

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*

---

**Université SAAD DAHLAB -Blida-**  
**Faculté de technologie**  
**Département de Mécanique**

---

*Mémoire de Fin d'Etudes*

*Pour l'Obtention du Diplôme de master*

*En Génie Mécanique*  
*Option : énergies renouvelables*

---

*Thème :*

*L'effet de l'isolation sur le comportement  
thermique de l'habitat*

---

*Réalisé par :*

**MENAD SARAH**

*Proposé et dirigé par :*

**Promotrice : Dr R. KHARCHI**

**Co-Promoteur: Dr A.HAMID.**

# *Dédicaces*

*Que ce travail témoigne de mes respects :*

*A mes parents :*

*Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.*

*Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.*

*Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.*

*A mes frères.*

*A la famille **MENAD** et **LEMMOU**.*

*Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.*

*A tous mes professeurs :*

*Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.*

*A tous mes amis et mes collègues :*

*Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.*

**MENAD SARAH**

# *Remerciements*

*Tout d'abord, je remercie le Dieu, notre créateur de m'avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.*

*J'adresse le grand remerciement à ma promotrice Dr **KHARCHI RAZIKA** qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail.*

*Je remercie mon co-promoteur Dr **HAMID ABELKADER** pour sa collaboration, son soutien et ses conseils.*

*Je tiens également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de siéger à ma soutenance.*

*Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma famille qui m'a toujours soutenue et à tout ce qui ont participé à la réalisation de ce mémoire. Ainsi que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation.*

## *Résumé*

Le but de ce travail, est l'étude de l'effet de l'isolation sur le comportement thermique d'une maison construite avec des matériaux locaux et selon les normes algériennes de construction. A ce propos, des simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel de simulation du comportement thermique 'TRNSYS 16' avec le modèle numérique type 56. Ce projet vise l'introduction des matériaux isolants dans un bâtiment afin d'améliorer le confort thermique et de réduire l'énergie consommée. Diverses solutions ou variantes ont été proposées, qui permettent de faire un choix pertinent assurant un meilleur confort thermique de cette maison tout en étant très peu gourmand en énergie.

## *Abstract*

The purpose of our work concerns the study of the isolation effect upon the thermal behaviour of a house built with local materials according to Algerian building standards. In this regard, some simulations have been performed using the energy simulation software package 'TRYNSYS 16' with the numerical model type 56. Our project involves the introduction of insulating materials in a building, so as to improve the thermal comfort and reduce the consumed energy. Different solutions and variants were proposed, in order to make a relevant choice, ensuring the best thermal comfort of a house while being as less energy-greedy as possible.

## *المخلص*

الغرض من هذا العمل هو دراسة تأثير العزل الحراري على السلوك الحراري لمنزل بني بمواد محلية حسب معايير البناء الجزائري. وفي هذا الصدد، اجريت المحاكاة عن طريق برنامج محاكاة السلوك الحراري trnsys 16 مع نموذج عددي نوع 56. ويهدف هذا المشروع إلى إدخال مواد العزل في مبنى بغرض تحسين الراحة الحرارية وتخفيضاً كاملاً للطاقة. مختلف الحلول أو البدائل المقترحة تسمح باختيار مناسب، يؤمن راحة حرارية أفضل للمنزل، وهذا بنسبة قليلة من الطاقة.

## Nomenclature

**r** : épaisseur [m]

**R** : résistance thermique [ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ]

**R<sub>g</sub>** : résistance thermique globale [ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ]

**U** : Coefficient de transmission thermique [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]

**V** : le volume de l'habitat,

$\Delta T$  : différence de températures entre l'intérieur et l'extérieur de l'habitat.

**D<sub>i</sub>** : Les déperditions totales du volume i [ $\text{W}/^\circ\text{C}$ ]

**(D<sub>T</sub>)<sub>i</sub>** : les déperditions par transmission du volume i, [ $\text{W}/^\circ\text{C}$ ]

**(D<sub>R</sub>)<sub>i</sub>** : les déperditions par renouvellement d'air du volume i. [ $\text{W}/^\circ\text{C}$ ]

**(D<sub>S</sub>)<sub>i</sub>** : les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur, [ $\text{W}/^\circ\text{C}$ ]

**(D<sub>li</sub>)<sub>i</sub>** : les déperditions à travers les liaisons, [ $\text{W}/^\circ\text{C}$ ]

**(D<sub>sol</sub>)<sub>i</sub>** : les déperditions à travers les parois en contact avec le sol, [ $\text{W}/^\circ\text{C}$ ]

**(D<sub>Inc</sub>)<sub>i</sub>** : les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés .  
[ $\text{W}/^\circ\text{C}$ ]

**(D<sub>RV</sub>)** : représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation, [ $\text{W}/^\circ\text{C}$ ]

**(D<sub>Rs</sub>)<sub>i</sub>** : les déperditions supplémentaires dues au vent . [ $\text{W}/^\circ\text{C}$ ]

**D<sub>T</sub>** : (les déperditions par transmission du logement, [ $\text{W}/^\circ\text{C}$ ]

**D<sub>réf</sub>** : les déperditions de référence. [ $\text{W}/^\circ\text{C}$ ]

**(D<sub>B</sub>)** : les déperditions de base de chaque volume thermique i. [W]

**t<sub>bi</sub>** : la température intérieure de base du volume considéré ; [ $^\circ\text{C}$ ]

**t<sub>be</sub>** : la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction. [ $^\circ\text{C}$ ]

**K** : le coefficient de transmission surfacique ; [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]

**A** : la surface intérieure de la paroi. [ $\text{m}^2$ ]

**K<sub>l</sub>** : le coefficient de Transmission linéique de la liaison, [ $\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ ]

**L** : la longueur intérieure de la liaison. [**m**]

**Q<sub>v</sub>** le débit spécifique de ventilation ; [**m<sup>3</sup>/h**]

**Q<sub>s</sub>** : le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent. [**m<sup>3</sup>/h**]

**V<sub>h</sub>** : le volume habitable ; [**m<sup>3</sup>**]

**Q<sub>vréf</sub>** : le débit extrait de référence. [**m<sup>3</sup>/h**]

**APO** les apports par les parois opaques, [**W**]

**AV** : les apports à travers les parois vitrées, [**W**]

**AI<sub>s</sub>** et **AI<sub>i</sub>** : les parties sensibles et latentes des apports internes, .[**W**]

**AINF<sub>s</sub>** et **AINF<sub>1</sub>** : les parties sensibles et latentes des apports dus aux infiltrations d'air.[**W**]

**K<sub>été</sub>** : le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée pour l'été, [**W/ m<sup>2</sup>.°C**]

**S<sub>int</sub>** : la surface intérieure totale de la paroi considérée ; pour les toitures en pente, on prendra la projection horizontale de la surface ; [**m<sup>2</sup>**]

**K<sub>été</sub>** : est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée [**W/ m<sup>2</sup>.°C**]

**S<sub>int</sub>** : la surface intérieure de la paroi considérée, [**m<sup>2</sup>**]

**TS<sub>a</sub>** : la température sèche de l'air intérieur du local adjacent,[**°C**]

**TS<sub>b,i</sub>** : la température sèche de l'air intérieur du local considéré. [**°C**]

**K<sub>été</sub>** : le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée [**W/ m<sup>2</sup>.°C**]

**S<sub>int</sub>** : la surface intérieure de la paroi considérée, [**m<sup>2</sup>**]

**ΔT<sub>Inc</sub>(t)** : l'écart de température entre l'espace non conditionné et le local considéré. [**C**]

**K<sub>été</sub>** : le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée [**W/ m<sup>2</sup>.°C**]

**S<sub>ouv</sub>** : la surface de l'ouverture dans, la paroi opaque,[**m<sup>2</sup>**]

**T<sub>se</sub>(t)** : la température extérieure sèche à l'heure t, [**C**]

$C_{inc}$  : un coefficient correcteur,

$AVT(t)$  : les gains dus au 'gradient de température à travers les parois vitrées, [W]

$AVE(t)$  : les gains dus au rayonnement solaire ' à travers les parois vitrées.[W]

$K_{été}$  : le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée, [W/m<sup>2</sup>.°C]

$S_{ouv}$  : la surface de l'ouverture dans la paroi opaque, [m<sup>2</sup>]

$TS_e(t)$  : la température extérieure sèche à l'heure t, , [°C]

$TS_{b,i}$  : la température intérieure de base. , [°C]

$Ai_{s,j}$  : la partie sensible de l'apport interne j, [W]

$Ai_{1,j}$  : la partie latente de l'apport interne j, [W]

$W_n$  : la puissance nominale de l'ampoule ou du tube fluorescent ;

$C_{me}$  : un coefficient de majoration [W]

$C_{cr}$  : le pourcentage de chaleur résiduelle correspondant à la part d'énergie restant dans la salle

$qv_n$  : le débit nominal de l'appareil, [ m<sup>3</sup>/s]

$PC_{sup}$  : le pouvoir calorifique supérieur du combustible ; [J/m<sup>3</sup>]

$m_{vap}$  : la masse d'eau apportée par la combustion du gaz, [kg/m<sup>3</sup>]

$PS_{eau}$  : la pression de vapeur saturante de la couche d'air en contact avec le' plan d'eau (et donc à la même température) ; [Pa]

$PP_i$  : la pression partielle de vapeur d'eau de l'air ambiant [Pa]

$l$  : la longueur totale du conduit mesurée à l'intérieur du local climatisé, [m]

$T_{a,c}$  : la température moyenne de l'air circulant dans le conduit, [°C]

$TS_{b,i}$  : est la température sèche de l'air du local climatisé, [°C]

## **Symboles grecques**

$\lambda$  : conductivité thermique [W/m.K]

$\beta$  : taux de renouvellement d'air

## **Acronymes :**

**DTR** : Document technique réglementaire.

**CNERIB** : Centre national d'étude et de recherche intégrée en bâtiment

**CDER** : Centre de développement des énergies renouvelables

## **Liste des tableaux**

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

**Tableau II.1.** Bilan énergétique d'un bâtiment

**Tableau II.2.** Détermination des coefficients en fonction de la zone climatique.

**Tableau II.3.** Température extérieure de base

**Tableau II.4.** Coefficient de simultanéité des gains internes.

**Tableau II.5.** Valeurs de  $C_{cr}$

**Tableau III.2.** Caractéristiques thermiques des différentes parois de la maison

## **Liste des figures :**

**Figure III.1.** La maison prototype situé au CNERIB (à Souidania)

**Figure III.2.** Plan de masse de la maison prototype

**Figure III.3.** Mur extérieur

**Figure III.4.** Isolation des murs extérieurs

**Figure III.5.** Plancher bas sur terre-plein

**Figure III.6.** Toiture

**Figure III.7.** Mur interne (Un panneau de BTS)

**Figure III.8.** Les locaux chauffés

**Figure V.1.** Evolution de la température intérieure de la maison au cours de l'année

**Figure V.2.** Evolution de la température intérieure de la maison pendant le mois de Janvier

**Figure V.3.** Evolution de la température pendant une semaine de Janvier (du 07 au 14)

**Figure V.4.** Evolution de la température intérieure de la maison pendant le mois d'Aout



**Figure V.5.** Evolution de la température intérieure de la maison pendant une semaine d'Aout (7/14).

**Figure V.6.** Evolution des températures intérieures pour des taux différents.

**Figure V.7.** Evolution des températures intérieures et la température extérieure pendant une semaine du mois d'Aout

**Figure V.8.** Evolution de la température intérieure de la maison pendant une semaine d'Aout (2013)

# SOMMAIRE

<b>Remerciements</b>	
<b>Dédicaces</b>	
<b>Nomenclature</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Introduction générale</b>	<b>01</b>

## **Chapitre I: Etat De l'art Et Recherche Bibliographique**

<b>A. Généralité</b>	<b>04</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>04</b>
<b>2. Le confort thermique</b>	<b>04</b>
2.1 Le confort dans l'habitat	<b>04</b>
2.2 Le confort thermique :	<b>04</b>
2.3 Les phénomènes physiques en jeu	<b>05</b>
<b>3. Efficacité énergétique</b>	<b>07</b>
3.1 Définition	<b>07</b>
3.2 Démarche et étapes de l'efficacité énergétique	<b>07</b>
<b>4. Performance énergétique</b>	<b>08</b>
<b>5. Enveloppe d'un bâtiment</b>	<b>09</b>
<b>6. L'isolation thermique</b>	<b>10</b>
6.1 Définition	<b>10</b>
6.2 Comment choisir son isolant ?	<b>10</b>
<b>7. Les ponts thermiques</b>	<b>11</b>
7.1 Définition	<b>11</b>
7.2 Types de pont thermique	<b>11</b>
<b>B. Etat De L'art</b>	<b>12</b>

## **Chapitre II : Bilan Thermique D'un Bâtiment**

<b>II.1 Introduction</b>	<b>18</b>
<b>II.2. Bilan énergétique</b>	<b>18</b>

## **II.3. Calcul des déperditions et apports calorifique**

### **19 II.3.1. Les déperditions**

**19**

II.3.1.1. Déperditions totales d'un logement	<b>19</b>
II.3.1.3. Déperditions par transmission d'un volume	<b>19</b>
II.3.1.4. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume	<b>20</b>
II.3.1.5. Relation entre les déperditions du logement et les déperditions des volumes	
II.3.1.6. Vérification et déperditions de référence	<b>20</b>
• Vérification réglementaire	<b>20</b>
II.3.1.7 Calcul des déperditions de référence	<b>20</b>
II.3.1.8. Calcul des déperditions de base	<b>20</b>
• Déperditions de base totales	<b>21</b>
II.3.1.9. Déperditions de base pour un volume	<b>21</b>
• Température intérieure de base	<b>22</b>
• Température extérieure de base	<b>22</b>
II.3.1.10. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois	<b>23</b>
• Paroi séparant deux ambiances à des températures différentes	<b>23</b>
• Paroi séparant deux ambiances à la même température	<b>23</b>
II.3.1.11. Déperditions à travers les ponts thermiques	<b>24</b>
II.3.1.12. Déperditions à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés	<b>25</b>
II.3.1.13. Déperditions par renouvellement d'air	<b>25</b>
• Débit spécifique de ventilation	<b>26</b>
• Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent	<b>27</b>
<b>II.3.2 Apports calorifiques des bâtiments</b>	<b>27</b>
II.3.2.1. Apports à travers les parois opaques	<b>29</b>
• Parois aériennes	<b>29</b>
• Parois intérieures	<b>29</b>
II.3.2.2 Apports à travers les parois vitrées	<b>30</b>
II.3.2.3. Apports de chaleur interne	<b>32</b>
<b>II.3.3 Calcul des gains</b>	<b>34</b>
II.3.3.1 Gains dus aux occupants	<b>34</b>
II.3.3.2 Gains dus aux machines électriques	<b>34</b>
II.3.3.3 Gains dus à l'éclairage	<b>35</b>
II.3.3.4. Gains dus aux appareils à gaz	<b>35</b>
II.3.3.5 Gains par évaporation	<b>35</b>
II.3.3.6 Apports par les conduits d'air	<b>36</b>
<b>II.4. Conclusion</b>	<b>36</b>

