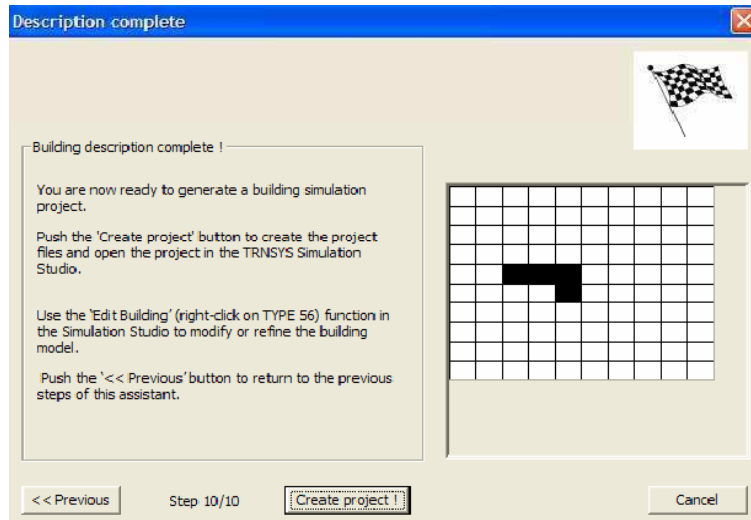
III.3.2-1-6. Nuance mobile :



Cette étape laisse définir les éléments de l'ombrage fixes (tels que des magasins ou des abat-jour) pour chacun des quatre orientations principales du bâtiment.

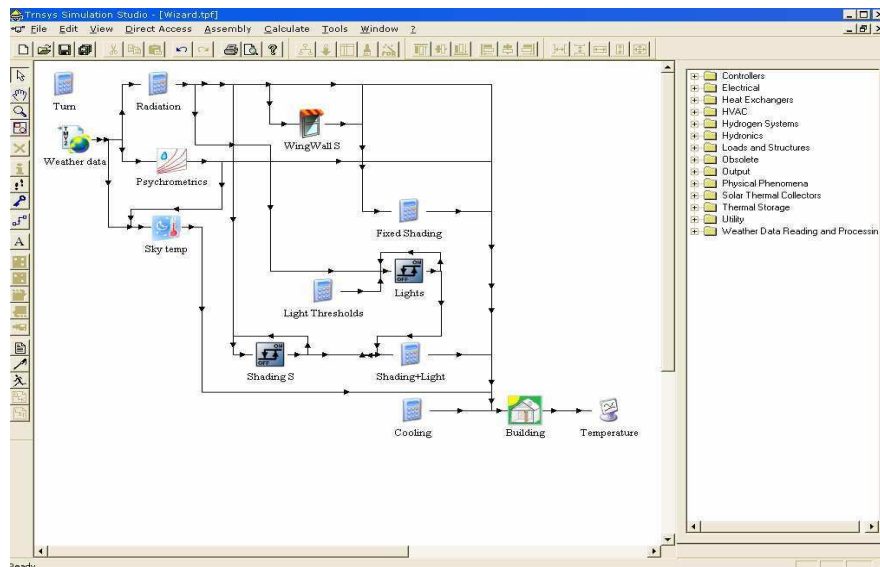
L'utilisateur doit cliquer dessus l'orientation (nord, est, sud ou ouest) pour laquelle il a souhaité modifier le mobilier amovible de l'ombrage.

La nuance mobile pour une orientation donnée est caractérisée par les seuils totaux de rayonnement pour lesquels l'élément sera ouvert ou fermé.



Une fois que cette fenêtre apparaît tous les paramètres nécessaires pour la création du projet ont été introduits. Pour la création de projet on doit cliquer sur **Create project !**

III.3.2-1-7. Le projet final :

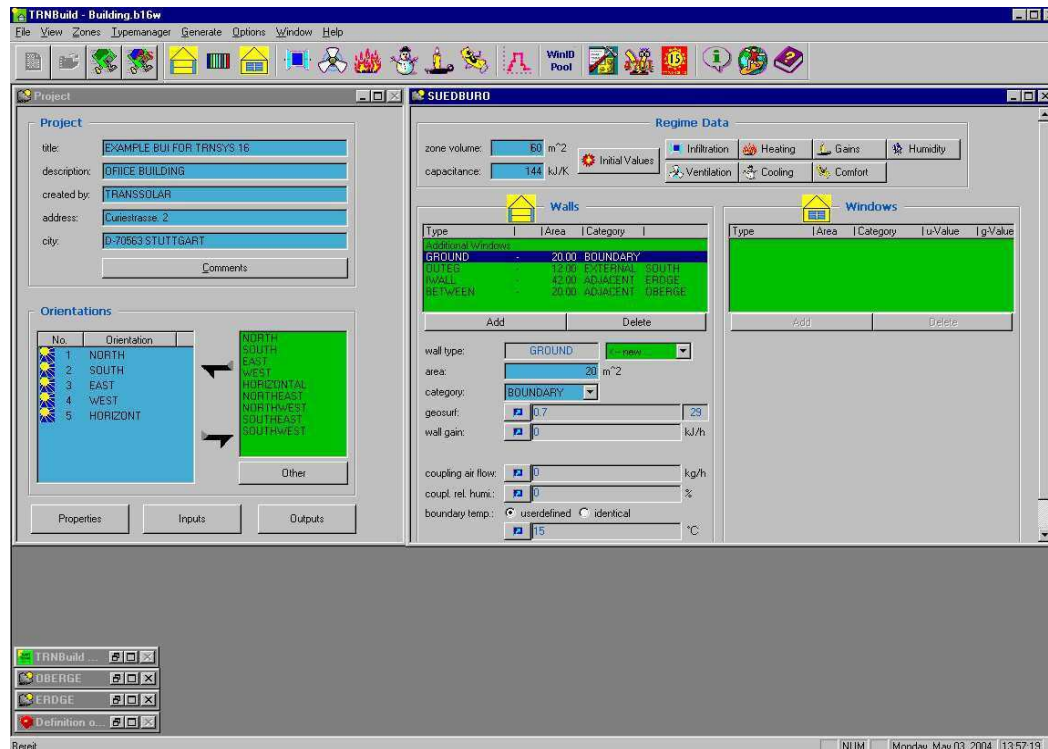


Cette figure montre la création du projet avec quelque paramètre par défaut pour le



bâtiment, pour les corriger on clique sur **Building** puis « Edit building ».

III.3.2-2.Partie bâtiment(TRNBuild) :



Dans cette fenêtre toutes les données relatives à notre projet peuvent être introduites, nous spécifions la composition des murs, leurs orientations respectives, les surfaces vitrées et les types de vitrage utilisés. Il est nécessaire aussi de définir les conditions initiales de la zone étudiées (la température intérieure et l'humidité relative).

Nous définissons les caractéristiques des murs, fenêtres, portes, planchers et plafonds (dimensionnement, les matériaux l'orientation et autres caractéristiques).

Nous introduisons les propriétés thermodynamiques de chaque couche qui constitue les murs le plancher et la toiture, comme nous pouvons les choisir à partir de la bibliothèque existante.

Des données d'équipement facultatif et caractéristiques de fonctionnement comprennent l'infiltration, ventilation, refroidissement, chauffage, gains et confort peuvent être rajoutées.

Une fois toutes les données sont entrées on peut lancer la simulation à partir du studio et sortir ainsi les résultats souhaitées (profil de température, les besoins en chauffage et en climatisation. etc....).

III.4. Interprétation des résultats :

III.4.1. Evolution de la température des 4 zones de la maison avec et sans isolation :

III.4.1-1. Sans isolation :

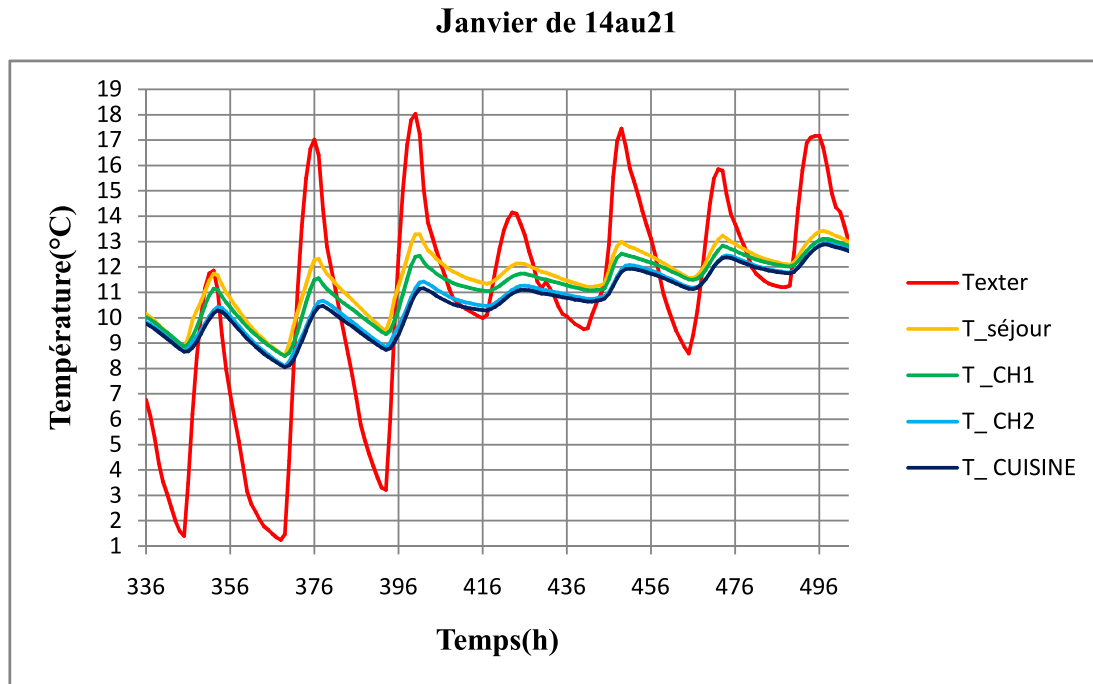


Figure III-1 : Evolution de la température intérieure des quatre zones sans isolation de la maison pour la 3eme semaine du mois de Janvier

La figure (III-1) présente l'évolution de la température de l'air extérieur et celles de l'intérieur de la maison pour différentes zones thermiques à savoir (le séjour, la chambre 1, la chambre2 et la cuisine).