## **Chapitre III : Description De L'habitat Etudie**

<b>III.1. Introduction</b>	<b>37</b>
<b>III.2. Présentation de la maison</b>	<b>37</b>
<b>III.3. Isolation thermique de l'enveloppe</b>	<b>39</b>
III.3.1. Composition des parois	39
• Mur extérieur	39
• Plancher bas sur terre-plein	40
• Plancher haut	40
• les murs internes	41
III.3.2. Résistance thermique des parois	42
III.3.3. Les locaux chauffés	42
<b>3.4. Conclusion</b>	<b>43</b>

## **Chapitre IV : Simulation Sous TRNSYS**

<b>IV.1.Introduction</b>	<b>44</b>
<b>IV.2.TRNSYS</b>	<b>44</b>
<b>IV.3. Simulation sous TRNSYS</b>	<b>46</b>
<b>IV.4.Définition de la maison dans TRNBuild</b>	<b>50</b>
IV.4.1. Calcul sous TRNSYS en utilisant le polystyrène	51
IV.4.2 Calcul sous TRNSYS en utilisant lame d'air	53
IV.4.3. Calcul sous TRNSYS en utilisant la laine de roche	54
<b>IV.5.Conclusion</b>	<b>55</b>

## **Chapitre V : Résultats Et Interprétation**

<b>V.1. Introduction</b>	<b>56</b>
<b>V.2. Interprétation</b>	<b>56</b>
V.2.1.Evolution annuelle des températures	56
V.2.2. Saison Hivernale	57
V.2.3. Evolution Estivale	58
V.2.4.Rafrachissement passif par ventilation naturelle	60
V.2.5.Comparaison avec les valeurs mesurées	62
<b>V.3. Conclusion</b>	<b>63</b>
<b>Conclusion Générale</b>	<b>65</b>
<b>Référence</b>	

# INTRODUCTION GENERALE

Le changement climatique et ses conséquences pour l'homme et pour la planète sont sans aucun doute l'un des plus grands défis de l'humanité.

Malgré des messages d'alerte lancés par de nombreux scientifiques depuis des dizaines d'années, et même si les populations émettant le plus de gaz à effet de serre par personne semblent lentement prendre conscience des enjeux, l'information reste encore floue, discrète, voire parfois contradictoire ou manipulée.

Les mesures correctives ou préventives sont, quoi qu'il en soit, encore bien marginales. Malgré le fait que le pétrole soit actuellement en flux tendu sur la planète, et que son cours demeure élevé, l'énergie, dans l'ensemble, est encore relativement abondante et bon marché. Ces deux caractéristiques font qu'elle est largement gaspillée, même si la prise de conscience de sa raréfaction et des conséquences de l'utilisation des énergies fossiles sur le changement climatique percole de plus en plus dans la mentalité des individus les plus consommateurs, c'est-à-dire ceux des pays dits développés.

Si cette prise de conscience grandit au sein de la population et des autorités, les actions concrètes ont cependant du mal à émerger. Le défi est pourtant de taille, car il s'agit de répondre aux besoins croissants en énergies de la planète et au développement économique des pays les plus pauvres, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre [1]. Les gaspillages énergétiques, abondants sur la planète, sont un des fléaux à éliminer.

Un bâtiment à énergie positive doit pouvoir limiter au maximum ses besoins de chauffage en hiver et la surchauffe en été. La forte isolation thermique et l'étanchéité à l'air de son enveloppe visent à réduire les échanges thermiques avec l'extérieur, cependant le renouvellement de l'air est nécessaire, à la fois pour maintenir la bonne qualité de l'air intérieur et pour apporter l'oxygène aux occupants, mais aussi pour participer, lorsque c'est possible, au préchauffage ou au rafraîchissement du bâtiment. Ce renouvellement d'air, lorsqu'il est spontané (infiltrations, ventilation naturelle par les ouvertures), s'accompagne d'un échange de chaleur et d'humidité qui peut dégrader les conditions de confort hygrothermique. C'est pourquoi l'amélioration des performances thermiques du bâtiment nécessite la maîtrise des échanges d'air.

La demande mondiale d'énergie primaire a augmenté rapidement en raison de l'augmentation de la population et l'industrialisation [2]. plus d'un tiers de la demande énergétique dans le monde est utilisée dans le secteur résidentiel.

La consommation d'énergie dans le monde par les équipements de CVC (chauffage, ventilation et climatisation) dans les bâtiments varie de 16 à 50% de la consommation totale d'énergie

L'Algérie est un pays qui jouit d'une position relativement enviable en matière énergétique [3]. Les réserves en hydrocarbures dont il dispose et les niveaux actuels de consommation nécessaire à la couverture de ses besoins propres lui permettent de rester serein pour quelque 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.

La consommation d'énergie peut être considérablement réduite par l'adoption des stratégies d'efficacité d'énergie dans le bâtiment et cela en proposant des composants de l'enveloppe plus efficaces [4] des améliorations respectives d'une énergie du point de vue de l'efficacité. Différents types de murs énergétiques efficaces, tels que les murs trombe, façade ventilées, et des parois vitrées sont envisageables.

L'objet de ce travail est d'étudier l'effet de l'isolation sur le comportement thermique d'une maison, cette dernière fait partie d'un projet pilote situé à Soudania, réalisé en collaboration de deux institutions algériennes CDER (centre de développement des énergies renouvelables) et le CNERIB (centre national d'études et de recherche intégrées du bâtiment) avec une autre multinationale MED-ENEC (Méditerranéen Energy Efficiency in Construction structure).

Ce travail est composé essentiellement de 5 chapitres :

Le premier chapitre comporte des généralités sur l'habitat bioclimatique et une étude bibliographique sur les différents travaux réalisés dans ce thème.

Le second chapitre, le bilan thermique d'un bâtiment est détaillé, on définit les déperditions et les gains calorifiques avec des formules de calcul imposées par un document technique réglementaire utilisé en Algérie(DTR).

Dans le troisième chapitre, la maison prototype est définie, les différentes résistances thermiques des parois sont calculées et présentées sous forme de tableau.

Le quatrième chapitre est réservé à une présentation du logiciel utilisé est les différentes étapes suivies lors de la simulation.

Dans le cinquième chapitre, les résultats obtenus à partir de la simulation sont présentés sous forme de courbes et interprétés.

En fin, on clôture notre travail par une conclusion sur l'essentiel du travail effectué.



**CHAPITRE I :**  
**ETAT DE L'ART ET RECHERCHE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

# A. Généralités

## 1. Introduction

Les paramètres essentiels à considérer dans l'habitat bioclimatique sont le confort thermique, l'enveloppe d'un bâtiment et l'efficacité énergétique, dans ce chapitre on donnera un résumé sur l'état de l'art dans le thème.

## 2. Le confort thermique

### 2.1 Le confort dans l'habitat

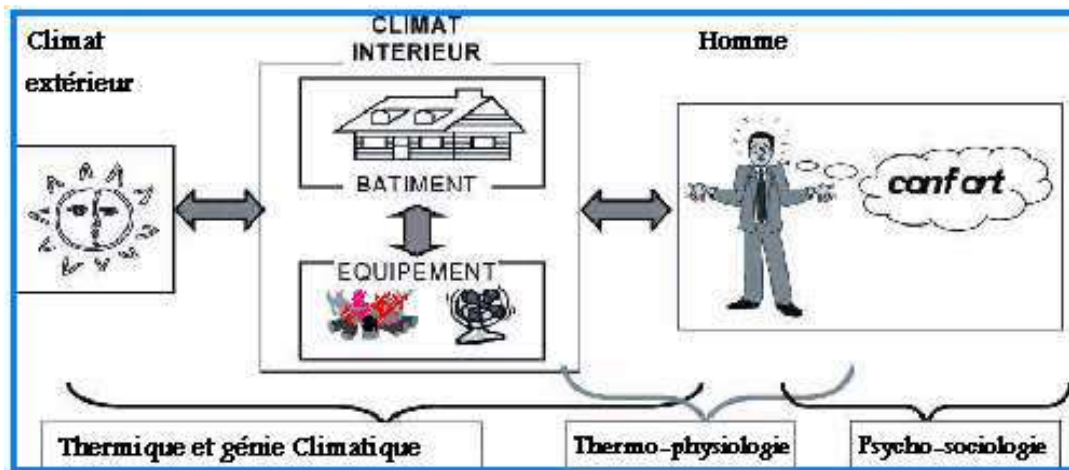
L'homogénéité de la température ambiante, le degré hygrométrique, et la vitesse de l'air sont autant des paramètres qui conditionnent le bien être dans la maison. « *Le Confort dont la formule expressive et synthétique souvent entendue est "être bien chez-soi", le confort doit permettre ce bien être* » [5]. C'est l'état de l'épanouissement moral ou physique de l'individu. En fait le mot confort provient du mot anglais « comfort », apparue en 1816, contribue à la satisfaction et commodité de la vie matérielle. La crise de l'énergie à certain temps a fait passer au premier plan la réduction des coûts énergétiques. Mais à nos jours l'assurance du confort visuel, olfactif, acoustique et thermique ou hygrothermique est devenue l'instinct prépondérant pour tous les décideurs de la conception de l'habitat.[6]

### 2.2 Le confort thermique :

Le confort thermique est la sensation d'équilibre et de contentement exprimé par l'individu envers les conditions thermiques. Définition donnée par ASHRAE ♠ en 1992: "*Thermal Comfort is that condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment*". La création de la balance thermique permet ainsi l'économie de l'énergie au métabolisme. Selon la norme ISO 10551♠, l'homme perçoit et interprète son état thermique en fonction de ses préférences individuelles. Il porte un jugement qui peut être : perceptif, évaluatif, préférentiel... Donc le confort thermique ne se résume pas à des paramètres physiques, mais il fait aussi intervenir des données subjectives.

Le confort thermique est le résultat d'un enchaînement successif de plusieurs phénomènes qui relèvent de différentes disciplines. En génie climatique, il s'agit de déterminer les effets du climat extérieur sur le bâtiment pour le dimensionnement des équipements. Les thermiciens font des études poussées pour connaître les champs de température et l'indice de confort. Tandis qu'en thermo-physiologie, on étudie d'avantage les effets de l'environnement thermique intérieur sur le corps humain pour

le calcul des grandeurs thermo- physiologiques. En fin en psycho- sociologie, on s'intéresse à l'évaluation du climat intérieur par l'être humain grâce à l'interprétation en terme d'acclimatement qui est la composante subjective.[7]



**Figure I.1.** Enchaînement des divers phénomènes intervenant dans les caractéristiques du confort thermique (Source:Thelier et al, 2003)

## 2.3 Les phénomènes physiques en jeu

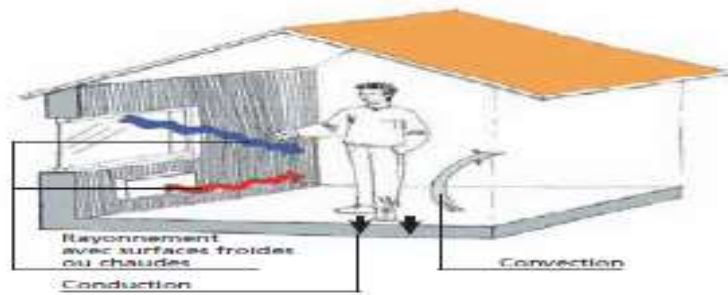
### 2.3.1 Les échanges de chaleur

Les échanges de chaleur entre le bâtiment et son environnement (comme pour le corps humain avec l'environnement) s'effectuent suivant trois modes :

**Par conduction :** il s'agit des échanges thermiques qui ont lieu quand le corps est en contact avec une surface. Ces échanges sont limités en importance.

**Par convection :** il s'agit des échanges de chaleur liés au mouvement de l'air autour du corps. Ils sont d'autant plus intenses que la vitesse de l'air est importante et que l'écart de température entre l'air et le corps est grand.

**Par rayonnement :** il s'agit des échanges de rayonnements infrarouges avec les parois qui peuvent être chaudes ou froides. La recherche d'une ambiance de confort d'un point de vue thermique consiste à trouver un équilibre entre tous ces processus d'échange thermique de manière à ce que les occupants des pièces du logement n'aient ni trop chaud, ni trop froid. [8]



**Figure I.2.** Les échanges thermiques

### 2.3.2 L'inertie thermique

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker l'énergie, traduite par sa capacité thermique. Plus l'inertie est élevée et plus le matériau restitue des quantités importantes de chaleur (ou de fraîcheur), en décalage par rapport aux variations thermiques extérieures (le matériau mettant plus de temps à s'chauffer ou à se refroidir).

En général, plus un matériau est lourd et plus il a d'inertie.

L'inertie thermique est utilisée en construction pour atténuer les variations de température extérieure, et permet de limiter un refroidissement ou une surchauffe trop importante à l'intérieur. Elle n'est toutefois pas toujours adaptée aux locaux occupés et chauffés de manière intermittente.

Pour bien utiliser l'inertie d'un bâtiment, il faut considérer la vitesse de réponse des matériaux pour transmettre une variation de température, traduite par la diffusivité thermique. En effet, l'inertie permet de tempérer les amplitudes journalières de températures intérieures face aux variations de températures extérieures, ce qui est générateur de confort et d'économie pour les locaux chauffés en permanence. [9]

### 2.3.3 L'effusivité thermique

L'effusivité thermique caractérise la rapidité avec laquelle la température superficielle d'un matériau s'élève. Plus elle est grande et plus le matériau absorbe rapidement les apports de chaleur (internes ou solaires) sans que la température du local s'élève notablement.