Les résultats de cette figure permettent de constater que les températures de séjour et la chambre 1 sont un peu élevées par rapport à celles de la chambre 2 et de la cuisine, cela est dû à la différence de la surface des murs exposée au sud qui reçoit plus d'ensoleillement avec une surface vitrée considérable pour les deux premières pièces, contrairement à la chambre 2 et la cuisine. Pour le début de cette troisième semaine du mois de Janvier, le climat est marqué par des températures glaciales qui ne dépassent pas les 2°C la nuit, cela a un impacte direct sur la température moyenne de la maison cette dernière est située au tour de

11°C la journée et 8,5°C la nuit. Nous constatons aussi que l'amplitude de la variation de température est de l'ordre de 3°C entre la nuit et la journée.

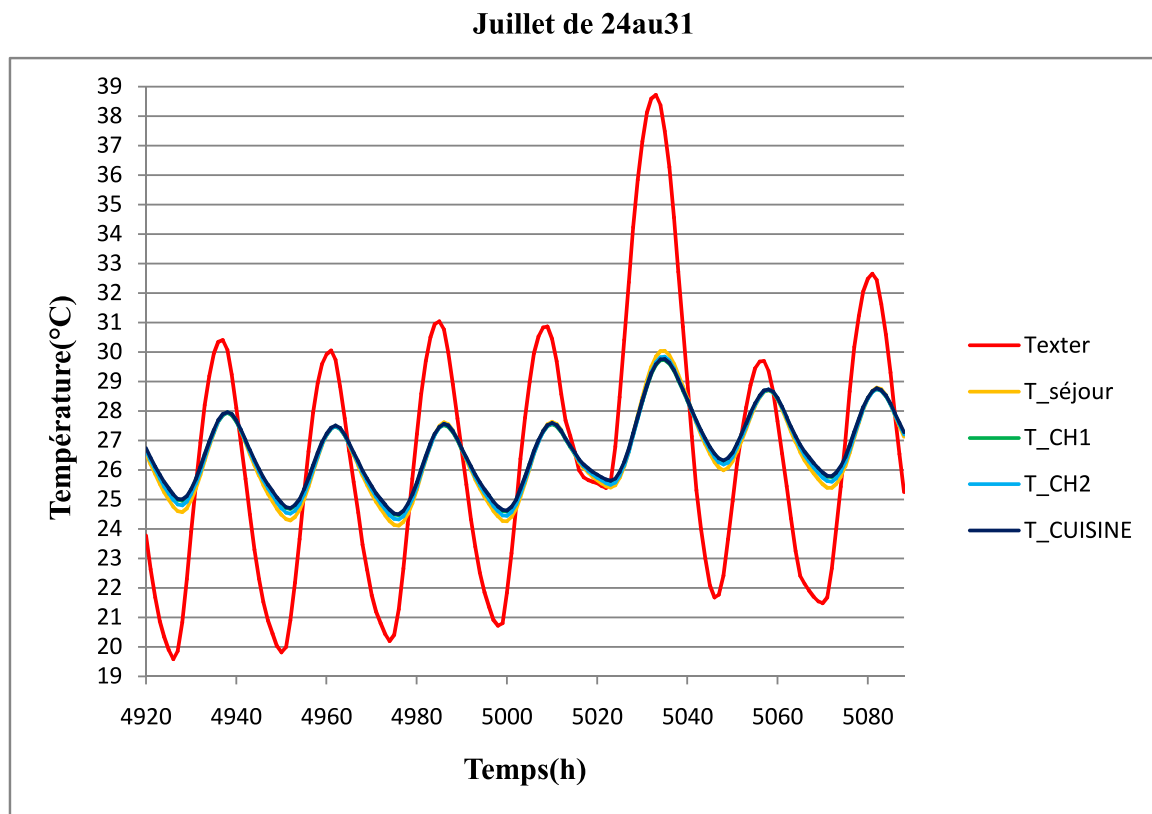


Figure III-2 : Evolution de la température intérieure des quatre zones sans isolation de la maison pour la dernière semaine du mois de Juillet.

Les résultats de la figure (III-2) montrent que la température à l'intérieur de la maison pour la dernière semaine du mois de Juillet évolue de la même façon. Les températures à l'intérieur de la maison se situent au tour de 27,5°C et 28°C pour les premiers jours, la température frôle les 30°C pour la cinquième journée. Il a été constaté que l'amplitude de la variation de la température entre la nuit et la journée est de 3 à 4°C.

III.4.1-2. Avec isolation :

Janvier de 14au21

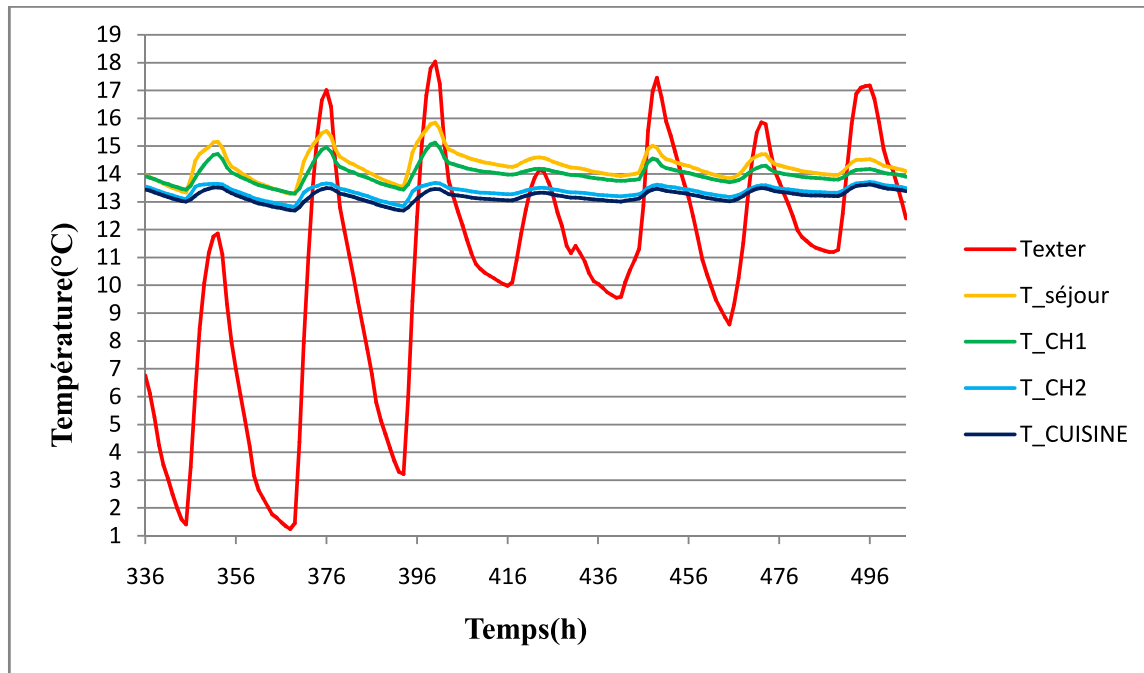


Figure III-3 : Evolution de la température intérieure des quatre zones de la maison pour la 3eme semaine du mois de janvier

La Figure (3) montre l'effet de l'isolation de l'enveloppe de la maison sur la température intérieure de chaque pièce. L'isolation a considérablement amélioré la température à l'intérieur de la maison en l'augmentant de 3 à 5°C. L'amplitude de la variation de la température entre la nuit et la journée est inférieure à 1°C dans la cuisine et la chambre 2 contrairement au séjour et la chambre 1 où elle est restée relativement considérable.

Juillet de 24 au31

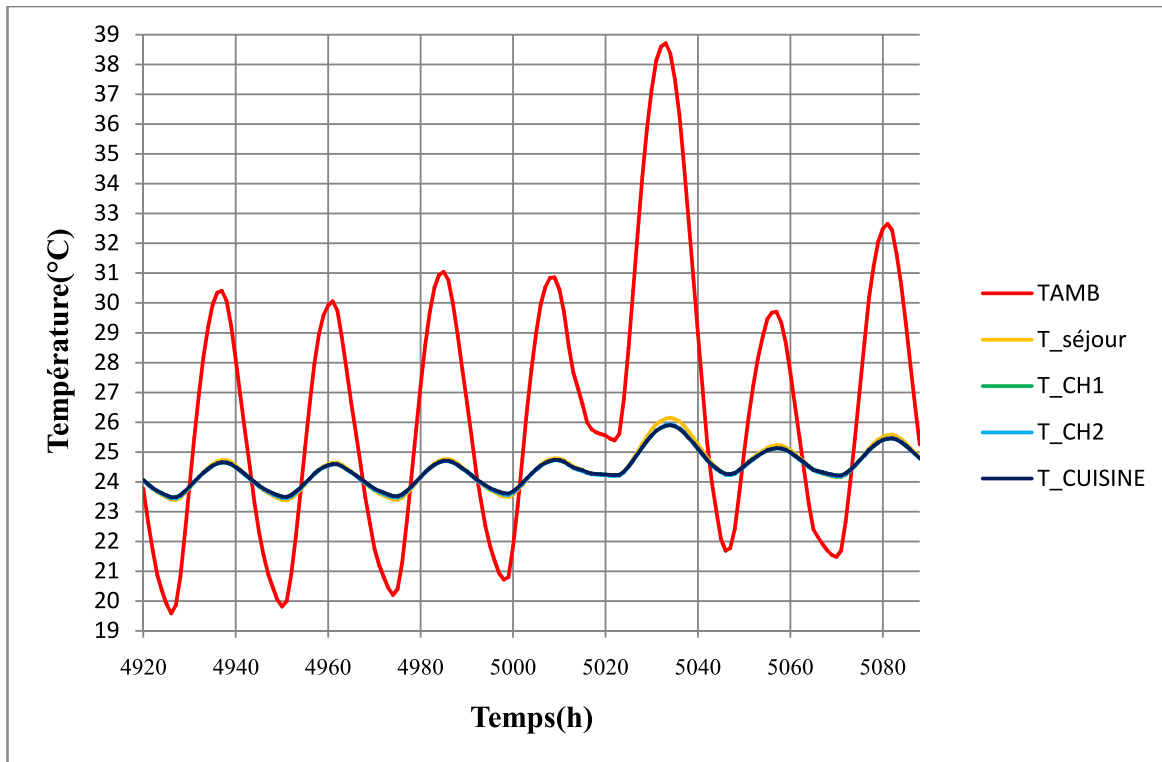


Figure III-4 : Evolution de la température intérieure des quatre zones de la maison pour la dernière semaine du mois de juillet.

A la lumière de la figure (III-4), et pour la dernière semaine du mois de Juillet nous constatons que l'isolation a efficacement contribué à améliorer la température à l'intérieur de la maison en la diminuant de 3 à 4°C avec des températures à l'intérieur qui ne dépassent pas les 26,15°C durant la journée et 23,4°C la nuit, ce qui répond au confort thermique en période d'été. L'amplitude de la variation de la température est ramenée à 1°C entre la journée et la nuit durant toute la semaine.