Dans un climat tempéré à froid, les revêtements à effusivité faible sont plus appréciés (bois par exemple). C'est l'inverse dans un climat chaud, où les revêtements à effusivité forte sont préférés (grès, faïence,...) [9]

### 3. Efficacité énergétique

#### 3.1. Définition

L'efficacité énergétique peut se définir comme le rapport entre le service délivré au sens large (performance, produit, énergie, confort, service) et l'énergie qui y a été consacrée.

L'amélioration de l'efficacité énergétique consiste donc, par rapport à une situation de référence soit à :

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

Ainsi, les solutions d'efficacité énergétique visent à améliorer la performance délivrée avec une moindre consommation d'énergie [10]



Figure I.3. Les leviers de l'efficacité énergétique

#### 3.2. Démarche et étapes de l'efficacité énergétique

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

- la diminution des besoins qui sont relatifs au bâti,
- l'amélioration des équipements techniques du bâtiment et leur gestion,
- le comportement de l'utilisateur.



- |  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Affichage des consommations</li> <li>• Répartition des frais de chauffage dans le logement collectif</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Systèmes intelligents de mesure et de régulation</li> <li>• Automatismes</li> <li>• Produits performants</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation (murs, fenêtres,...)</li> <li>• Perméabilité à l'air</li> </ul> | <p>→ Réduction des consommations (facteur énergétique) et/ou</p> <p>→ Amélioration du service rendu à consommation égale</p> |
|--|--|--|--|

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

- aux aspects techniques ;
- aux équipements, systèmes et solutions à mettre en œuvre ;
- aux coûts d'exploitation et de maintenance ;
- aux méthodes de financement ;
- aux temps de retour sur investissement.

La conception efficace ne se suffit pas à elle-même. Elle doit être appuyée à chaque instant par une gestion rationnelle de l'énergie. La maîtrise des consommations consiste à devenir acteur conscient de ses consommations [10].

#### 4. Performance énergétique

- La performance énergétique d'un bâtiment correspond à la quantité d'énergie consommée ou estimée dans le cadre d'une utilisation normale du bâtiment. Elle inclut notamment l'énergie utilisée pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, le refroidissement (éventuellement), la ventilation et l'éclairage. Plus la quantité d'énergie nécessaire est faible, meilleure est la performance énergétique de votre habitat.
- La performance énergétique d'un logement est liée à l'efficacité énergétique de chacun de vos équipements, ainsi qu'à l'usage que vous en faites au quotidien : votre comportement est donc essentiel pour optimiser la performance énergétique de votre habitat.
- Les logements anciens, construits avant 1980, sont souvent très énergivores. Des travaux de rénovation énergétique vous permettront d'améliorer la performance énergétique de votre habitat et de réduire votre facture de chauffage.

- Dans les logements neufs, l'intégration des énergies renouvelables (solaire, biomasse, puits canadiens, etc.), peut contribuer à une meilleure performance énergétique, de même que les pompes à chaleur, les générateurs et chaudières à haut rendement, et les émetteurs de chauffage basse température comme le plancher chauffant.

## **5. Enveloppe d'un bâtiment**

Le rôle premier d'un bâtiment est d'assurer à ses occupants un climat intérieur agréable et peu dépendant des conditions extérieures .notamment météorologiques et acoustiques .pour assurer un environnement confortables .il est nécessaire de répondre à des exigences de confort thermique .acoustique optique et d'assurer une bonne qualité de l'air.

L'enveloppe thermique d'un bâtiment est l'élément de construction qui sépare le volume chauffé de l'environnement extérieur .l'enveloppe d'un bâtiment regroupe :

- Les façades (murs et fenêtres)
- Les verrières
- Les toitures
- Les dalles et murs du sol

La norme SIA180 indique qu'en principe l'enveloppe thermique du bâtiment, qui entoure le volume chauffé, doit être aussi étanche à l'air que possible (les ouvertures de ventilation étant fermées). L'air extérieur nécessaire doit être apporté par l'ouverture manuelle des fenêtres au travers d'ouvertures de ventilation contrôlées ou par une installation de ventilation mécanique.

Pour assurer une bonne qualité de l'environnement intérieur et le confort thermique des bâtiments, on peut appliquer des mesures passives et des mesures actives.

- Les mesures passives qui sont des mesures architecturales et constructives de protection thermique telle que l'isolation thermique de l'enveloppe, une inertie thermique adaptée aux besoins, les protections solaires, le chauffage solaire passif et le refroidissement passif
- Les mesures actives, quand les mesures passives ne suffisent plus, à savoir l'utilisation de technologies de garantir le confort thermique par des actions mécanique telles les installations de chauffage et de refroidissement.

## **6. L'isolation thermique**

### **6.1. Définition**

**L'isolation thermique est une « barrière à chaleur ».** Elle vise à conserver la chaleur (ou la fraîcheur) 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 ou de climatisation. L'investissement dans des travaux d'isolation est très souvent amorti en quelques années. En effet, environ la moitié de notre facture énergétique dans l'habitat est dédiée au chauffage.

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.

Le meilleur isolant est le vide, suivi de près par l'air sec et immobile. En règle générale, plus un matériau est léger, plus il est isolant thermiquement.[11]

## **6.2. Comment choisir son isolant ?**

Une isolation est caractérisée par sa résistance thermique  $R$ . La conductivité thermique  $\Delta$  caractérise le matériau :

– La conductivité thermique  $\lambda$ , (exprime en  $W/m.K$ ), représente la quantité d'énergie (en Joule) qui traverse en 1 seconde une paroi de 1m d'épaisseur lorsque la différence de température entre chaque côté est de 1 °C. Plus  $\lambda$  est faible, plus le matériau est isolant.

– La résistance thermique  $R$  prend en compte l'épaisseur du matériau. ( $R = \text{épaisseur} / \lambda$ ). Plus  $R$  est élevé, plus l'isolation est efficace.

Cependant, un isolant a d'autres fonctions :

- Les propriétés hygrométriques (la capacité à laisser passer l'humidité) doivent être étudiées avec soin. Une maison bien isolée qui ne respire pas sera malsaine. Pour remédier à cet inconfort, il faudra aérer beaucoup plus, faire entrer de l'air frais, ce qui remet la pertinence de l'isolation en question.
- Les propriétés sanitaires sont aussi très importantes. Par définition, l'isolation vous entoure intégralement, c'est l'enveloppe de votre milieu de vie, il est donc préférable d'utiliser des matériaux sains, si possible naturels : le confort associé à ces matériaux est indiscutable. Une isolation naturelle crée une ambiance saine, une maison dans laquelle « on se sent bien ».

## **7 Les ponts thermiques**

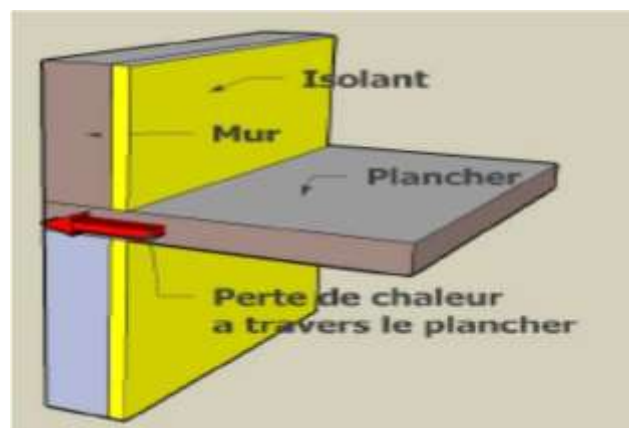
### **7.1. Définition**



Un pont thermique est une partie de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique, par ailleurs uniforme, est modifiée de façon sensible par une absence ou une réduction locale de l'isolation thermique.

Les ponts thermiques entraînent des déperditions de chaleur supplémentaires par rapport aux déperditions à travers les parois du bâtiment. Ces déperditions peuvent dépasser pour certains 40 % des déperditions thermiques totales à travers l'enveloppe.

Un autre effet néfaste des ponts thermiques est le risque de condensation de vapeur d'eau en hiver du côté intérieur en conséquence de l'abaissement des températures superficielles au niveau de la fuite de chaleur.[12]



**Figure I.4.** Pont thermique

## **7.2. Types de pont thermique**

Il existe deux grands types de ponts thermiques :

### **- Les ponts thermiques des liaisons**

Ils se trouvent à la jonction de deux parois de l'enveloppe du bâtiment.

### **• Les ponts thermiques intégrés**

Ils se trouvent au niveau de la surface d'une paroi à chaque interruption ou dégradation de l'isolation thermique. Dans les parois maçonnées en pierre par exemple, ils se trouvent au niveau des joints de mortier.[12]

## **B. ETAT DE L'ART**

Des travaux ont été effectués sur le bâtiment, pour le rendre moins énergivore, en proposant des solutions pour une enveloppe plus performante et des équipements plus efficaces.

Différentes méthodes ont été utilisées pour l'estimation des consommations énergétiques dans le chauffage, eau chaude et conditionnement d'air dans le bâtiment.

Une étude expérimentale et numérique d'une maison rurale à faible consommation d'énergie, réalisée par le Centre National d'Etude et de Recherche Intégré du Bâtiment(CNERIB) dans le cadre du projet MED-ENEC [13]. Cette maison prototype possède certaines caractéristiques d'une maison solaire passive, à savoir une surface vitrée importante orientée sud, une isolation renforcée des parois et une grande masse thermique. Dans ce travail, ils ont effectué des simulations avec le logiciel TRNSYS pour comparer les performances énergétiques de la maison prototype en période d'été (consommation énergétique et confort thermique) avec celles d'une maison classique en Algérie.

Cette étude [14] est menée dans le cadre du projet Med-Enec (Efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment pour les pays méditerranéens). Elle porte sur une analyse expérimentale du comportement thermique d'une maison type de 80 m<sup>2</sup> à faible consommation d'énergie construite à Alger. Des mesures de température de l'air intérieur et extérieur ont été effectuées à l'aide de thermocouples de type K et des mesures de l'humidité relative avec des thermo-hygromètres. Les variations temporelles de température ont été déterminées sur les faces internes et externes des parois constituant l'enveloppe de cette maison type.

Dans ce papier [15], a été présenté l'influence et l'impact de l'inertie thermique de la pierre sur l'efficacité de l'isolation thermique intérieure et extérieure. Ces travaux et activités de recherche permettent de tirer quelques normes et critères qui sont très intéressantes pour agir et acquérir une isolation parfaite et admirable. En résumé, nous arrivons donc à la conclusion selon laquelle :

- L'isolant joue le rôle d'une barrière thermique.
- Durant une période froide, les pertes thermiques sont freinées par l'isolation. Elle valorise efficacement les apports du confort thermique.
- En hiver, malgré la présence du soleil, les températures des surfaces intérieures des murs exposés restent les plus froides. Ceci implique sans aucun doute, le précieux rôle de l'inertie thermique de la pierre. Nous savons que la durée de la nuit durant l'hiver est d'environ 13 heures, elle est plus importante par rapport à la durée d'insolation. Ces conditions sont favorables pour absorber le froid la nuit.

En terme pratique, l'isolation thermique retienne ses engagements si elle est effectuée avant l'entrée de la période chaude ou froide. Cela consiste à dire que pour accéder et

achever une isolation thermique adéquate et conforme, il faut l'effectuer avant l'entrée de l'été ou de l'hiver.

- Une importante inertie associe trois caractères :
- une forte capacité thermique (murs et planchers lourds en contact avec l'air intérieur).
- une conductivité thermique élevée (murs en matériau absorbant).
- une grande surface d'échange
- D'après ces résultats, on peut procéder aussi à des décisions très importantes au niveau de Ghardaïa.

On cite à titre d'exemple :

- Il faut respecter soigneusement les normes et les principes de la conception bioclimatique dans la construction des bâtiments au niveau du site.
- Il ne faut pas surtout bâtir des logements avec la pierre à Ghardaïa. La forte raison c'est que les murs en pierres possèdent une grande capacité d'absorption, d'emmagasiner ou de stockage calorifique. On propose par exemple la brique creuse.

Dans un contexte de raréfaction des ressources énergétiques et d'objectifs de diminution par 4 des émissions de gaz à effet de serre[16], le problème posé aux acteurs de l'industrie du bâtiment est d'élaborer des concepts de bâtiments à forte efficacité énergétique et de disposer des outils d'ingénierie capables de les évaluer. De nombreuses études et retours d'expériences sur des bâtiments atteignant des besoins annuels de chauffage inférieurs à 50 kWh.m<sup>-2</sup>.(incluant chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire, éclairage et ventilation) montrent que la diminution des consommations énergétiques passe par une conception architecturale prenant en compte la compacité du bâtiment et la gestion des apports d'énergie passifs, une sur isolation de l'enveloppe, la mise en place de free-cooling et d'une ventilation double-flux avec récupération de chaleur. Les performances de cette dernière technologie sont directement affectées par le renouvellement d'air naturel à travers les défauts d'étanchéité de l'enveloppe. Il paraît donc primordial de procéder à une évaluation plus fine de ces phénomènes. Un modèle de simulation aéraulique multizone est développé. Il permet d'évaluer les débits d'air dans le bâtiment et s'insère dans un outil d'aide à la conception thermique, COMFIE. Ce modèle est basé sur les hypothèses du mélange parfait et de la conservation de la masse pour chaque zone du bâtiment. Les débits d'air entre deux zones s'expriment en fonction de la différence de pression (causée par le vent et le tirage thermique) entre ces zones. Plusieurs sortes de connexions aérauliques sont implémentées dont les fissures, les entrées d'air et les grandes ouvertures. Le modèle aéraulique utilise les températures du modèle thermique pour qui les débits d'air sont aussi une donnée d'entrée. Les deux modèles sont donc couplés, via une méthode synchrone, jusqu'à ce qu'un critère de convergence soit atteint. Deux études de cas permettent de présenter les fonctionnalités

du modèles : une opération de logement et un “concept building” de bâtiment urbain performant [16].

Le « bâtiment à énergie positive » est un concept de bâtiment très performant [17]. Il peut constituer l’une des réponses possibles aux défis énergétiques et environnementaux d’aujourd’hui.