III.4. Influence de l'épaisseur de l'isolation sur les besoins en chauffage et en climatisation :

Comme nous l'avons précédemment cité la toiture est l'élément qui représente les plus fortes déperditions, elle est suivie par les murs puis le plancher.

C'est pour quoi les simulations que nous avons faites ont été menées dans cet ordre, dans la première simulation seule la toiture est disposée d'une isolation, les murs et le plancher ne contiennent pas de matériaux isolant. Dans la deuxième simulation nous

rajouterons de l'isolant pour les murs. Dans la troisième simulation c'est tout l'enveloppe qui est isolé.

Cela nous permettra de déterminer la part de chacun de ces trois éléments dans la diminution des charges pour le chauffage et la climatisation.

III.4. 1. Effet de l'isolation de la toiture :

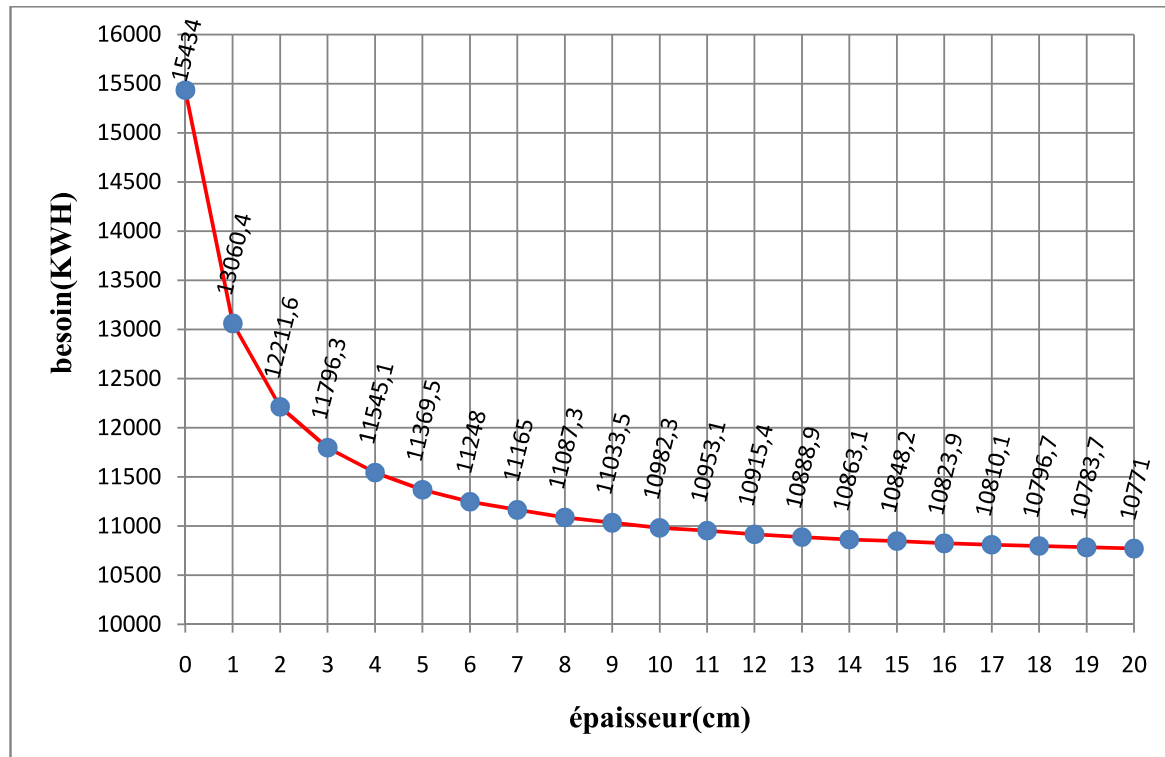


Figure III-5: Variation des besoins en chauffage et en climatisation avec la variation de l'épaisseur de l'isolation de la dalle.

La figure (III-5) présente l'effet de l'isolation de la toiture sur la réduction des besoins en chauffage et climatisation. Pour une maison sans isolation ces besoins sont de l'ordre de 15434KWH les résultats illustrent parfaitement le rôle très efficace que joue l'isolation de la toiture dans la diminution de ces charges, rien que pour 2cm d'épaisseur d'isolant ces dernières sont réduites de 2374,4KWH, plus l'épaisseur est importante plus les besoins sont réduits. Pour une épaisseur de 10cm la réduction est de 30% mais à partir de cette épaisseur la réduction est de plus en plus faible.

III.4. 2. Effet de l'isolation des murs :

Dans ce cas la toiture est isolée avec un polystyrène de 16cm d'épaisseur et on fait varier l'épaisseur d'isolation pour les murs.

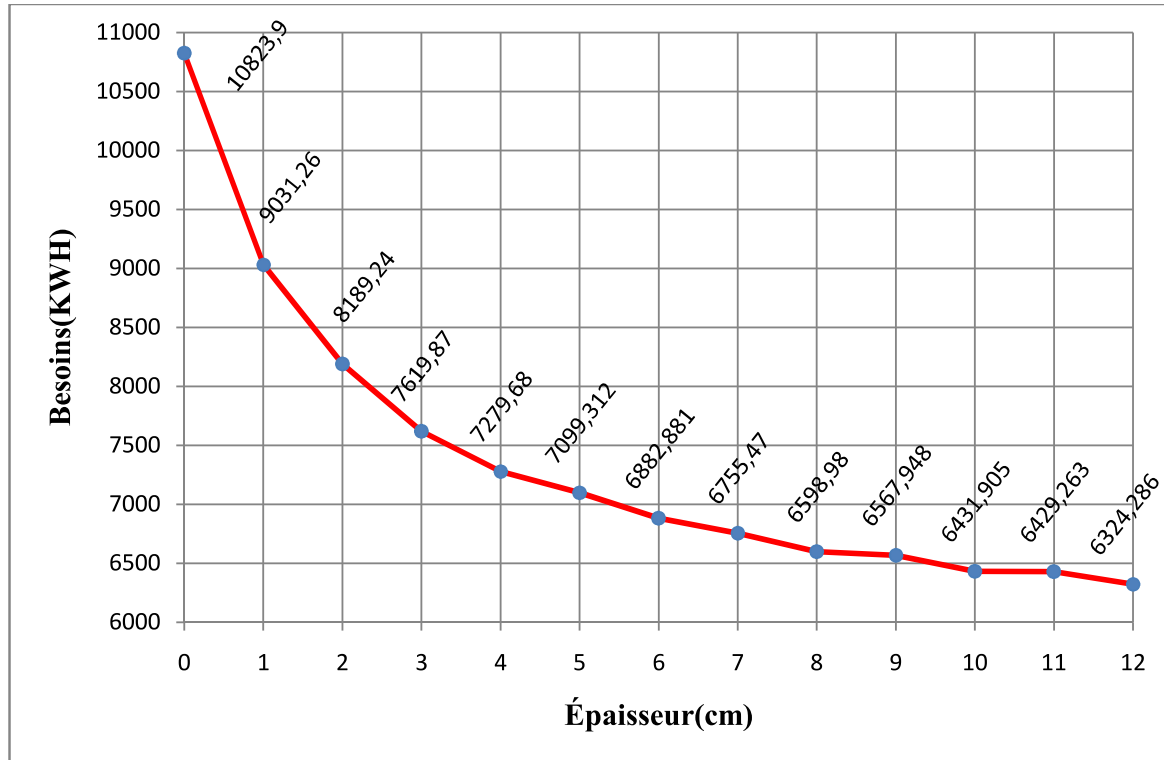


Figure III-6 : Variation des besoins en chauffage et en climatisation avec la variation de l'épaisseur de l'isolation des murs.

Pour une isolation de 16cm du polystyrène dans la toiture, la maison a besoin de 10823,9KWH pour le chauffage et la climatisation. Le graphe nous donne une idée précise sur l'importance de l'isolation des murs. Les besoins continuent à diminuer en augmentant l'épaisseur de l'isolant. Pour une épaisseur de 9cm les besoins seront ramenés à 6567,948KWH qui correspondent à 27% des charges totales, au-delà de cette épaisseur la diminution des besoins est moins importante, l'isolation des murs est presque aussi importante que l'isolation de la toiture.

III.4.3. Effet de l'isolation du plancher :

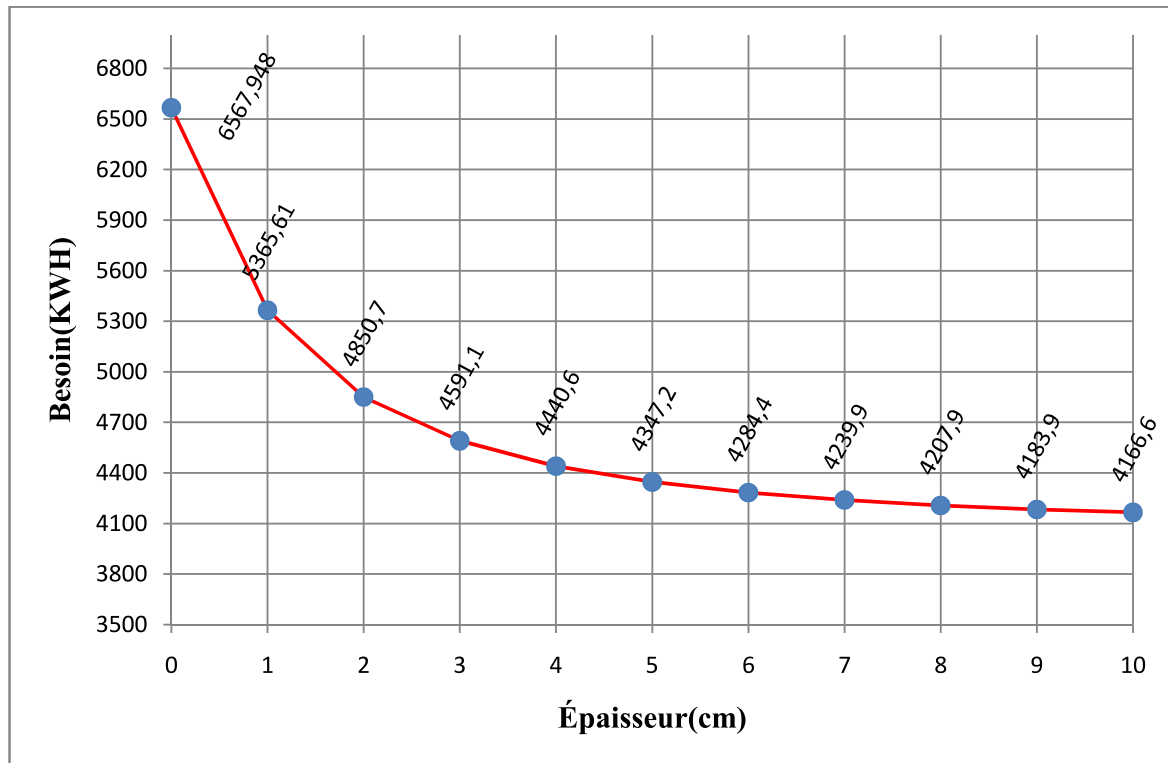


Figure III-7 : Variation des besoins en chauffage et en climatisation avec la variation de l'épaisseur de l'isolation du plancher.

Les besoins en chauffage et en climatisation pour une isolation de 16cm et 9cm respectivement pour la toiture et les murs sont d'environ 6567 ,948KWH. Les résultats de ce graphe montrent que l'isolation du plancher ne jouit pas de la même importance que dans les deux cas précédents. Pour une épaisseur de 6 cm les besoins ne sont diminués que de 2283 ,548kwh ce qui correspond à 13% de réduction. À partir de cette épaisseur les besoins sont presque stables.

III.5. Influence de l'épaisseur de l'isolation sur l'évolution de la température à l'intérieure de la maison :

III.5.1. Sur la toiture :

Juillet de 24 au 31

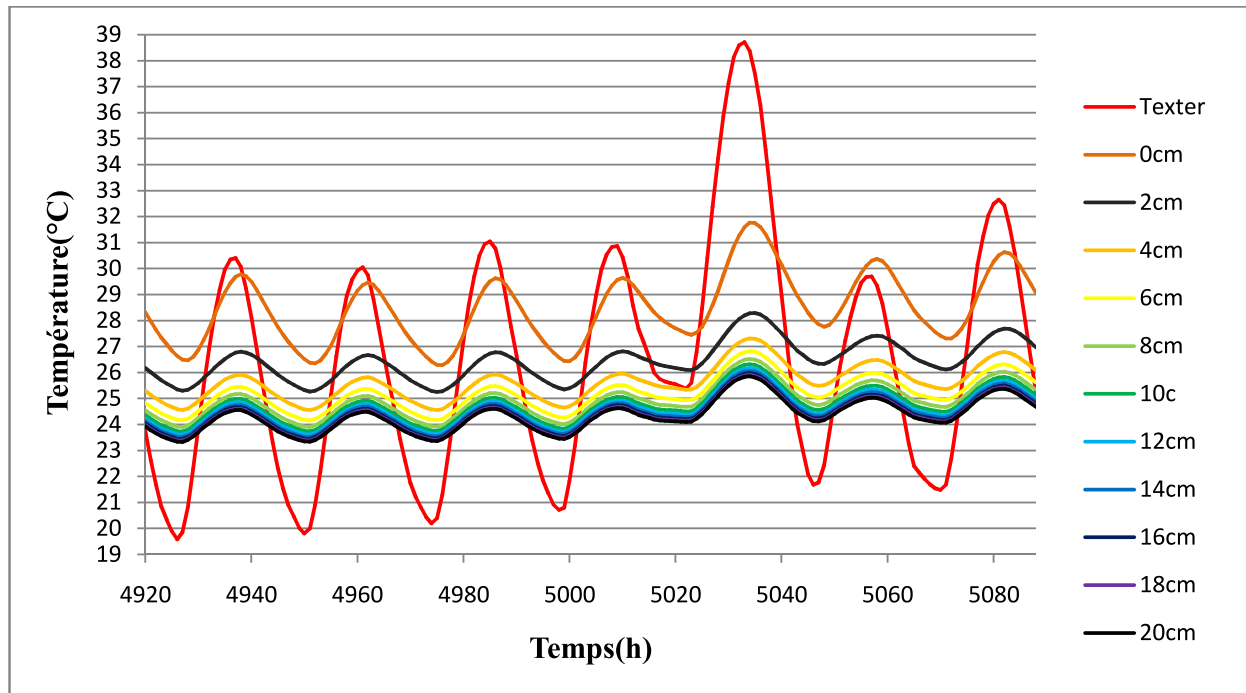


Figure III-8 : Influence de l'épaisseur de l'isolation de la toiture sur l'évolution de la température à l'intérieure de la maison.

Ce graphique illustre l'impacte de l'isolation de la toiture sur l'evolution de la temperature a l'interieur de la maison pour une semaine du mois de Juillet. Les résultats de la simulation montrent que l'isolation de la toiture permet de réduire la température de plus de 5°C, la rendant ainsi proches des temperatures du confort en période d'été. Nous constatons aussi qu'à partir de 10cm l'augmentation de l'épaisseur ne contribue plus efficacement à la reduction de la temperature.

Janvier de 14au21

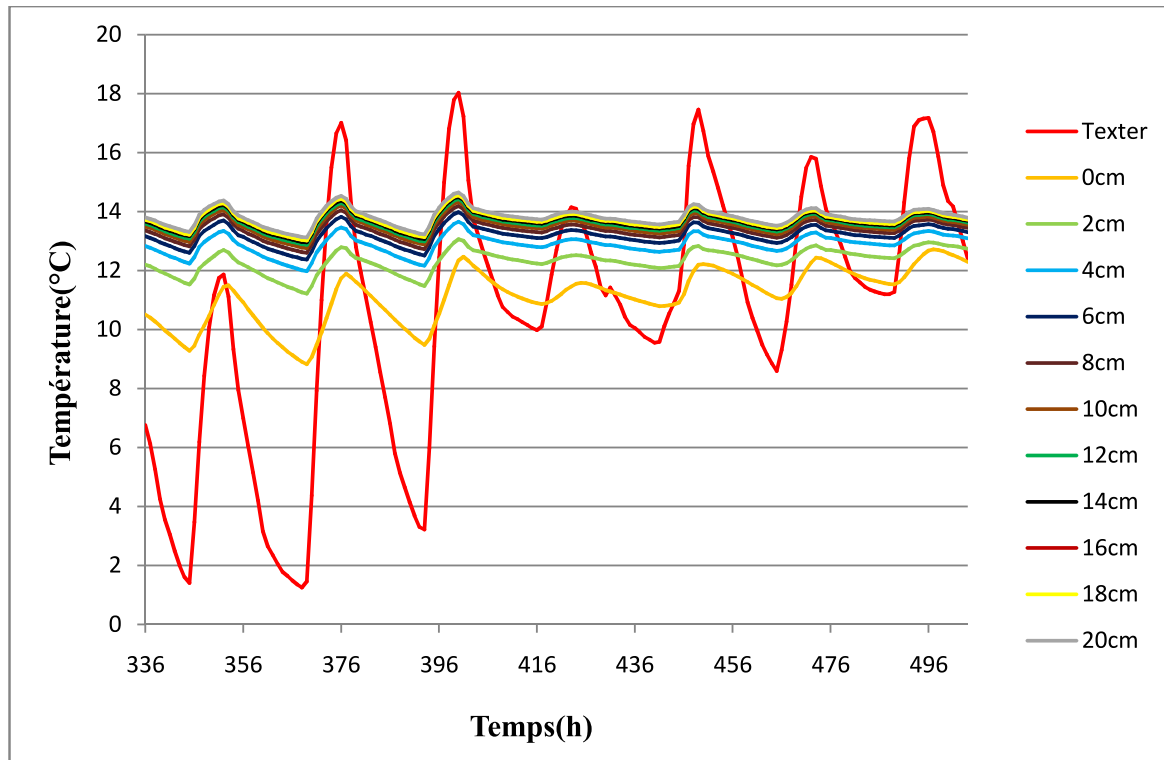


Figure III-9 : Influence de l'épaisseur de l'isolation de la toiture sur l'évolution de la température à l'intérieure de la maison.

Ce graphe présente l'influence de l'isolation de la toiture sur la température à l'intérieur de la maison pour le mois de Janvier. En hiver l'isolation réduit les déperditions thermiques et cela permet d'avoir des températures plus acceptables, cette isolation a permet d'améliorer la température de 3°C. Les résultats montrent aussi que l'influence de l'isolation de la toiture en période d'hiver est moins importante que celle de la période estival.

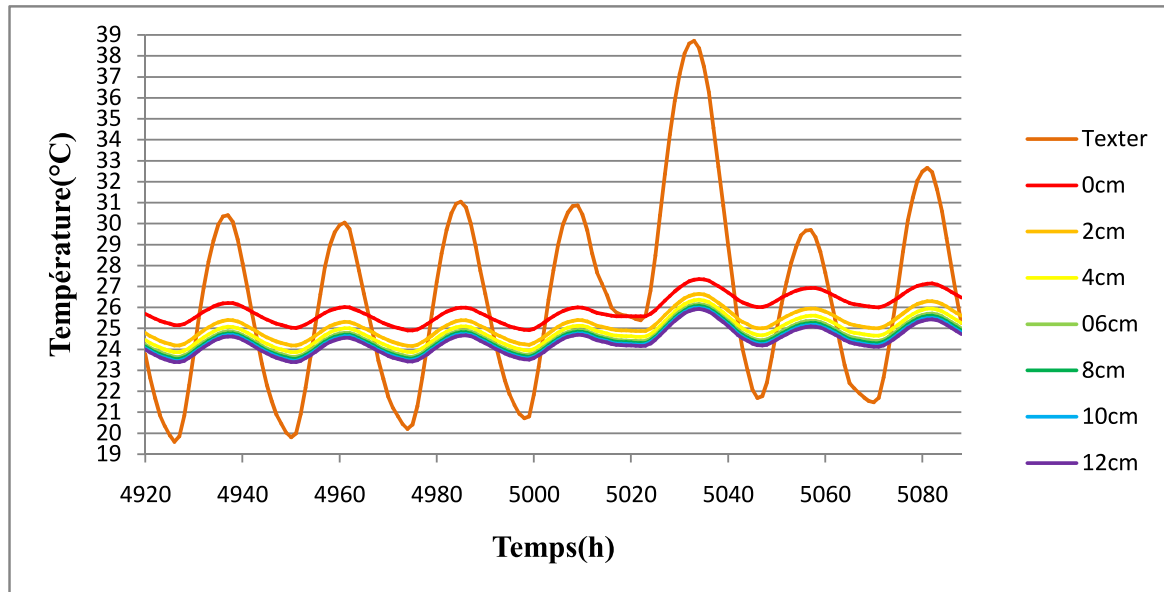
III.5.2. Sur les murs :**Juillet de 24 au 31**

Figure III-10: Influence de l'épaisseur de l'isolation des murs sur l'évolution de la température à l'intérieure de la maison.