Pourtant il est encore peu connu et peu mis en œuvre. À la lumière de quelques réalisations, ce concept a été défini et caractérisé, puis différents outils et méthodes ont été identifiés pour permettre l’analyse des performances d’un bâtiment. Compte tenu des spécificités techniques des bâtiments à énergie positive, deux solutions technologiques ont été plus particulièrement étudiées : un système de ventilation intégrant un échangeur air-sol a été modélisé puis validé à partir de données de mesure. Un système de chauffage aéraulique à micro-cogénération a été modélisé à partir de données issues d’un banc d’essai dédié. Les modèles de ces deux systèmes ont été intégrés à un outil de simulation thermique du bâtiment. L’analyse énergétique et environnementale a été appliquée à trois bâtiments réels très performants équipés de différents systèmes de chauffage, à partir de l’outil amélioré et des méthodes les plus adaptées. Le choix du système de chauffage mais aussi les critères d’évaluation retenus influencent fortement les résultats obtenus. Le bâtiment à énergie positive (bilan en énergie primaire) représente la meilleure solution pour la majorité des impacts environnementaux étudiés.

L’analyse des impacts sur le cycle de vie et le calcul de la demande cumulative d’énergie permettent de caractériser finement ses performances environnementales.

Cette recherche [18] consiste à développer une méthodologie et des outils qui visent à améliorer la qualité du processus de conception en s’appuyant sur les travaux du CSTB sur le commissionnement. Ce processus qualité doit permettre d’évaluer régulièrement les différents choix réalisés par les différents acteurs en considérant le bâtiment comme un système complexe composé de sous-systèmes (enveloppe, chauffage, ventilation, etc.), de gérer les imprévus, de minimiser les pertes d’information et de rappeler les objectifs tout au long du cycle de vie du bâtiment.

Le bilan énergétique national de l’année 2005, montre que la consommation finale évaluée à 24,437 Millions de TEP[19], fait ressortir une prédominance de la consommation énergétique du secteur des ménages (soit 52,3 % de la consommation finale) par rapport aux secteurs de l’industrie (23,8 %) et celui des transports (23,9 %). Dans cet article, est présentée une analyse de l’utilisation des différents vecteurs énergétiques dans une habitation individuelle en milieu urbain. A l’aide d’un programme de simulation des paramètres thermiques du bâtiment, nous avons identifié les sources de déperditions énergétiques, ainsi que les possibilités d’économie

d'énergie pour ce bâtiment. Les résultats obtenus sont comparés aux standards publiés, particulièrement pour les maisons à faibles consommations d'énergie.

Les apports de chaleur par les parois vitrées et opaques influent sur la consommation énergétique de l'habitat [20] que ça soit pour le chauffage ou le rafraîchissement, pour cela il faudrait optimiser la surface vitrée et bien isoler le toit, de telle sorte que la demande énergétique soit minimisée.

La demande en froid est très importante surtout au sud et dépasse 3000 kWh/mois, pour cela il faut penser aux protections solaires pour diminuer les apports solaires par les parois vitrées. Par contre pour Alger et Sétif, la demande énergétique atteint les 1500 kWh/mois au maximum, ce qui est acceptable. Le plus intéressant est que la demande en froid varie avec l'ensoleillement, de ce fait utiliser cette source d'énergie pour le conditionnement d'air, et les systèmes de rafraîchissement de l'habitat serait très judicieux.

Un système solaire combiné est une installation solaire qui fournit à la fois de l'eau chaude sanitaire et le chauffage [21], on l'appelle aussi « combi Système ». Dans cet article, nous avons évalué les besoins énergétiques d'un tel système dans le cas d'une famille de cinq personnes sur un site de Bouzaréah, Alger, la surface chauffée par le plancher solaire direct est de 100 m<sup>2</sup> avec un niveau d'isolation moyen. La demande de chauffage varie linéairement avec la température extérieure, proportionnelle au coefficient de pertes de chaleur (UA en W/°C). La demande de chauffage mensuelle atteint  $\approx 1700$  kWh en hivers, en prenant comme température désirée  $T_c = 21^\circ\text{C}$  pour une température extérieure de  $\approx 10^\circ\text{C}$ . La demande en eau chaude sanitaire d'une famille de cinq personnes peut atteindre les 400 kWh/mois mais peut varier de  $\pm 20\%$ .

L'énergie solaire couvre totalement les besoins en été, en mi-saison plus de 50% et en hiver  $\approx 20\%$ , pour cela l'appoint est primordial.

Le bâtiment à haute efficacité énergétique est la seule solution afin de diminuer les dépenses énergétiques et les émissions des gaz à effet de serre. Ce travail [22] consiste à étudier le comportement thermique et énergétique d'une maison construite avec des matériaux locaux et selon les normes algériennes de construction. Une bonne isolation de l'enveloppe ainsi que le double vitrage sont appliqués sur l'habitat étudié. La méthode des degrés jours est utilisée pour l'analyse de la demande énergétique en chauffage et en rafraîchissement. La demande en eau chaude sanitaire est évaluée selon la méthode analytique. Une simulation thermique sous TRNSYS 16 conforte les résultats obtenus par la méthode des degrés jours. Les apports solaires et internes sont très influents sur la consommation énergétique.

Le but de cet article [23], est l'étude thermique et énergétique du centre psychopédagogique 'SAFAA' qui se situe dans la ville d'Oujda (Maroc). A ce propos, des simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel de simulation du comportement thermique en régime dynamique 'TRNSYS 16' avec le modèle numérique type 56. Ce projet vise l'introduction des matériaux isolants dans un bâtiment afin d'améliorer le confort thermique et de réduire l'énergie consommée. Diverses solutions ou variantes ont été proposées, qui permettent de faire un choix pertinent assurant un meilleur confort thermique de cette institution tout en étant très peu gourmand en énergie.

Mohsen *et al.* [24] ont effectué une recherche sur l'économie d'énergie par l'isolation des bâtiments avec différents matériaux comme le polystyrène, la laine de roche, et par une lame d'air. Ils ont constaté que l'économie d'énergie peut atteindre 77 % en utilisant le polystyrène dans l'isolation des murs et du toit.

Aktacir *et al.* [25] ont étudié l'effet de l'isolation sur un simple bâtiment situé à Adana en Turquie (climat méditerranéen). Ils ont montré que l'augmentation des épaisseurs de polystyrène extrudé entraîne une réduction des besoins en énergie de rafraîchissement.

Ozel *et al.* [26] ont utilisé la méthode des différences finies pour déterminer la position et la distribution optimales des isolants sur les murs. Ils ont conclu que l'isolation extérieure des murs constitue la meilleure solution.

Al-Sanea *et al.* [27] ont montré que l'orientation des murs a un effet significatif sur les caractéristiques du transfert de chaleur, alors que cet effet est relativement plus faible sur le coût total et l'épaisseur optimale d'un isolant donné. Dans la même étude, ils ont évoqué le coût total et l'épaisseur optimale d'isolation, ainsi que leurs sensibilités aux changements dans les paramètres économiques.

Fezzioui *et al.* [28] ont utilisé le logiciel TRNSYS pour étudier l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique en période de surchauffe. Ils ont introduit des éléments d'amélioration de l'habitat étudié, tels que l'augmentation de l'inertie thermique, l'isolation des murs extérieurs et de la toiture.

Medjelekh *et al.* [29] ont évalué l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique des bâtiments en réalisant une comparaison entre une maison de l'époque coloniale et une villa contemporaine. Leurs résultats ont montré que l'utilisation d'un matériau local adapté au climat de la région permet d'obtenir un confort hygrothermique et réduire ainsi la consommation d'énergie.

# CHAPITRE II :

## BILAN THERMIQUE D'UN BATIMENT

## II.1 Introduction

Si l'on désire optimiser le confort tout en minimisant la consommation d'énergie, il est nécessaire de comprendre où passent les flux de chaleur et de connaître leur importance. Or il est difficile et onéreux de mesurer tous les flux de chaleur traversant un bâtiment, et cette mesure est impossible sur un bâtiment en projet. C'est pourquoi le calcul du bilan énergétique du bâtiment est d'une grande utilité.

## II.2. Bilan énergétique

Le bilan énergétique du bâtiment est basé sur le fait que pratiquement toute l'énergie entrant dans un bâtiment finit par être transformée en chaleur. Étant donné qu'en moyenne, l'intérieur du bâtiment est à température constante, toute cette énergie finit par en sortir.

**Le bilan énergétique** est une comptabilité des entrées et des sorties d'énergie du bâtiment pendant une période de temps donnée. Ce bilan doit évidemment être équilibré par conservation de l'énergie. Le bilan énergétique détaille donc toutes les pertes et tous les gains, les sommes des gains et des pertes étant égales si la période de consommation est suffisamment grande (par exemple une année, voire un mois s'il n'existe pas de capacité de stockage particulièrement grande) [30].

### Déperditions

### Gains

**Transmission de chaleur au travers de l'enveloppe**

Rayonnement solaire entrant par les fenêtres et autres systèmes de captage passifs

**Transmission de chaleur au travers du sol**

Chaleur métabolique des habitants

**Pertes de chaleur dans l'air vicié**

Capteurs solaires

**Pertes de chaleur dans les égouts (eau chaude)**

Chaleur restituée par la structure

**Chaleur accumulée dans la structure**

**Déperditions des installations techniques**

Apport d'énergie : électricité combustibles

**Total des pertes=Total des gains**



**Tableau II.1.** Bilan énergétique d'un bâtiment [30]

## **II.3. Calcul des déperditions et apports calorifiques des bâtiments : [31]**

### **II.3.1. Les déperditions**

#### **II.3.1.1. Déperditions totales d'un logement**

Les déperditions totales  $D$  pour un logement, contenant plusieurs volumes thermiques, sont données par :

$$D = \sum D_i \text{ [W/°C]} \quad (\text{II.1})$$

Où :

$D_i$ (en W/°C) représente les déperditions totales du volume  $i$ .

#### **II.3.1.2 Déperditions totales d'un volume**

Les déperditions totales  $D_i$  d'un volume  $i$  sont données par :

$$D_i = (D_T)_i + (D_R)_i \quad \text{[W/°C]} \quad (\text{II.2})$$

Où

- $(D_T)_i$  (en W/°C) représente les déperditions par transmission du volume  $i$ ,
- $(D_R)_i$ (en W/°C) représente les déperditions par renouvellement d'air du volume  $i$ .

#### **II.3.1.3. Déperditions par transmission d'un volume**

Les déperditions par transmission  $(D_T)_i$  d'un volume  $i$  sont données par :

$$(D_T)_i = (D_S)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{lnc})_i \quad \text{W/°C]} \quad (\text{II.3})$$

Où

- $(D_S)_i$  (en W/°C) représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur,
- $(D_{li})_i$  (en W/°C) représente les déperditions à travers les liaisons,
- $(D_{sol})_i$  (en W/°C) représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol,

- $(D_{inc})_i$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés .

#### II.3.1.4. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume

Les déperditions par renouvellement d'air d'un volume  $i$   $(D_R)_i$  sont données par :

$$(D_R)_i = (D_{RV})_i + (D_{RS})_i \quad [W/°C] \quad (II.4)$$

Où

- $(D_{RV})_i$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation ,
- $(D_{RS})_i$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions supplémentaires dues au vent .

#### II.3.1.5. Relation entre les déperditions du logement et les déperditions des volumes

Les déperditions par transmission  $D_T$  (en  $W/°C$ ) du logement sont égales à la somme des déperditions par transmission des différents volumes  $i$ , soit  $D_T = \sum (D_T)_i$ .

Les déperditions par renouvellement d'air  $D_R$  (en  $W/°C$ ) du logement sont égales à la somme des déperditions par renouvellement d'air des différents volumes  $i$ ,

$$\text{Soit } D_R = \sum (D_R)_i$$

#### II.3.1.6. Vérification et déperditions de référence

- **Vérification réglementaire**

Les déperditions par transmission  $D_T$  du logement doivent vérifier :

$$D_T \leq 1,05 \times D_{réf} \quad [W/°C] \quad (II.5)$$

Où

- $D_T$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions par transmission du logement,
- $D_{réf}$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions de référence.

#### II.3.1.7 Calcul des déperditions de référence

Les déperditions de référence  $D_{réf}$  sont calculées par la formule suivante :

$$D_{réf} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5 \quad [W/°C] \quad (II.6)$$

Où

- les  $S_i$  (en  $m^2$ ) représentent les surfaces des parois en contact avec l'extérieur, un comble, un vide sanitaire, un local non chauffé ou le sol. Elles concernent respectivement  $S_1$  la toiture,  $S_2$  le plancher bas, y compris les planchers bas sur locaux non chauffés,  $S_3$  les murs,  $S_4$  les portes,  $S_5$  les fenêtres et les portes fenêtres.  $S_1, S_2, S_3$  sont comptées de l'intérieur des locaux,  $S_4$  et  $S_5$  sont comptées en prenant les dimensions du pourtour de l'ouverture dans le mur;

- les coefficients a, b, c, d et e, (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) sont donnés dans le tableau II.2. Ils dépendent de la nature du logement et de la zone climatique.

Zone	Logement individuel					Logement en immeuble collectif				
	a	bcde				abcde				
A	1,10	2,40	1,40	3,50	4,50	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50
B	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50	0,90	2,40	1,20	3,50	4,50
B'	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50	0,90	2,40	1,20	3,50	4,50
C	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50	0,85	2,40	1,20	3,50	4,50
D	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50
D'	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50	2,40	3,40	1,40	3,50	4,50

**Tableau II.2.** détermination des coefficients en fonction de la zone climatique.[31]

Pour le calcul des déperditions de référence, n'ont pas été prises en compte les déperditions de référence par renouvellement d'air.

### II.3.1.8. Calcul des déperditions de base

- **Déperditions de base totales**

Les déperditions de base totales pour un local  $D_B$  contenant plusieurs volumes thermiques, ont pour expression :

$$D_B = \sum (D_B)_i \quad [W] \quad (II.7)$$

Où

$(D_B)_i$  (en W) représente les déperditions de base de chaque volume thermique i.

### II.3.1.9. Déperditions de base pour un volume

Les déperditions de base pour un volume thermique  $(D_B)_i$  ont pour expression :

$$(D_B)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \quad [W] \quad (II.8)$$

Où

- $D_i$  (en W/°C) représente les déperditions totales du volume thermique  $i$  ;
- $t_{bi}$  (en C) est la température intérieure de base du volume considéré ;
- $t_{be}$  (en C) est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction.