Ce graphe nous permet de constater l'effet de l'isolation des murs sur le comportement thermique de la maison étudiée pour une semaine du mois de Juillet. Il apparaît sur la figure que la température est réduite de plus de 1°C pour une épaisseur de 8cm. Il a été constaté aussi que l'effet de l'isolation des murs en période d'été est moins important par rapport à celui de l'isolation de la toiture.

Janvier de 14 au 21

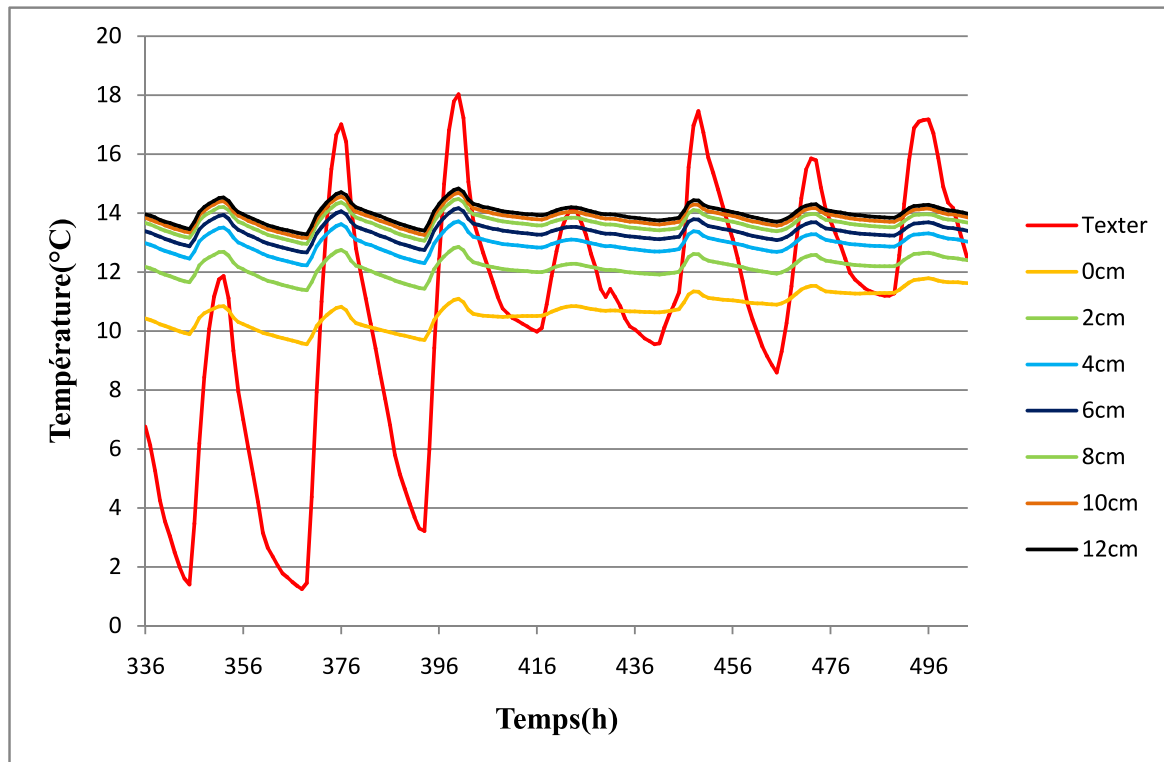


Figure III-11: Influence de l'épaisseur de l'isolation des murs sur l'évolution de la température à l'intérieure de la maison.

Cette figure présente l'effet de l'isolation des murs sur l'amélioration du confort thermique en période d'hiver. Les résultats montrent que l'isolation des murs extérieurs a un impact plus important en hiver. La température augmente avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant, elle est élevée de plus de 3°C pour une épaisseur de 8cm.

III.6. Comparaison entre les différents matériaux de construction :

III.6.1. La composition des parois :

Ce tableau donne la composition des parois ainsi que les caractéristiques des différents matériaux.

Tableau III-1 Composition des parois et caractéristiques thermiques des différents matériaux

	Composition	Epaisseur (m)	λ (W/m.K)	La masse volumique (kg/m ³)
BTS	BTS	0,15	1,3	2002
	Polystyrène	0,09	0,04	25
	BTS	0,25	1,3	2002
Béton	Béton	0,15	1,75	2300
	Polystyrène	0,09	0,04	25
	Béton	0,25	1,75	2300
Brique	Brique	0,15	0,7	1500
	Polystyrène	0,09	0,04	25
	Brique	0,25	0,7	1500
Parpaing	Parpaing	0,15	1,1	1300
	Polystyrène	0,09	0,04	25
	Parpaing	0,25	1,1	1300
Pierre	Pierre	0,15	2,4	2360
	Polystyrène	0,09	0,04	25
	Pierre	0,25	2,4	2360

III.6.2.Comparaison des températures de la maison :

a) Sans isolation :

Juillet de 24 au 31

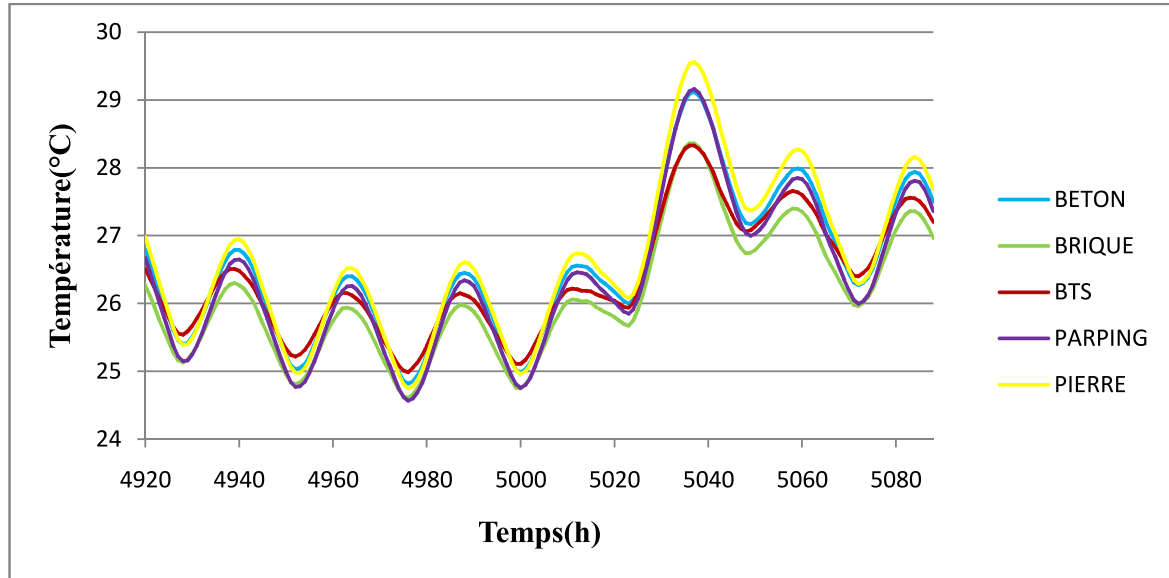


Figure III-12 : Effet des matériaux de construction sans isolation pour une semaine de mois du Juillet

La figure montre l'effet des différents matériaux de construction sur l'évolution de la température de la maison étudiée en période d'été, les résultats montrent que la brique creuse présente une amplitude de température faible par rapport aux autres matériaux, cela est dû à la faible conductivité thermique de la brique ($\lambda=0,7\text{W/m.K}$)

Janvier de 7 au 14

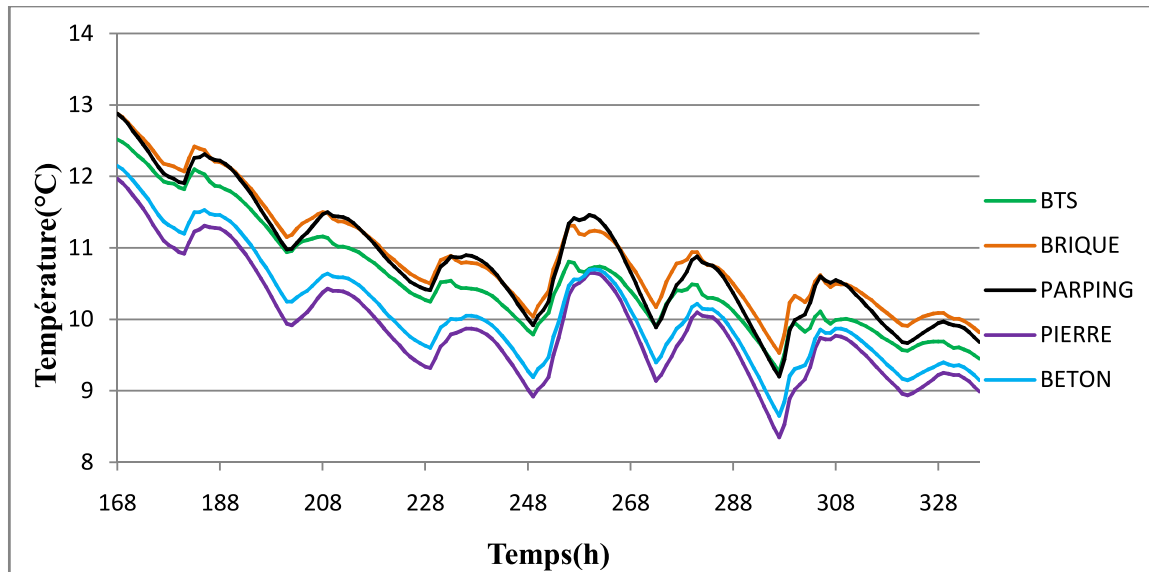


Figure III-13: Effet des matériaux de construction sans isolation pour une semaine du mois de Janvier.