- **Température intérieure de base**

La température intérieure de base est la température de l'air que l'on désire obtenir au centre de la pièce en absence de tout apport de chaleur autre que celui fourni par l'installation de chauffage.

Sauf spécifications particulières, on prendra les valeurs suivantes de la température intérieure de base :

- Immeuble d'habitation, maison individuelle
  - ✓ Pièce principale, pièce de service ..... 21°C
  - ✓ Cage d'escalier chauffée, circulation chauffée en continu .....18°C
- Bureau chauffé en continu ..... 21°C
- Magasin chauffé en continu ..... 21°C
- Local artisanal chauffé en continu .....21°C

Dans le cas où des locaux ne sont pas chauffés en continu, ils doivent être considérés comme des locaux non chauffés.

- **Température extérieure de base**

La température extérieure de base est une température telle que les températures minimales quotidiennes ne lui sont inférieures que cinq jours par an.

Par souci d'économie, une installation de chauffage n'est jamais calculée pour assurer le confort optimal pour la température la plus basse de tous les minima annuels. On utilise donc une température extérieure de référence, dite température extérieure de base.

La température extérieure de base est fonction de l'altitude et de la zone climatique où est implanté le projet.

ZONE	Altitude	T <sub>be</sub>	ZONE	Altitude	T <sub>be</sub>
A	< 300	6	C	500 à 1000	-2
	300 à 500	3		≥ 1000	-4
	500 à 1000	1			
	> 1000	-1			
B	< 500	2	D	< 1000	4
	500 à 1000	1		≥ 1000	5
	> 1000	-1			
B'	< 500	0	D'	< 1000	5
	≥ 500	Voir zone B			

**Tableau II.3.** Température extérieure de base [31]

### II.3.1.10. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois

- **Paroi séparant deux ambiances à des températures différentes**

Les déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi, pour une différence de température de 1°C entre les ambiances que sépare cette paroi, sont données par la formule :

$$D_S = K \times A \quad [W/°C] \quad (II.9)$$

Où

- K (en W/ m<sup>2</sup>. °C) est le coefficient de transmission surfacique ;
- A (en m<sup>2</sup>) est la surface intérieure de la paroi.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé du coefficient K.

- **Paroi séparant deux ambiances à la même température**

Dans le cas où une paroi sépare deux ambiances chauffées à la même température, les déperditions par transmission à travers cette paroi sont considérées nulles.

Les flux de chaleur d'un volume à un autre, dans un logement, ne doivent pas être pris en compte, à condition que les pièces du marché fixent des températures différentes pour les pièces d'un même logement.

Dans le cas où une paroi sépare deux bâtiments adjacents chauffés, on considérera, sauf spécifications contraires, qu'ils sont à la même température ; par conséquent, les déperditions à travers cette paroi sont nulles.

### **II.3.1.11. Déperditions à travers les ponts thermiques**

Les déperditions à travers une liaison, ou pont thermique,  $D_{li}$  pour une différence de température de  $1^{\circ}\text{C}$ , sont données par la formule :

$$D_{li} = K_l \times L \quad [W/^{\circ}\text{C}] \quad (\text{II.10})$$

Où

- $K_l$  (en  $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ ) représente le coefficient de Transmission linéique de la liaison,
- $L$  (en m) représente la longueur intérieure de la liaison.

Les liaisons à la jonction des parois (entre deux parois extérieures, entre une paroi intérieure et une paroi extérieure) et les liaisons entre les murs et les menuiseries, appelées communément ponts thermiques, constituent des sources supplémentaires de déperditions. En outre, ces liaisons, points faibles thermiques, sont souvent à l'origine de désordres dans la construction (dues à la condensation principalement).

Le total des déperditions par transmission qu'il est possible d'associer à une paroi  $d_{paroi}$  (en  $\text{W}/^{\circ}\text{C}$ ) est obtenu en effectuant la somme des pertes surfaciques à travers cette paroi avec l'ensemble des pertes linéiques, soit :  $d_{paroi} = \sum (K \times A) + \sum K_l \times L$ . Dans cette formule,  $K$  et  $A$  sont respectivement le coefficient de transmission surfacique (en  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ) et la surface intérieure (en  $\text{m}^2$ ) de chaque élément de paroi,  $K_l$  et  $L$  sont respectivement le coefficient de transmission linéique (en  $\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ) et la longueur intérieure (en m) de chaque liaison. Parfois, on exprime aussi le total des déperditions en utilisant la notion de coefficient  $K_{global}$   $K_g$ ,

Soit :  $d_{paroi} = K_g \times (\sum A)$ ,

Avec  $(\sum A)$  qui représente la surface intérieure totale de la paroi (en  $\text{m}^2$ ).  $K_g$  s'exprime (en  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ). Le coefficient de transmission surfacique global  $K_g$  d'une paroi est donc égal à :

$$K_g = \frac{\sum(K \times A) + \sum(K_l \times L)}{\sum A} \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (II.11)$$

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé du coefficient  $K_l$ .

### II.3.1.12. Déperditions à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés

Les déperditions  $D_{inc}$  par transmission par degré d'écart à travers une paroi en contact avec un local non chauffé sont données par la formule suivante :

$$D_{inc} = Tau \times [\sum (K \times A) + \sum (K_l \times L)] \quad [W/^\circ C] \quad (II.12)$$

Où

- $K$  (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) est le coefficient de transmission surfacique de chaque partie;
- $A$  (en  $m^2$ ) est la surface intérieure de chaque partie surfacique ;
- $K_l$  (en  $W/m \cdot ^\circ C$ ) est le coefficient de transmission linéique de chaque liaison;
- $L$  (en  $m$ ) est la longueur intérieure de chaque liaison ;
- $Tau$  est le coefficient de réduction de température ; il est soit :
  - ➡ calculé dans le cas général,
  - ➡ déterminé forfaitairement,
  - ➡ fixé par les pièces du marché.

Dans cette formule,  $\sum (K \times A) + \sum (K_l \times L)$  est calculée comme s'il s'agissait d'une paroi extérieure mais avec les valeurs des coefficients d'échange superficiel des parois intérieures.

Les déperditions à travers une paroi en contact avec un local non chauffé sont pondérées par un coefficient  $Tau$ , sans dimension, dit "coefficient de réduction de température". La valeur de  $Tau$  est comprise entre 0 et 1.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé du coefficient  $Tau$ .

### II.3.1.13. Déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions par renouvellement d'air doivent être prises en compte seulement lors du dimensionnement des installations de chauffage des locaux d'habitation.

La vérification thermique réglementaire ne tient pas compte des déperditions par renouvellement d'air.

Sont considérées, pour l'établissement du bilan thermique, les déperditions par renouvellement d'air moyennes, c'est à dire les plus probables.

Les déperditions par renouvellement d'air tiennent compte :

- des déperditions dues au fonctionnement des dispositifs de ventilation on associe à ces déperditions le débit spécifique de ventilation ;
- des déperditions supplémentaires par infiltrations dues à l'effet du vent.

Les déperditions par renouvellement d'air  $D_R$  d'un logement ont pour expression :

$$D=0,34 * \beta * V * \Delta T. \quad (II.13)$$

V : le volume de l'habitat,

$\Delta T$  : différence de températures entre l'intérieur et l'extérieur de l'habitat.

$$D_R = 0,34 \times (Q_v + Q_s) \quad [W/^\circ C] \quad (II.14)$$

Où

- 0,34 (en wh/m<sup>3</sup>. °C) est la chaleur volumique de l'air ;
- $Q_v$  (en m<sup>3</sup>/h) est le débit spécifique de ventilation ;
- $Q_s$  (en m<sup>3</sup>/h) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

$0,34 \times Q_v$  (en W/°C) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation, notées  $D_{RV}$ ; de même,  $0,34 \times Q_s$  (en W/°C) représente les déperditions supplémentaires dues au vent, notées  $D_{RS}$ .

- **Débit spécifique de ventilation**

Le débit spécifique de ventilation  $Q_v$  est calculé par rapport au débit extrait de référence  $Q_{v\text{réf}}$ .

Le débit extrait de référence  $Q_{v\text{réf}}$  est déterminé en considérant que la ventilation est générale et permanente.

Une ventilation est dite générale (système de ventilation le plus courant) lorsque l'extraction de l'air vicié s'effectue dans les pièces de service (SDB, W-C, salle d'eau et cuisine).



L'aération est considérée permanente car l'enveloppe d'un bâtiment n'est jamais parfaitement étanche à l'air.

La détermination du débit spécifique de ventilation s'effectue de la même manière quel que soit le système de ventilation. En effet, ce débit est lié principalement aux exigences d'hygiène.

Le débit spécifique de ventilation  $Q_v$  pour un logement est donné par la formule suivante :

$$Q_v = \text{MAX} [0,6V_h ; Q_{v\text{réf}}] \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (\text{II.15})$$

Où

- $V_h$  (en  $\text{m}^3$ ) désigne le volume habitable ;
- $Q_{v\text{réf}}$  (en  $\text{m}^3/\text{h}$ ) désigne le débit extrait de référence.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé du  $Q_{v\text{réf}}$ .

On admet qu'en hiver les dispositifs de ventilation calculés pour permettre un taux de ventilation de l'ordre de 0,6 fois le volume habitable par heure répondent aux exigences contradictoires de confort thermique, d'hygiène et d'économie d'énergie.

- **Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent**

Le débit supplémentaire dû au vent est déterminé en considérant seulement le débit d'air supplémentaire s'infiltrant par les ouvrants, et dont l'écoulement s'effectue de la façade au vent à la façade sous le vent (on parle de débit "traversant").

Les ouvrants concernés pour la détermination du débit supplémentaire dû au vent sont ceux faisant partie des parois extérieures, et ceux faisant partie des parois en contact avec des circulations ouvertes sur l'extérieur.

Par exemple, les parois donnant sur une cage d'escalier fermée ne doivent pas être prises en compte lors du calcul du débit supplémentaire dû au vent.

### **II.3.2 Apports calorifiques des bâtiments**

Les apports calorifiques doivent être déterminés selon les étapes suivantes :

- définition des zones (ou volumes) thermiques ; une zone thermique est un volume d'air dont les conditions intérieures sont supposées être homogènes ;
- détermination de l'intervalle de temps critique ; pour ce faire, pour chaque façade, on détermine l'heure qui correspond aux gains maxima par transmission à travers les parois opaques et vitrées ; l'intervalle de temps critique est délimité

par la plus petite heure et par la plus grande heure choisie parmi les heures déterminées ;

- calcul des apports calorifiques pour chaque volume thermique et pour toutes les heures situées dans l'intervalle de temps critique.

Les apports calorifiques (appelés aussi gains) d'un local sont égaux à la somme des apports de chaleur sensible et latente, provenant d'une source intérieure ou extérieure du local, pour des conditions extérieures et intérieures déterminées, en ne tenant pas compte des apports dus à l'installation.

Les apports calorifiques sensibles, ou gains sensibles, sont les apports de chaleur qui affectent directement la température sèche de l'air du local considéré.

Les apports calorifiques latents, ou gains latents, sont les apports d'humidité sous forme de vapeur d'eau qui affectent le local considéré.

Les apports calorifiques sensibles  $A_s$  et latents  $A_l$  sont donnés par :

$$A_s = APO + AV + AI_s + AINF_s \quad [W] \quad (II.16)$$

$$A_l = A_l_i + AINF_l \quad [W] \quad (II.17)$$

Où

- APO (en W) représente les apports par les parois opaques,
- AV (en W) représente les apports à travers les parois vitrées,
- $AI_s$  et  $AI_l$  (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports internes,
- $AINF_s$  et  $AINF_l$  (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports dus aux infiltrations d'air.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) donne le calcul détaillé de ses apports.

Dans le cas où de l'air neuf s'introduit directement dans le local (sans passer par l'installation de climatisation), il y a lieu d'en tenir compte dans le calcul des apports calorifiques.

### II.3.2.1. Apports à travers les parois opaques

- **Parois aériennes**

Les parois opaques aériennes sont celles qui sont en contact direct avec l'air extérieur (parois verticales ou horizontales).

Le calcul est mené en régime variable.

L'expérience montre que les conséquences du régime variable sont les suivantes :

- il existe un décalage horaire (déphasage) entre le moment où la température de surface extérieure de la paroi extérieure est maximale et le moment où le flux d'apport calorifique pénétrant dans le local est maximal ; ce décalage peut atteindre plusieurs heures avec des parois dont l'inertie thermique est importante ;
- les valeurs du flux d'apport calorifique pénétrant dans le local sont réduites (amorties) par rapport aux valeurs instantanées du régime permanent.

Les apports de chaleur à travers une paroi opaque à un instant  $t$ ,  $APO(t)$ , sont donnés par la formule suivante :

$$APO(t) = 1,2 \times K_{été} \times S_{int} \times \Delta T_e(t) \quad [W] \quad (II.18)$$

Où

- 1,2 (sans dimension) est un coefficient major tenant compte des apports latéraux linéiques (à travers les ponts thermiques),
- $K_{été}$  (en  $W/ m^2 \cdot ^\circ C$ ) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée pour l'été,
- $S_{int}$  (en  $m^2$ ) est la surface intérieure totale de la paroi considérée ; pour les toitures en pente, on prendra la projection horizontale de la surface ;
- $\Delta T_e(t)$  (en  $^\circ C$ ) est la différence équivalente de température à l'heure  $t$ .

Le Document Technique Réglementaire (DTR C3-4) donne le calcul détaillé de ses apports.

- **Parois intérieures**

Les apports de chaleur à un instant  $t$ ,  $APO(t)$ , traversant une paroi opaque en contact avec deux locaux conditionnés sont donnés par la formule suivante :

$$APO(t) = K_{été} \times S_{int} \times [TS_a - TS_{b,i}] \quad [W] \quad (II.19)$$

Où

- $K_{été}$  (en  $W/ m^2 \cdot ^\circ C$ ) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée,

- $S_{int}$  (en  $m^2$ ) est la surface intérieure de la paroi considérée,
- $TS_a$  (en  $^{\circ}C$ ) est la température sèche de l'air intérieur du local adjacent,
- $TS_{b,i}$  (en  $^{\circ}C$ ) est la température sèche de l'air intérieur du local considéré.

Les apports de chaleur à un instant  $t$ ,  $APO(t)$ , traversant une paroi opaque en contact avec un local non conditionné sont donnés par la formule suivante :

$$APO(t) = K_{été} \times S_{int} \times \Delta T_{Inc}(t) \quad [W] \quad (II.20)$$

Où

- $K_{été}$  (en  $W/ m^2 \cdot ^{\circ}C$ ) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée,
- $S_{int}$  (en  $m^2$ ) est la surface intérieure de la paroi considérée,
- $\Delta T_{Inc}(t)$  (en  $^{\circ}C$ ) représente l'écart de température entre l'espace non conditionné et le local considéré.

Le Document Technique Réglementaire (DTR C3-4) donne le calcul détaillé de ses apports.

### II.3.2.2 Apports à travers les parois vitrées

Les apports à travers les parois vitrées intérieure  $AVT(t)$  sont dus uniquement à la différence de température de part et d'autre de la paroi. Ils sont donnés par :

$$AVT(t) = K_{été} \times S_{ouv} \times [(T_{Se}(t) - C_{Inc}) - TS_{b,i}] \quad [w] \quad (II.21)$$

Où :

- $K_{été}$  (en  $W/ m^2 \cdot ^{\circ}C$ ) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée
- $S_{ouv}$  (en  $m^2$ ) est la surface de l'ouverture dans la paroi opaque,
- $T_{Se}(t)$  (en  $^{\circ}C$ ) est la température extérieure sèche à l'heure  $t$ ,
- $C_{Inc}$  est un coefficient correcteur,
- $TS_{b,i}$  (en  $^{\circ}C$ ) est la température intérieure sèche de base pour le local considéré.

Les gains à travers les parois vitrées extérieures  $AV(t)$  sont donnés par :

$$AV(t) = AVT(t) + AVE(t) \quad [w] \quad (II.22)$$

Où

- AVT(t) (en W) représente les gains dus au 'gradient de température à travers les parois vitrées,
- AVE(t) (en W) représente les gains dus au rayonnement solaire ' à travers les parois vitrées.

Les gains dus au gradient de température AVT(t) à travers les parois vitrées extérieures sont donnés par :

$$AVT(t) = 1,2 \times K_{été} \times S_{ouv} \times [TS_e(t) - TS_{b,i}] \quad [W] \quad (II.23)$$

Où

- 1,2 (sans dimension) est un coefficient major tenant compte des apports à travers les ponts thermiques,
- $K_{été}$  (en W/ m<sup>2</sup>.°C) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée,
- $S_{ouv}$  (en m<sup>2</sup>) est la surface de l'ouverture dans la paroi opaque,
- $TS_e(t)$  (en °C) est la température extérieure sèche à l'heure t,
- $TS_{b,i}$  (en °C) est la température intérieure de base.

Les gains dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées extérieures AVE(t) sont donnés par :

$$AVE(t) = [SV_{ens} \times I_t + (SV - SV_{ens}) \times I_d] \times FS \times N_{PVI}(t) \quad [W] \quad (II.24)$$

Où

- SV (en m<sup>2</sup>) est la surface totale vitrée,
- $SV_{ens}$  (en m<sup>2</sup>).est la surface vitrée ensoleillée,
- $SV - SV_{ens}$  (en m<sup>2</sup>) est la surface vitrée à l'ombre,
- $I_t$  (en W/m<sup>2</sup>) est le rayonnement total maximal réel,
- $I_d$  (en W/m<sup>2</sup>) est le rayonnement diffus maximal réel,
- $N_{PVI}(t)$  représente le coefficient d'amortissement relatif aux gains par ensoleillement à travers les parois vitrées à l'heure t considérée,
- FS est le facteur solaire du vitrage.

### II.3.2.3. Apports de chaleur internes

On désigne par apports de chaleur internes, ou gains internes, les quantités de chaleur dégagées sous forme latente ou sensible à l'intérieur des locaux conditionnés.

Les gains internes ayant pour origine les occupants, les machines entraînées par des moteurs électriques, les appareils électriques, l'éclairage, les appareils à gaz, les réservoirs, l'évaporation libre, l'introduction de vapeur vive, les tuyauteries et les conduits d'air intérieurs.

Les pièces du marché doivent fournir avec précision les informations nécessaires pour la prise en compte des apports internes (par exemple le nombre de moteurs électriques, leur emplacement et celui des tuyauteries, etc.).

Les apports de chaleur internes  $AI(t)$  à l'instant  $t$  sont donnés par la formule :

$$AI(t) = \sum_j (CS_j \times Ai_{s,j} \times N_{AI,j}) + (\sum_j (CS_j \times AI_{l,j})) \quad [W] \quad (II.25)$$

Où

- $Ai_{s,j}$  (en W) représente la partie sensible de l'apport interne  $j$ ,
- $AI_{l,j}$  (en W) représente la partie latente de l'apport interne  $j$ ,
- $CS_j$  est le coefficient de simultanéité relatif à l'apport interne  $j$  ; en l'absence d'information, les valeurs à considérer pour les coefficients de simultanéité sont celles du tableau ci-dessous ;
- $N_{AI,j}$  est le coefficient d'amortissement relatif à l'apport interne  $j$ .

apport	Nature des apports	Coefficient de Simultanéité CS				
		locaux				
		Bureaux Réunions Accueil	Logement Hébergement	Vente restauration	Artisanal Industriel	enseignement
occupant	Sensible latent	0.80	0.50	0.80	0.90	1.00
Moteurs électriques	Sensible	0.60	0.50	0.85	0.85	0

Appareils électriques	Sensible latent	0.60	0.50	0.85	0.85	0
Eclairage fluorescent non encastré	Sensible	0.70	0.35	0.90	0.85	0.90
Eclairage fluorescent encastré, Eclairage incandescent non encastré	Sensible	0.70	0.35	0.90	0.85	0.90
Eclairage encastré dans un faux plafond avec plénum de reprise	Sensible	0.70	0.35	0.90	0.85	0.90
Appareil à gaz	Sensible latent	0	0.50	0.85	0.85	0
Réservoir	Sensible latent	0	1.00	1.00	1.00	0
Evaporation libre	latent	0	1.00	1.00	1.00	0
Vapeur vive	Sensible latent	0	0	1.00	1.00	0
Tuyauteries, conduits d'air	Sensible	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

**Tableau II.4 :** coefficient de simultanéité des gains internes. [32]

**Remarque :**

Un coefficient de simultanéité égal à 0 signifie que pour le type de local défini, l'apport interne correspondant existe rarement dans la pratique (ou est négligeable). Dans le cas

où ce type d'apport n'est pas considéré comme négligeable, on prendra un coefficient de simultanéité maximal (égal à 100 %).

### **II.3.3 Calcul des gains**

#### **II.3.3.1 Gains dus aux occupants**

Les gains dus aux occupants sont une source de chaleur sensible et latente. Le calcul doit tenir compte des personnes susceptibles de fréquenter les locaux :

Pour un logement :

- si une seule zone thermique est définie, le nombre d'occupants par pièce (occ/p) à considérer doit être de 2,5 occ/p pour les quatre premières pièces principales, et de 1 occ/p par pièce principale supplémentaire ;
- si plusieurs zones thermiques sont définies, le nombre d'occupants par pièce à considérer doit être de 2 occ/p pour les pièces principales et les cuisines, et de 1 occ/p pour les pièces de service autres que les cuisines ; .

Pour les locaux à usage autre que d'habitation, en l'absence d'informations, on considérera 1 occupant pour 4,5 m<sup>2</sup> de surface de plancher.

#### **II.3.3.2 Gains dus aux machines électriques**

Les appareils peuvent constituer à la fois une source de chaleur sensible et latente, ou seulement une source de gains sensibles. Une machine électrique utilisée dans un local dégage intégralement l'équivalent calorifique de la puissance électrique moyenne absorbée. Pour la détermination des apports dus aux machines électriques, on utilisera soit :

- les indications données par le fabricant ;
- les formules de calcul de la puissance absorbée, cette puissance constituant les gains sensibles ; pour certains appareils (de cuisines, de restaurants, etc.), il y a lieu de tenir compte aussi des gains latents ; on pourra alors utiliser les formules relatives aux gains par évaporation.

#### **II.3.3.3 Gains dus à l'éclairage**



Les appareils d'éclairage constituent une source de chaleur sensible. Si l'on connaît la puissance installée pour l'éclairage, les gains dus à l'éclairage sont donnés par la formule suivante :

$$AI = \sum (W_n \times C_{me} \times C_{cr}) \quad [W] \quad (II.26)$$

Où

- $W_n$  (en W) est la puissance nominale de l'ampoule ou du tube fluorescent ;
- $C_{me}$  est un coefficient de majoration
- $C_{cr}$  est le pourcentage de chaleur résiduelle correspondant à la part d'énergie restant dans la salle ;  $C_{cr}$  est :
  - égal à 1 pour les installations dont l'éclairage n'est pas raccordé à un système d'extraction d'air,
  - est donné dans le tableau 2.5 quand l'éclairage est raccordé à un système d'extraction d'air.

- Débit d'air pour 100w de puissance de lampe ou de tube « m <sup>3</sup> /h »	20	30	50	100
$C_{cr}$	0.60	0.50	0.40	0.35

**Tableau II.5 :** valeurs de  $C_{cr}$ . [32]

#### II.3.3.4. Gains dus aux appareils à gaz

Les appareils à gaz sont une source de chaleur sensible et latente. Pour la détermination des apports dus aux appareils à gaz, on utilisera soit les formules, soit les valeurs des tableaux.

Les apports sensibles et latents  $AI_s$  et  $AI_l$  dus aux appareils à gaz sont donnés par:

$$AI_s = qv_n \times PC_{sup} \quad [w] \quad (II.27)$$

$$AI_l = qv_n \times m_{vap} \times 2498 \cdot 10^3 \quad [w] \quad (II.28)$$

Où

- $qv_n$  (en m<sup>3</sup>/s) est le débit nominal de l'appareil,
- $PC_{sup}$  (en J/m<sup>3</sup>) est le pouvoir calorifique supérieur du combustible ;
- $m_{vap}$  (en kg/m<sup>3</sup>) est la masse d'eau apportée par la combustion du gaz,
- $2498 \cdot 10^3$  (en J/kg) est la chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau.

#### II.3.3.5 Gains par évaporation

L'évaporation est une source de chaleur latente. Les gains latents, en W/m<sup>2</sup> de surface, provenant de l'évaporation d'un plan d'eau (piscines, bassin, plonge de restaurant, etc.) sont donnés par la formule suivante :

$$AI_l = 0,0935 \times [PS_{eau} - Pp_i] \quad [w/m^2] \quad (II.29)$$

Où

- PS<sub>eau</sub> (en Pa) désigne la pression de vapeur saturante de la couche d'air en contact avec le plan d'eau (et donc à la même température) ;
- PP<sub>i</sub> (en Pa) désigne la pression partielle de vapeur d'eau de l'air ambiant.

### II.3.3.6 Apports par les conduits d'air

Les conduits d'air sont une source de chaleur sensible. Les apports AIs par les conduits d'air sont donnés par:

$$AI_s = K \times l \times [T_{a,c} - TS_{b,i}] \quad [w] \quad (II.30)$$

Où

- *l* (en m) désigne la longueur totale du conduit mesurée à l'intérieur du local climatisé,
- T<sub>a,c</sub> (en °C) est la température moyenne de l'air circulant dans le conduit,
- TS<sub>b,i</sub> (en °C) est la température sèche de l'air du local climatisé,

*k* (en W/m.°C) est le coefficient linéique de transmission thermique du conduit d'air calculé selon la forme du conduit.

## II.4. Conclusion

Nous avons déterminé les déperditions et les gains calorifiques dans un bâtiment avec des formules de calcul imposées par un document technique réglementaire utilisé en Algérie.

**CHAPITRE III :**  
**DESCRIPTION DE L'ABITAT**  
**ETUDIE**

### III.1. Introduction

La première bâtisse d'efficacité énergétique en Algérie, un chalet réalisé à Souidania (Alger), Le contrôle de performance qui a démarré juste après l'achèvement de la bâtisse, en été 2009, a montré qu'il est possible d'arriver à une économie d'énergie de 60%. Le projet qui s'inscrit dans le cadre du programme MEDENEC (Energy Efficiency in the construction Sector of the Mediterranean) de l'Union européenne, a été réalisé en partenariat avec le CNERIB (Centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment) et le CDER (Centre de Développement des Energies Renouvelables). Le programme a pour objectif de relancer les mesures relatives à l'efficacité énergétique et à l'utilisation de l'énergie solaire dans le secteur de la construction, en vue de réduire la consommation énergétique dans les pays du bassin méditerranéen.[33]

### III.2. Présentation de la maison

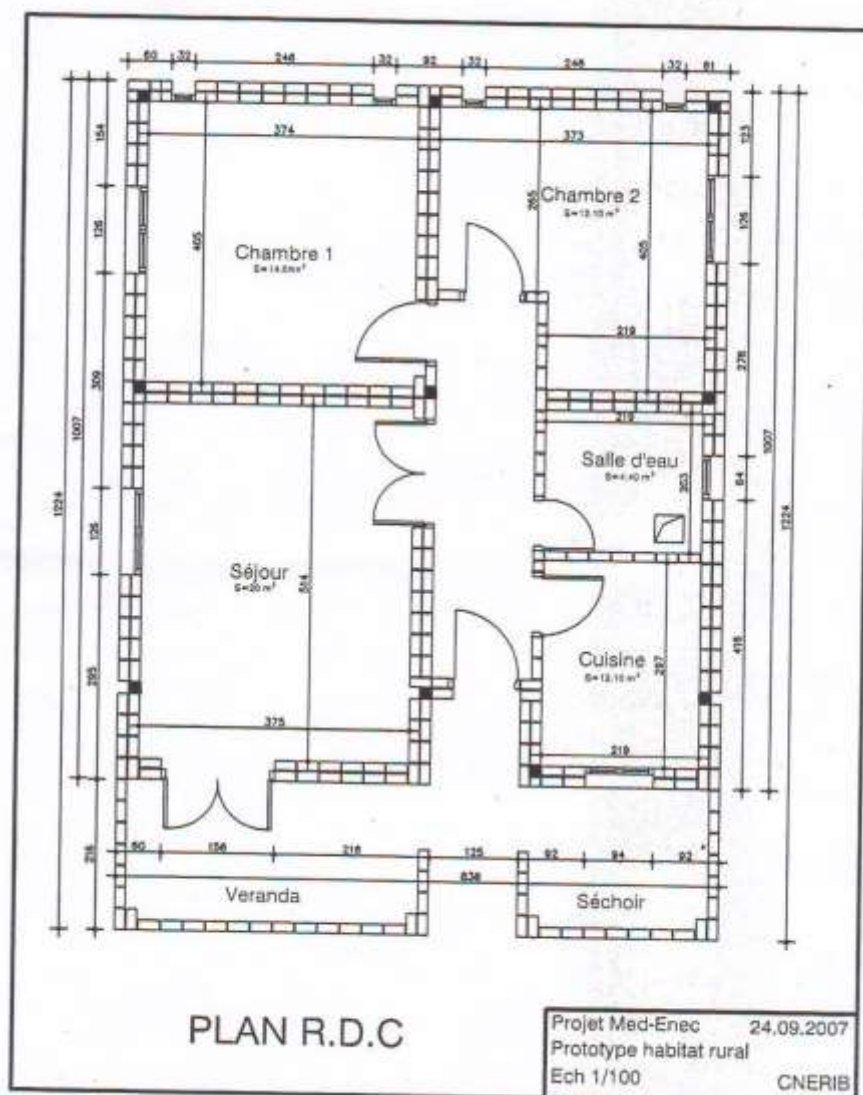


**Figure III.1.** La maison prototype situé au CNERIB (à Souidania)

La maison qui fait l'objet de cette étude possède une surface habitable de 90 m<sup>2</sup>, elle est implantée dans la région d'Alger, plus précisément dans le village de Souidania.