La figure présente l'évolution de la température en période d'hiver en fonction des différents matériaux, les résultats montrent que les matériaux possédant des conductivités thermiques faibles présentent des températures un peu élevées en hiver.

b) Avec isolation :

Juillet de 24 au 31

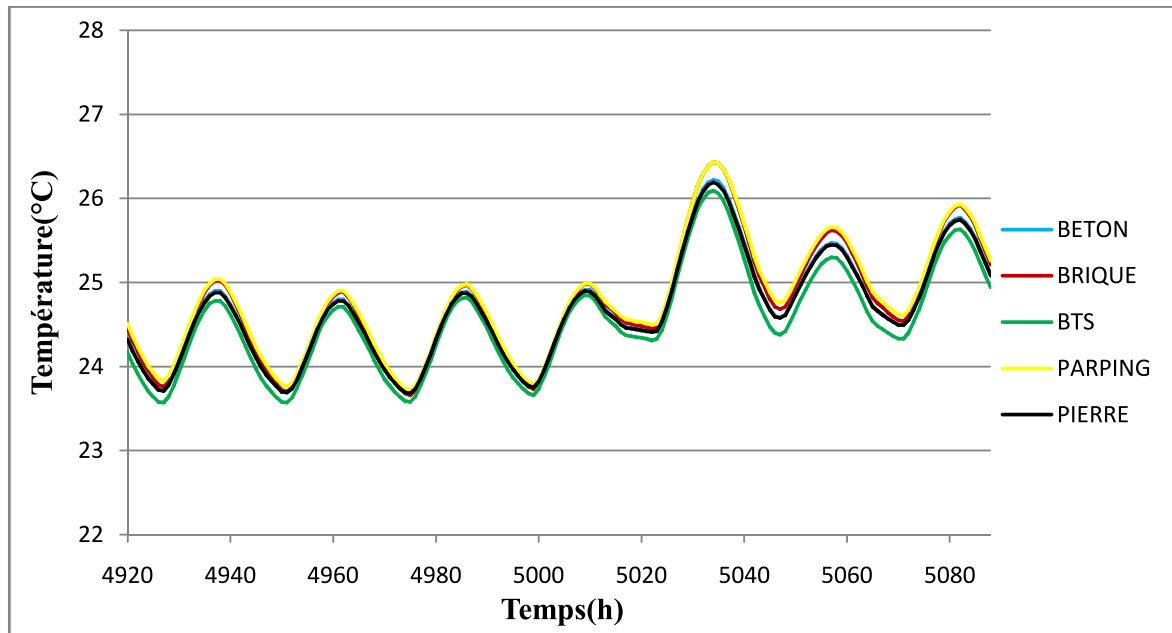


Figure III-14: Effet des matériaux de construction avec isolation pour une semaine du mois de Juillet.

La figure illustre l'effet des matériaux de construction sur le comportement thermique de la maison, avec des parois isolés. Nous remarquons que les matériaux locaux (BTS et Pierre) offrent les meilleures températures, ceci est dû à l'effet de l'inertie thermique apportée par la capacité thermique importante de ces deux matériaux ($cp(BTS)=1,32KJ.Kg^{-1}K^{-1}$).

Janvier de 7 au 14

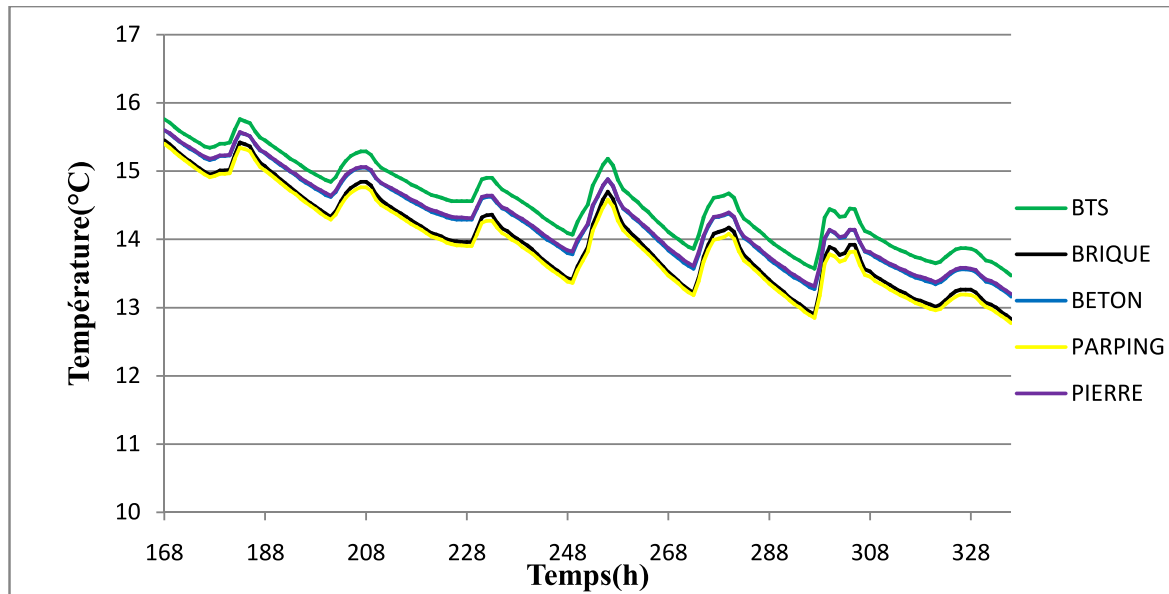


Figure III-15 : Effet des matériaux de construction avec isolation pour une semaine du mois de Janvier.

Les résultats de cette figure qui présente l'évolution de la température en fonction des matériaux de construction donnent des températures plus importantes pour le BTS cela illustre la différence faite par l'inertie thermique considérable de ce matériaux.

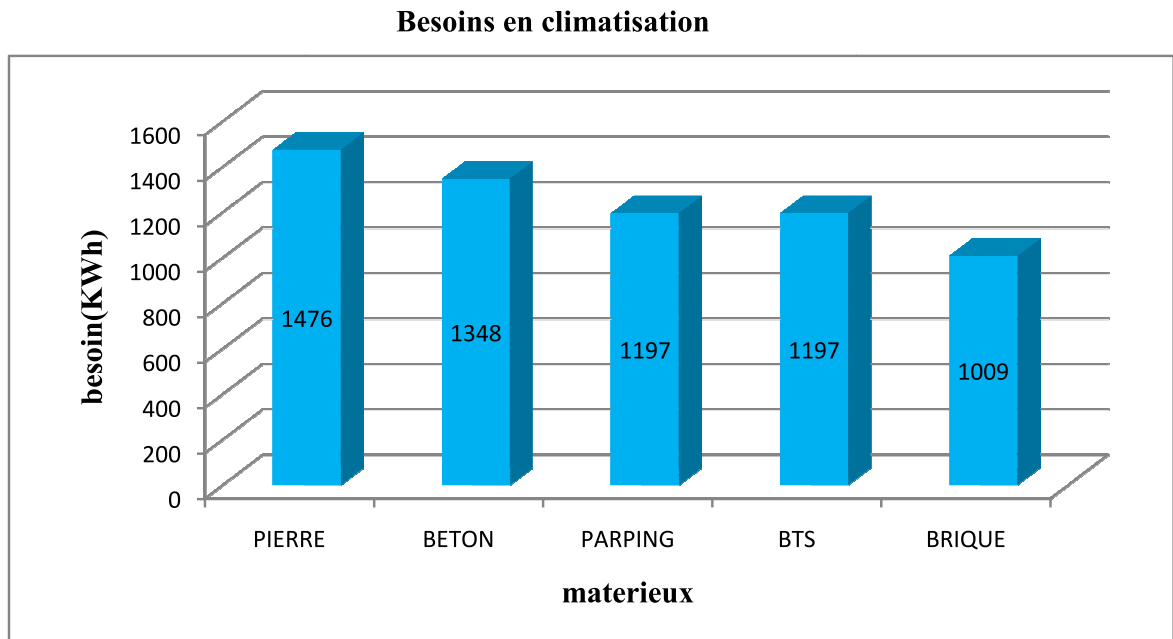
III.6.3. Besoins en chauffage et en climatisation pour différent matériaux :**➤ Sans isolation des murs :**

Figure III-16: Besoins en climatisation pour différents matériaux de construction sans isolation.

les résultats de cette figure qui présente les besoins annuels de climatisation pour une maison non isolée montrent que les matériaux à faible conductivité thermique affichent des besoins inférieurs à ceux d'autres matériaux.

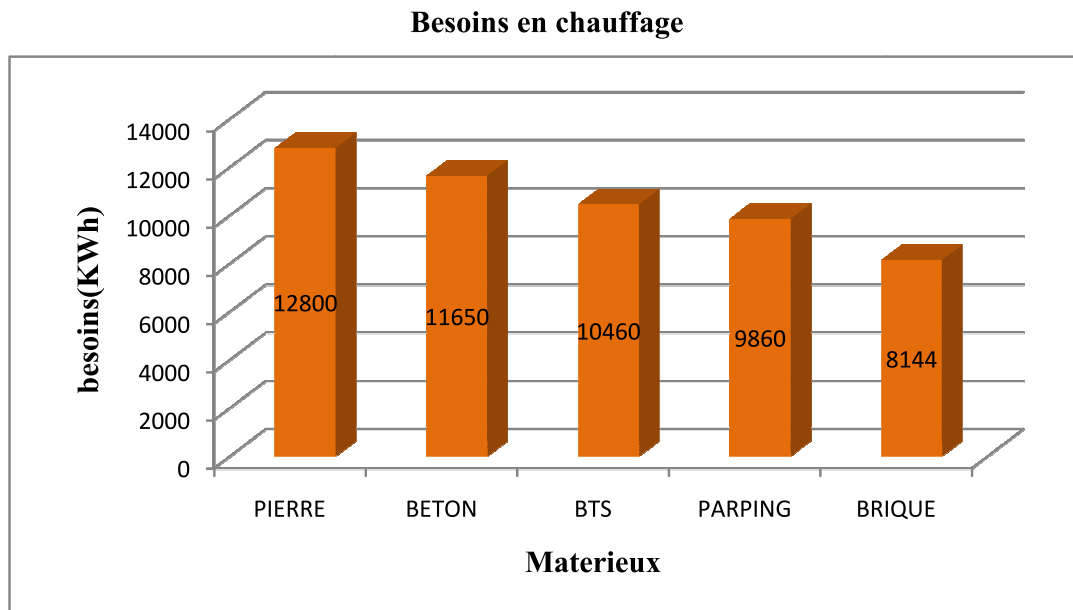


Figure III-17 : Besoins en chauffage pour différents matériaux de construction sans isolation.

Pour la période de chauffage et pour une maison sans isolation. La maison construite avec la brique a besoin de moins d'énergie pour se chauffer, sa faible conductivité thermique contribue à la réduction des déperditions thermiques.

➤ Avec isolation :

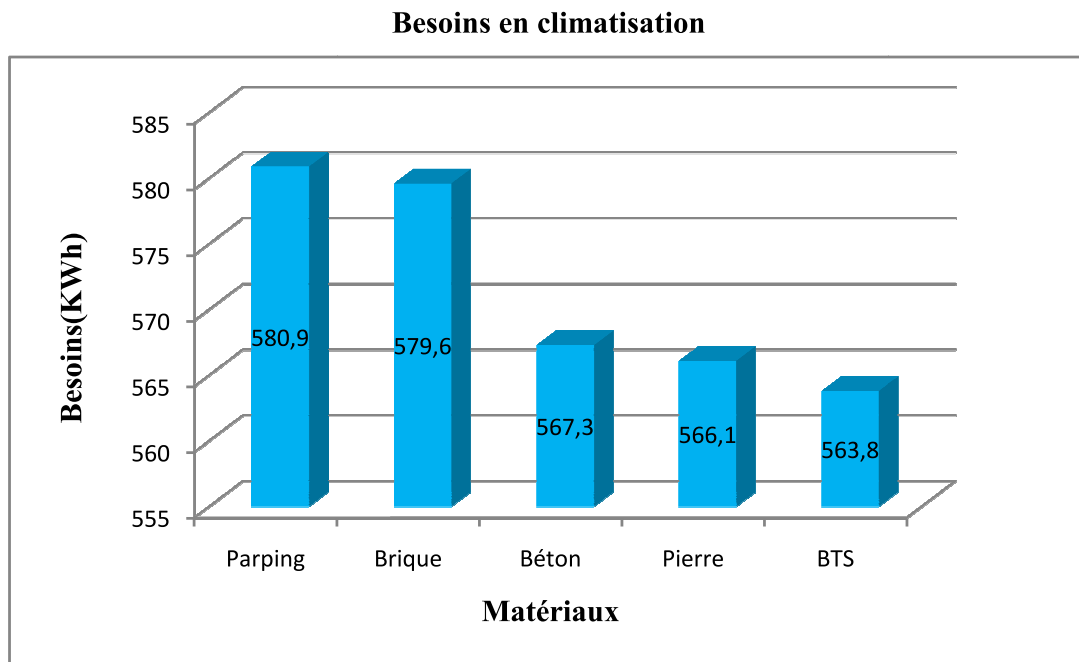


Figure III-18 : Besoins en climatisation pour différents matériaux de construction avec isolation.

La figure suivante donne les besoins annuels en climatisation pour la maison étudiée avec isolation. Nous constatons que la pierre et le BTS présentent les besoins les plus faibles, cela est dû à la capacité thermique de ces deux matériaux qui permet d'améliorer l'inertie thermique de l'enveloppe de la maison en offrant un confort avec des besoins en climatisation réduits.

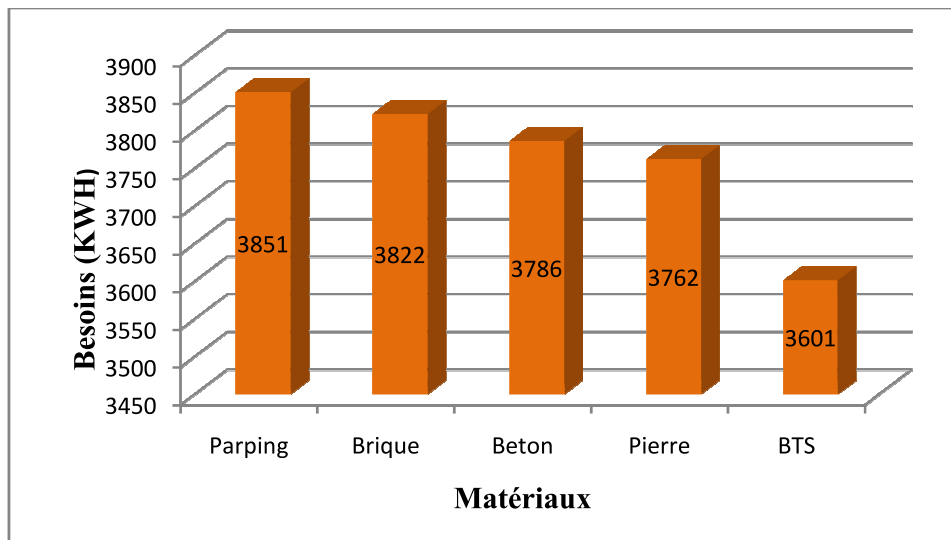
Besoins en chauffage

Figure III-19 : Besoins en chauffage pour différents matériaux de construction avec isolation.

La figure suivante affiche les besoins annuels en chauffage pour les différents matériaux. Les résultats montrent que la maison présentera les charges les plus faibles en chauffage si elle est construite en BTS, cela s'explique par la capacité de ce dernier à stocker la chaleur.

III.7. Variation des besoins en chauffage et en climatisation avec la variation des matériaux d'isolation :

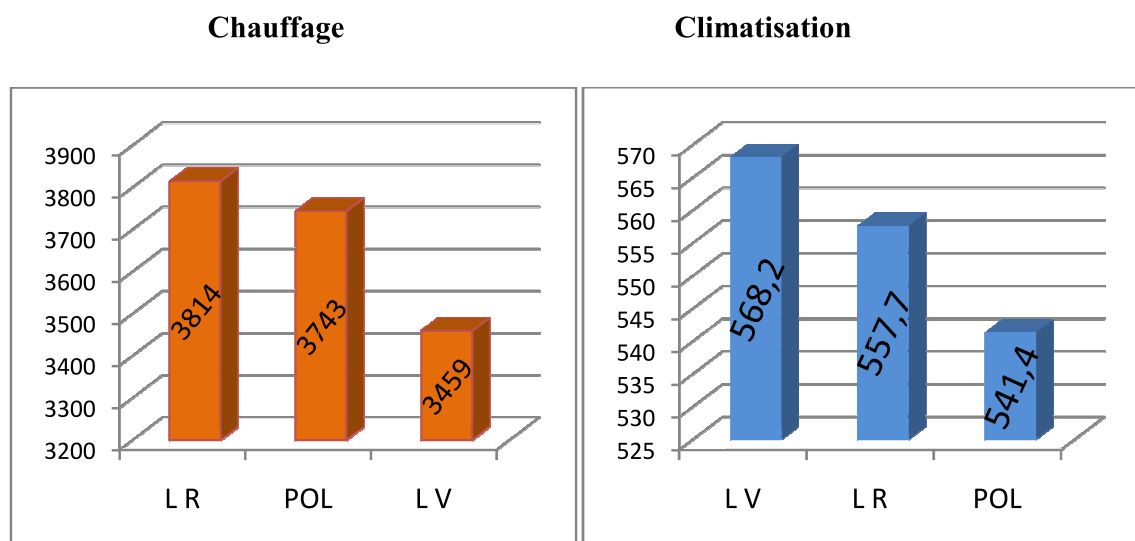


Figure III-20: Besoins en climatisation pour différents matériaux d'isolation.

Les résultats de la simulation pour les trois isolants montrent que le polystyrène est meilleur en saison estivale tandis qu'en hivers la laine de verre présente les besoins les plus faibles.

Conclusion :

L'ensemble des résultats de la simulation obtenue nous a permis de voir l'évolution de la température à l'intérieur de l'habitation et d'estimer les besoins en chauffage et en climatisation.

D'après les résultats des différents graphes, on en déduit que l'amélioration des conditions du confort à l'intérieur de la maison et la réduction de la consommation énergétique sont bien possibles. Une maison bien orientée avec une isolation complète de l'enveloppe affiche des températures acceptables et des besoins en énergie très réduits.

Ce logiciel a permis un gain de temps précieux, une amélioration de la fiabilité des résultats dans l'étude de l'isolation thermique et l'effet de l'inertie thermique.

Introduction :

Un choix judicieux du matériau de construction et une bonne isolation de l'enveloppe de la maison permettent de faire de substantielles économies d'énergie et contribuent aussi à réduire les émissions du gaz à effet de serre. Nous allons présenter dans cette partie quelques avantages de BTS et déterminer l'épaisseur optimale de l'isolant au niveau des deux éléments dont on a constaté plus de réduction de charges, à savoir la toiture et les murs.

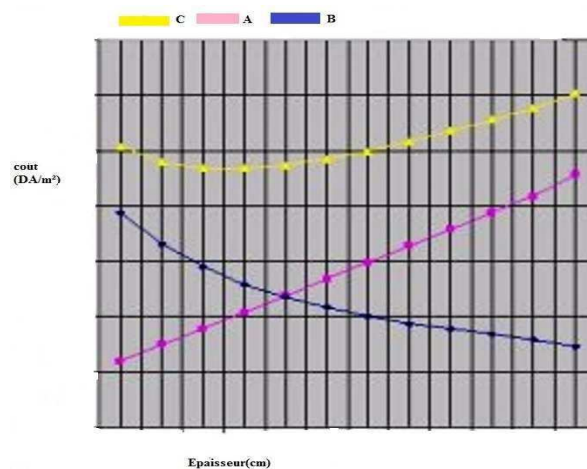
IV.1. Les avantages du BTS :

En plus de ses caractéristiques physiques qui permettent d'économiser l'énergie, du point de vue économique le BTS présente certains avantages qui font de lui un choix intéressant.

- ✓ La première chose qui attire notre attention c'est l'abondance de l'élément qui constitue plus de 90% de ce matériau à savoir la terre, et la facilité d'accès à cette matière.
- ✓ Le procédé de fabrication du BTS est très simple et il n'est ni gourmand en énergie ni polluant, contrairement à celui la brique qui consomme de l'énergie et rejette du gaz à effet de serre.
- ✓ La solidité de ce matériau qui contient de 7 à 10% du ciment.
- ✓ La facilité de construction.

IV.2. Epaisseur optimal d'isolation :

Nous représentons sur un graphe à coordonnées cartésiennes les dépenses, ramenées au mètre carré de surface habitable et à l'année, dues à l'investissement (dépenses d'isolation) [17]. On obtient en général un graphique comme celui représenté sur la figure ci-dessous :



Nous additionnons les deux fonctions (courbe $C=A+B$), on obtient une nouvelle fonction qui représente le coût thermique global ; cette courbe fait apparaître un minimum qui correspond à l'épaisseur optimale d'isolation, c'est-à-dire celle qui est la plus rentable pour l'usage.

- ✓ La détermination des épaisseurs d'isolation optimales a été effectuée pour la maison sur la base des hypothèses suivantes.
- ✓ Le coût de polystyrène est de 7500DA/m³, fourniture+pose (prix de l'année 2012).
- ✓ La relation entre la charge de chauffage Q_{ch} (KWh) et le volume du gaz nécessaire V (m³) a été déterminée de la façon suivante :

$$V = \frac{Q_{ch}}{r * PCI} \quad (23)$$

Ou :

- r étant le rendement de l'installation, il est de l'ordre de 64%
- PCI est le pouvoir calorifique inférieur du combustible, avec $PCI=36,3 \text{ MJ /m}^3$

Prix de gaz=1,4DA /m³

On obtient la relation entre la charge de chauffage Q_{ch} et le prix P (DA)=0,184* Q_{ch} .