Cette région fait partie de la zone climatique A (latitude  $36.833336^{\circ} 49'$ , longitude  $3^{\circ} 0' E$ ) [22] qui est caractérisée par un hiver frais et un été chaud et humide.

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 III.2)[34].



**Figure III.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

### **III.3. Isolation thermique de l'enveloppe**

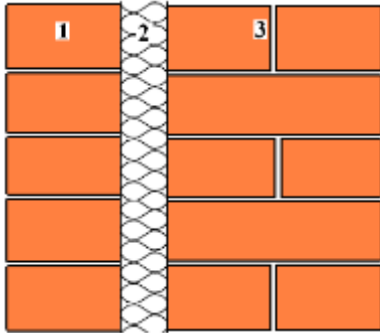
L'enveloppe extérieure doit limiter les pertes de chaleur en hiver et protéger des radiations solaires en été. Cette propriété d'atténuation dépend des caractéristiques de transmission thermique des parois par conduction, convection et radiation.

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 III.1.

### III.3.1. Composition des parois

- **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 III.3).



**Figure III.3. Mur extérieur**

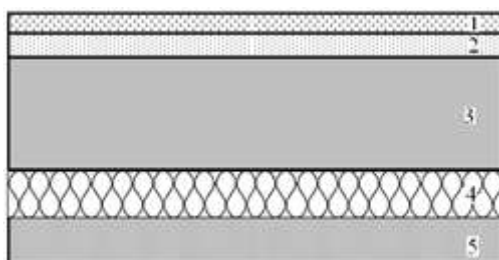


**Figure. III.4. Isolation des murs extérieurs**

- 1- Mur en BTS (14 cm)
- 2- Panneaux en polystyrène expansé (9 cm)
- 3- Mur en BTS (29 cm)

- **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.

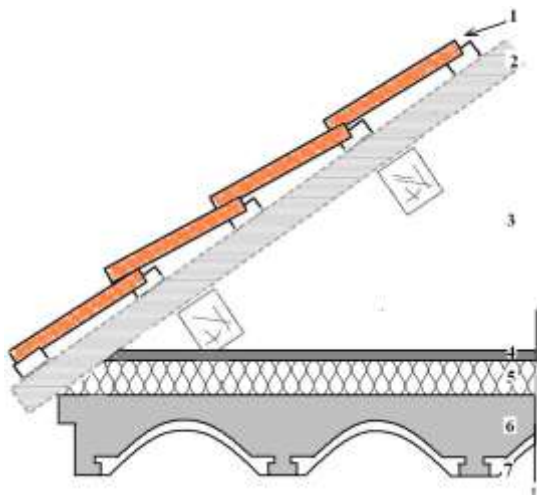


- 1- Carrelage (2 cm)
- 2- Sable + mortier (3 cm)
- 3- Couche de béton (15 cm)
- 4- Polystyrène expansé (6 cm)
- 5- Dalle de compression (6 cm)

**Figure III.5. Plancher bas sur terre-plein**

- **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 6 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 III.6. Toiture**

- **Les murs internes**



**Figure. III.7. Mur interne (Un panneau de BTS)**



### III.2. Résistance thermique des parois

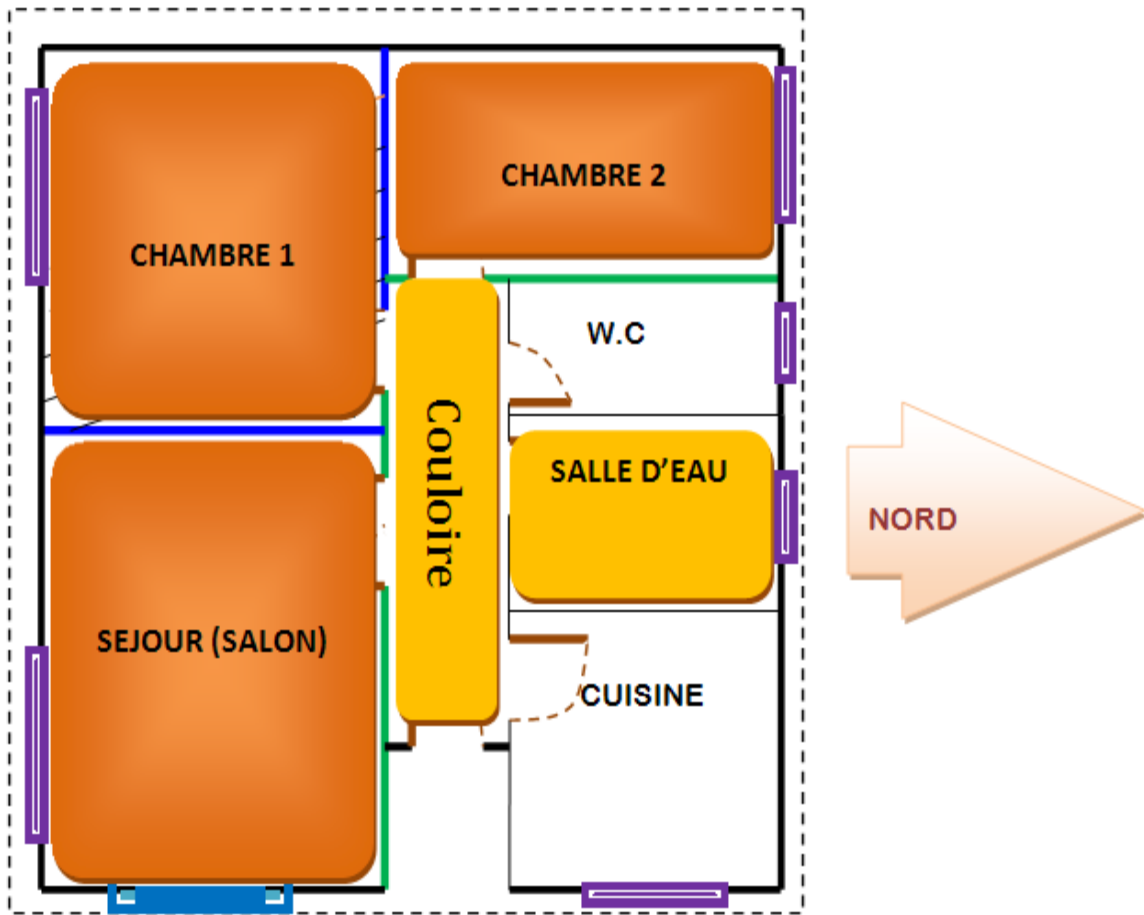
Les caractéristiques thermiques et les matériaux qui composent les éléments de la maison sont donnés dans le tableau III.1 [35].

	Composition	Epaisseur $r$ (m)	$\lambda$ (W/m.K <sup>-1</sup> )	$R = e/\lambda$ (m <sup>2</sup> .K/W)	$R_g$ (m <sup>2</sup> .K/W)	$U$ (W/m <sup>2</sup> .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		

**Tableau III.3.** Caractéristiques thermiques des différentes parois de la maison [35]

### III.3 Les locaux chauffés

Les locaux chauffés sont le séjour et les chambres (*chambre1, chambre2*).



**Figure III.8.** Les locaux chauffés.[33]

### **III.4. Conclusion**

Dans ce chapitre on a présenté les différents matériaux utilisés dans la construction de la maison étudiée, qui peut être un modèle référentiel dans le développement architecturale vu sa consommation énergétique.

# CHAPITRE IV :

## SIMULATION SOUS TRNSYS

## IV.1.Introduction

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 moindre.

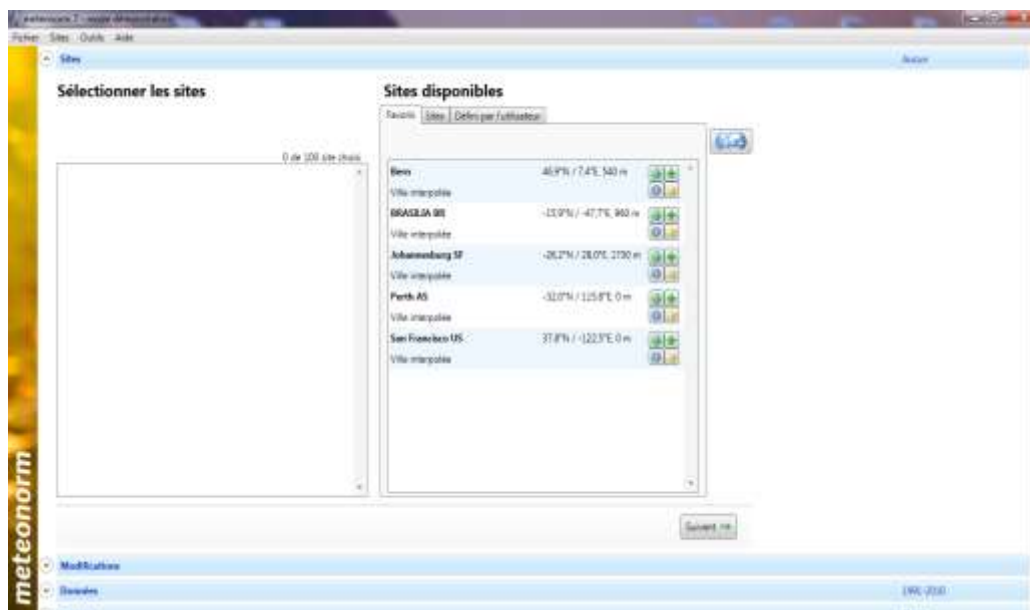
Ce chapitre porte une présentation du logiciel utilisé est les différentes étapes suivies lors de la simulation.

L'outil de calcul TRNSYS sert à valider notre modèle, en intégrant les données climatique du site [METEONORM].

### Meteonorm

Est une référence complète météorologique. Il vous donne accès à des données météorologiques pour divers application pour n'importe quel endroit dans le monde.

La version utilisée dans notre étude :7



## IV.1.METEONORM

### IV.2.TRNSYS

En 1975 à l'université de Wisconsin-Madison (USA), un jeune physicien consacre sa thèse à un système de simulation thermique. La programmation se faisait alors par cartes perforées. C'était les balbutiements de l'informatique. 30 ans plus tard, ce moteur développé dans un cadre universitaire a donné naissance à « TRNSYS

Simulation Studio », logiciel de simulation dynamique, progressivement devenu un outil de référence au niveau mondial dans le domaine de la prédiction du comportement dynamique des systèmes. C'est de cette manière qu'au fil des 30 dernières années, de nombreuses bibliothèques TRNSYS ont vu le jour : systèmes de chauffage et de climatisation, géothermie, énergie solaire, éolienne et photovoltaïque... TRNSYS ne permet pas seulement de simuler tous ces phénomènes, mais surtout de créer des projets qui tiennent compte de l'interaction de tous les sous-systèmes - et cela- heure par heure ou minute par minute, selon les besoins de l'étude, pour n'importe quel emplacement sur le globe terrestre.[36]

TRNSYS est un environnement complet et extensible de simulation pour la simulation passagère de systèmes thermiques comprenant les bâtiments multizones. Il est employé par des ingénieurs et des chercheurs autour le monde pour valider de nouveaux concepts d'énergie, des systèmes d'eau chaude domestique solaires simples au conception et simulation des bâtiments et de leur équipement, y compris des stratégies de contrôle, occupant comportement, systèmes d'énergie de substitution (systèmes de vent, solaires, photovoltaïques, d'hydrogène), etc.

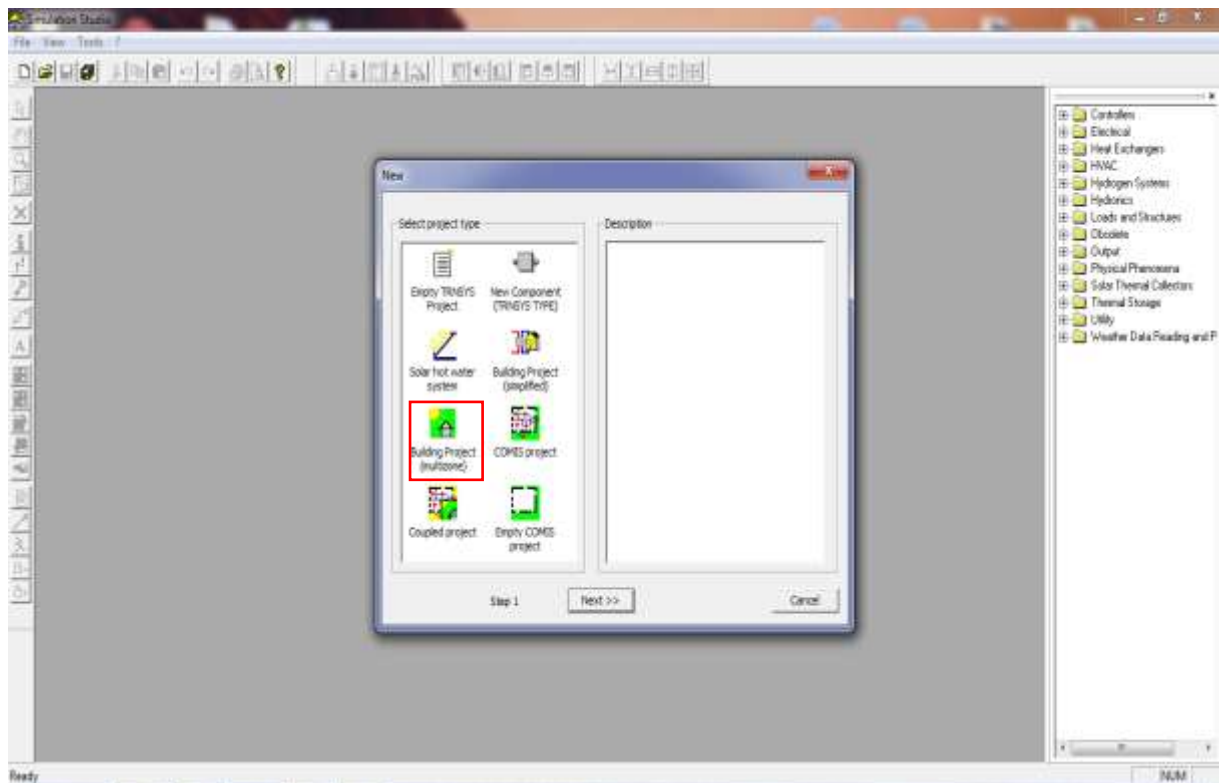
Un des facteurs clé dans le succès de TRNSYS au cours des 25 dernières années est sa structure ouverte et modulaire.