Les coûts des charges en chauffage seront ramenés à 1m² : $P \text{ (DA/m}^2\text{)} = (0,184 * Q_{ch})/S$.

- ✓ Le coût des charges en climatisation pour 1m² seront calculés comme suit :

$$P(\text{DA}) = (0,4177 * Q_{cl})/S.$$

Ou : 4,177 est le prix unitaire de l'électricité en Algérie

Q_{cl} : la charge en climatisation.

- ✓ Le coût de l'isolation représente le coût de l'investissement ; pour amortir ce coût, on considérera que la durée τ d'amortissement et de 20 ans.

On pose : C_{inv} : coût de l'investissement (DA),

C_i : coût de l'isolant (DA),

S : surface habitable (m²),

On a :

$$C_{inv} = \frac{C_i}{S * \tau} \quad (24)$$

On obtient les résultats suivants représentés sur les figures suivantes :

IV.2.1. Epaisseur optimal pour la toiture :

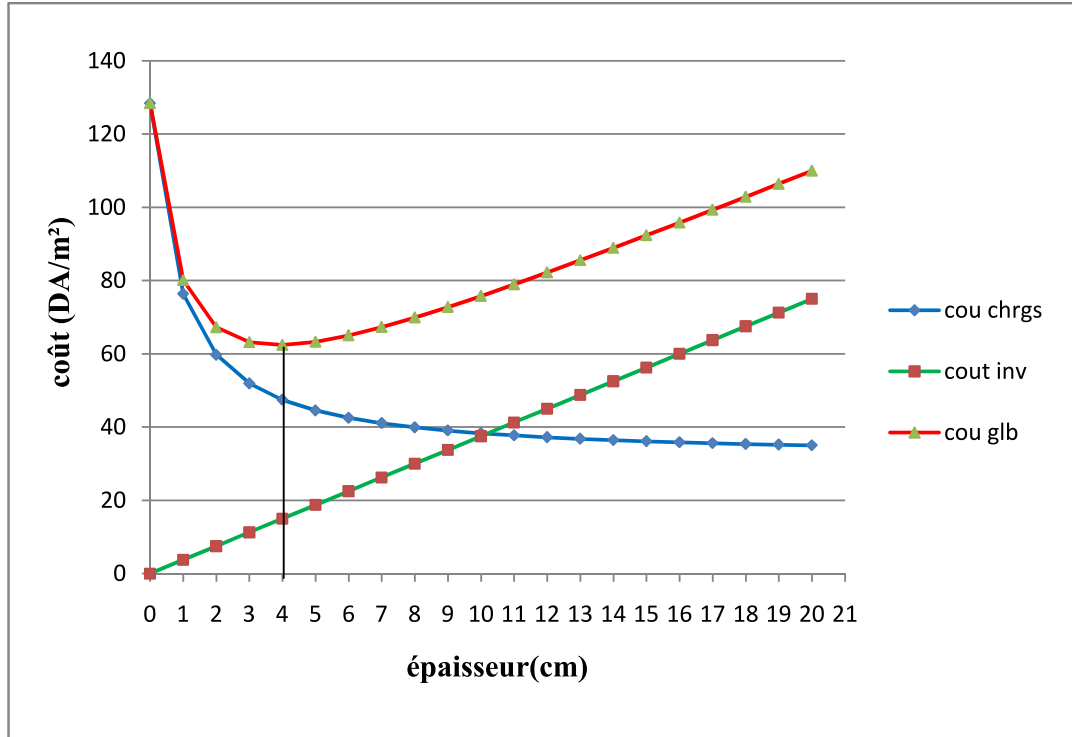


Figure III-21 : Epaisseur optimal d'isolant pour la toiture

Il apparait sur le graphe que l'épaisseur optimale est de 4 cm.

IV.2.2 Epaisseur optimal pour les murs :

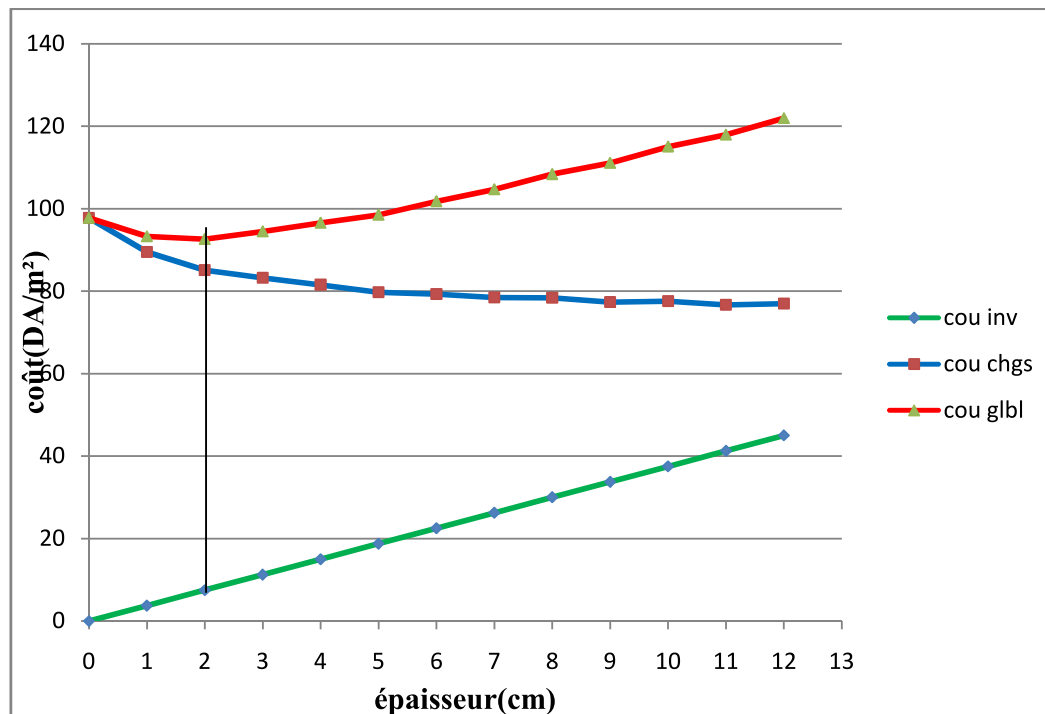


Figure III-22 : Epaisseur optimal d'isolant pour les murs

Les résultats du graphe montrent qu'une épaisseur de 2cm répond à l'exigence de rentabilité.

Conclusion :

Si les résultats des simulations permettent de dire qu'on peut aller jusqu'à 10cm d'épaisseur dans l'isolation de la toiture, l'étude technico-économique montre qu'au-delà de 4cm dans la toiture et 2cm dans les murs l'isolation ne sera plus rentable. Cela s'explique par le prix du polystyrène qui reste relativement chère en Algérie, contrairement aux prix de l'électricité et du gaz qui eux bénéficient d'une subvention de la part de l'état. Mais l'enjeu pour l'état est de taille, par ce qu'en optant pour une politique d'aide aux techniques bioclimatiques elle réduira la consommation nationale qui pèsent de plus en plus lourdement sur les dépenses publiques. Cette politique amortira le rythme d'exploitation du gaz et son utilisation pour la production de l'électricité et réduira aussi les dépenses dans les centrales électriques.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Ce travail porte sur l'étude des techniques bioclimatiques susceptibles d'améliorer le confort intérieur de l'habitation tout en réduisant la consommation énergétique.

Il en résulte de cette étude les conclusions suivantes :

- Le choix intelligent du matériau de construction est nécessaire pour minimiser les besoins en chauffage et en climatisation.
- L'orientation de la maison plein sud et l'importance de la surface vitrée dans la face sud permettent de bénéficier au maximum des apports solaires.
- L'isolation appropriée de l'enveloppe de la maison réduit considérablement les besoins en chauffage et en climatisation.

Les résultats de notre étude montrent que des techniques simples peuvent efficacement réduire la consommation énergétique dans l'habitat, ainsi et dans le cas de la maison étudiée la diminution a été de deux tiers, ce qui constitue un intérêt énorme dans la mesure où c'est l'exploitation de l'énergie fossile qui sera diminuée compensée par une énergie propre contribuant ainsi efficacement à réduire les émissions du gaz à effet de serre.

D'autre part cette diminution de la consommation énergétique aura des retombées positives sur l'économie nationale en améliorant le pouvoir d'achat des ménages conséquence directe de la diminution des factures de gaz et d'électricité. Comme elle permettra à notre pays de gagner plus de temps pour réussir sa transition énergétique et augmenter la durée de vie de son réserve en matière d'énergie fossile qui constitue la manne essentielle qui fait tourner l'économie nationale.

En fin, cette étude a confirmé l'importance d'une politique d'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment, d'où la nécessité pour l'état de veiller au respect de la réglementation pour éviter le gaspillage de l'énergie, et d'encourager aussi les travaux de recherches menés dans ce sens.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] IEA World Energy Outlook 2006 –Année2004.
- [2] Journal Officiel de République Algérienne, ‘Loi N°99-09 du 28 Juillet 1999 Relative à la Maîtrise de l’Energie’, J.O.R.A., N°51, 2 Août 1999, Alger, Algérie.
- [3] Journal Officiel de République Algérienne, ‘Décret exécutif N°2000-90 du 24 Avril 2000 Portant Réglementation Thermique dans les Bâtiments Neufs’, J.O.R.A., N°25, 30 Avril 2000, Alger, Algérie.
- [4] "DTR C3-2 : "Réglementation thermique des bâtiments d’habitation – Règle de calcul des déperditions calorifiques", CNERIB, Alger, décembre 1997.
- [5] "DTR C3-4 : Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments - Climatisation", CNERIB, Alger, Août 1998.
- [6] Consommation énergétique finale de l’Algérie, APRUE, Ministère de l’énergie et des mines, Algérie, Edition 2009.
- [7] Statistique Review of world énergy 2012(chiffre 2911).
- [8] AIE énergy Balance for world).
- [9] (Porter, 1985; Ringland, 2002a). Ringland, 2002a et 2002b.
- [10] Peterson Institue for International Economics. Prospects for Greater Global and Regional Itegration in the Maghreb. Energy Sector Study Draft May 2008.
- [11] www.aprue.org.dz, chiffres clés 2007.
- [12] « habitat, confort et énergie » Pierre Hollmuller, CUEPE 2003
- [13] J.B.Michel.2004.
- [14]Jean Yves Palheire, 2004.
- [15] ADEME Graphies.
- [16] www.ideesmaison.com.
- [17]L’isolation acoustique et thermique dans le bâtiment ; C.Rougeron ; Livre ; Eyrolles ; 1979.