Le code source du noyau aussi bien que des modèles composants sont fournis aux utilisateurs, Ceci simplifie les modèles existants d'élargissement pour adapter les besoins spécifiques de l'utilisateur.

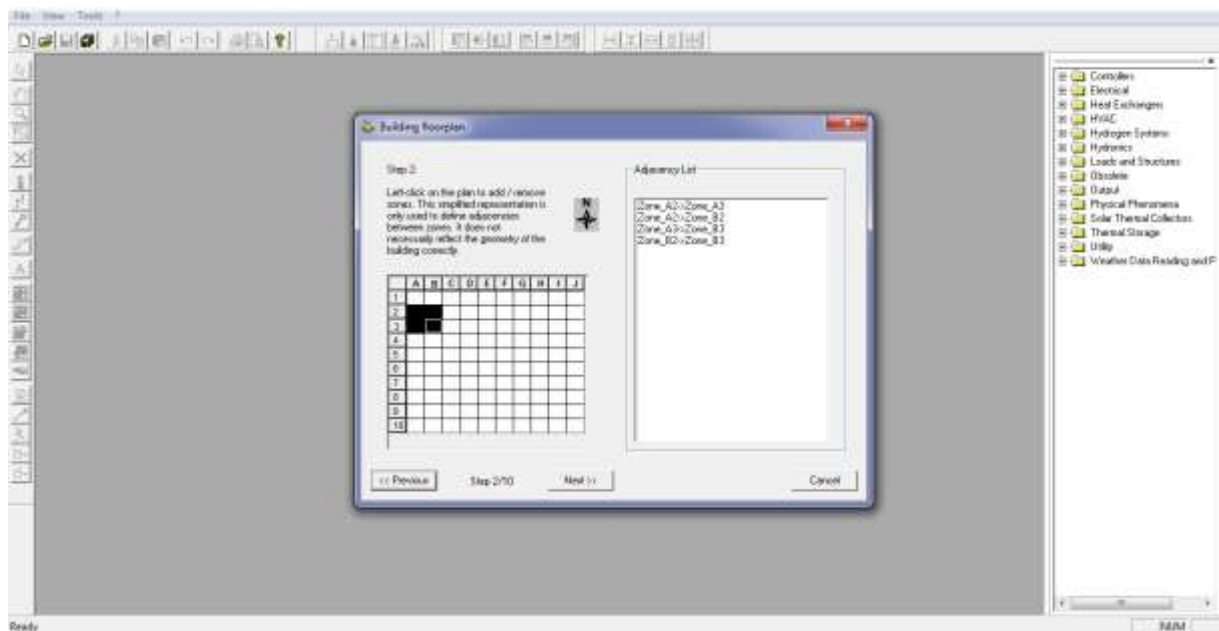
L'architecture basée sur DLL permet à des utilisateurs et à de tiers lotisseurs d'ajouter facilement la coutume modèle composante, utilisant tous les langages de programmation communs (C, C++, PASCAL, Fortran, ..) En outre .TRNSYS peut être facilement relié à beaucoup d'autres applications, pourpre- ou post traiter ou par des appels interactifs pendant la simulation (par exemple Microsoft Excel, Matlab, COMIS ,ect..) .Les applications de TRNSYS incluent :

- Systèmes solaires (courant ascendant et pico volte solaires)
- Bâtiments de basse énergie et systèmes de la CAHT avec les caractéristiques de conception avancées (ventilation naturelle, chauffage de dalle/façade, etc. se refroidissants et doubles)
- Systèmes énergétiques renouvelables
- Production combinée, piles à combustible
- Quelque chose qui exige la simulation dynamique ! [37]

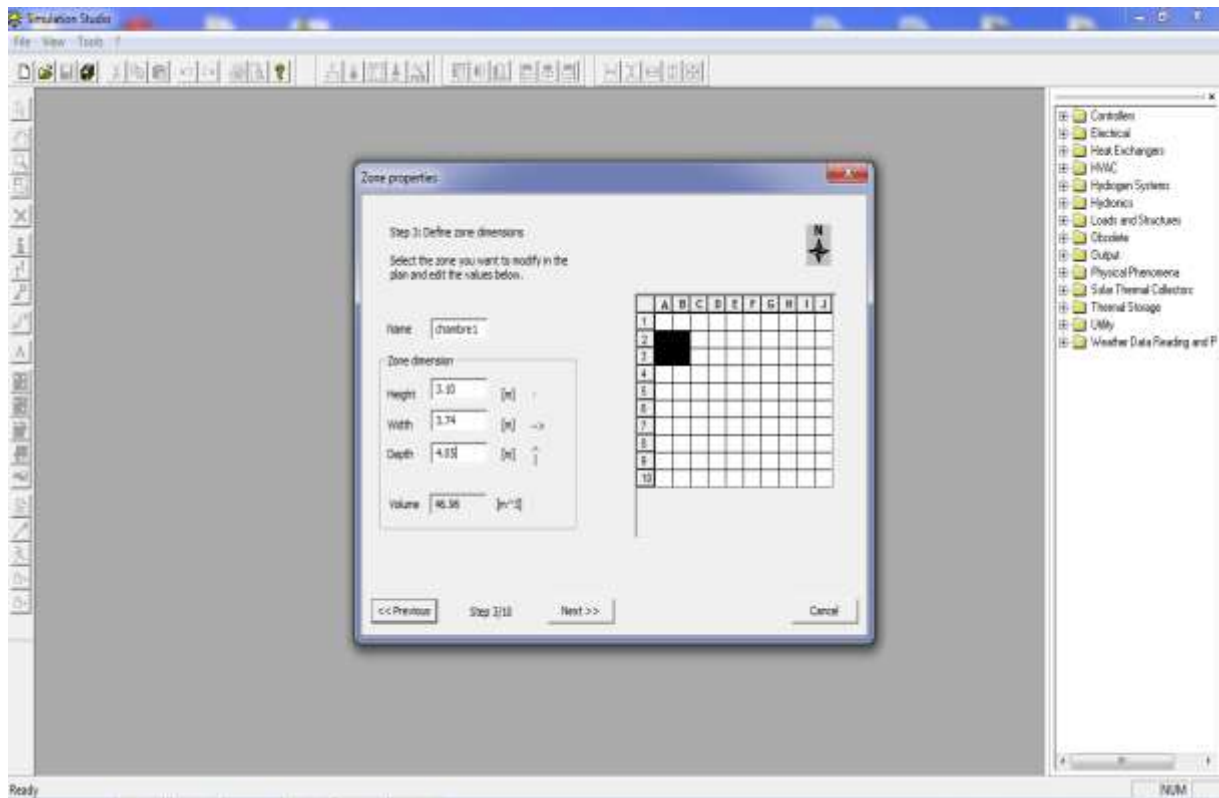
### **IV.3. Simulation sous TRNSYS**



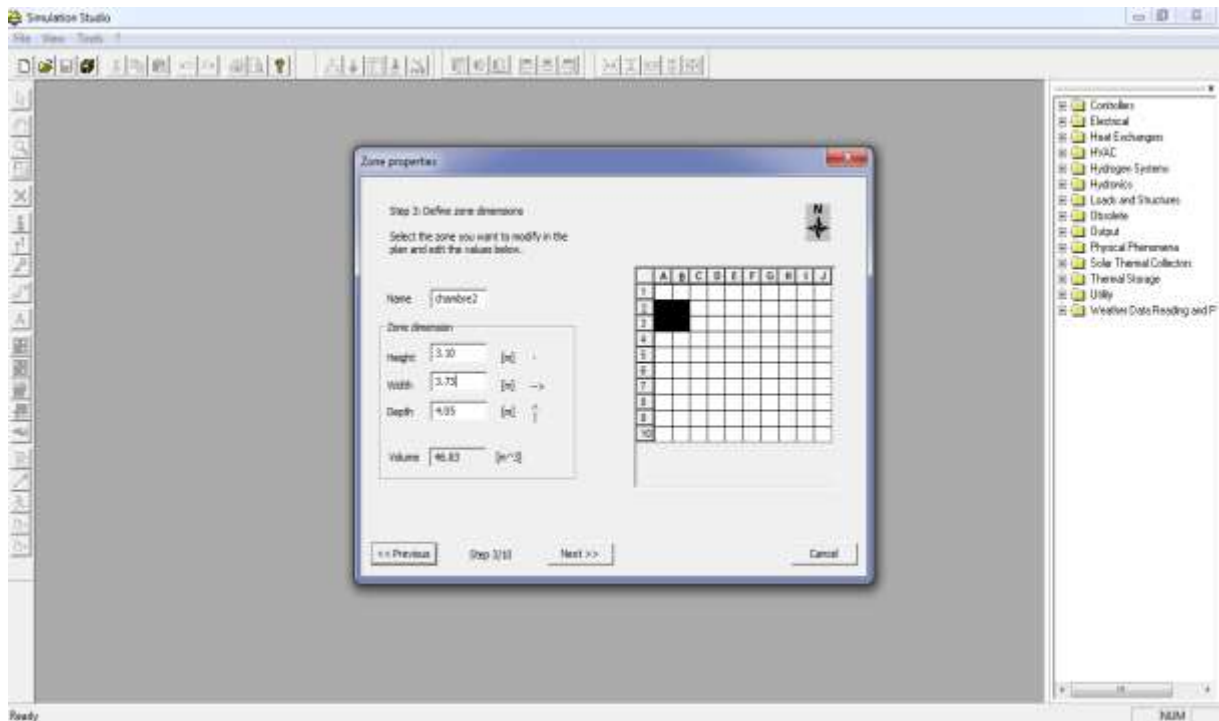
**Figure IV.2.** Création du projet



**Figure IV.3.** Définition des zones

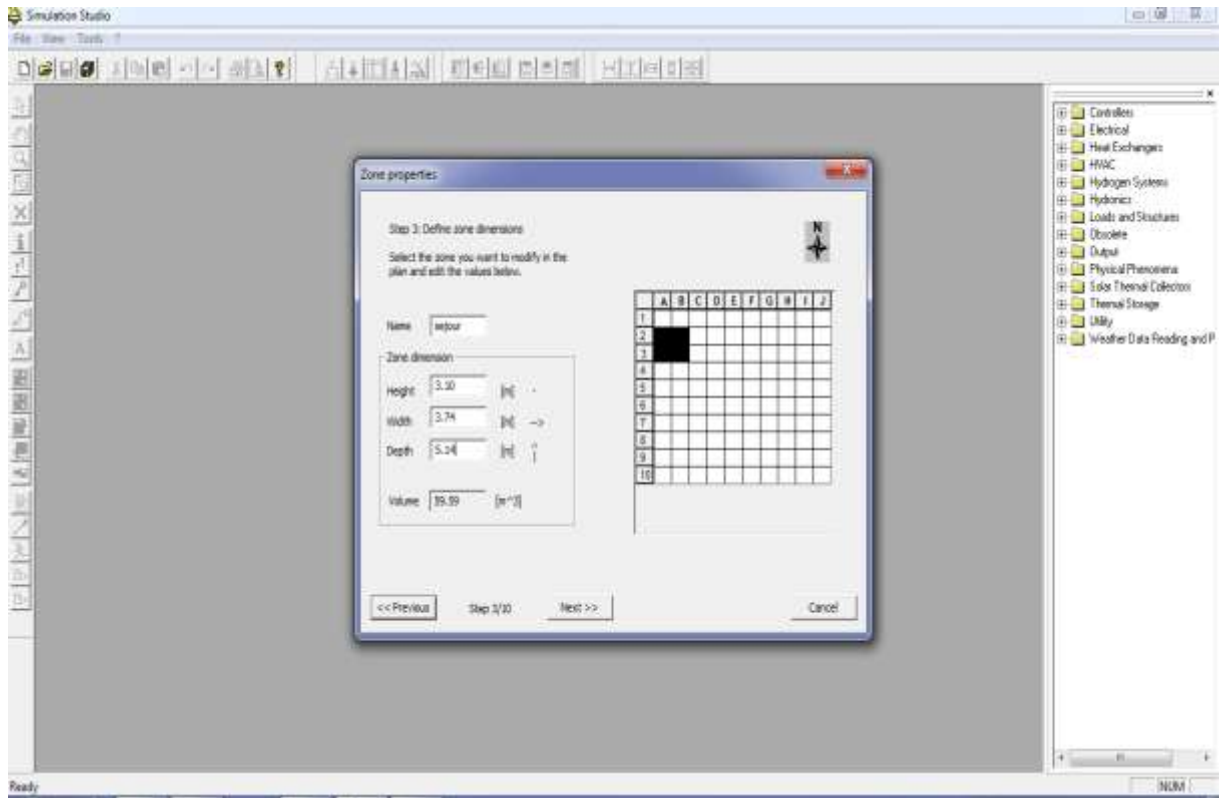


**Figure IV.4.** Les dimensions de la zone 1 (chambre1)

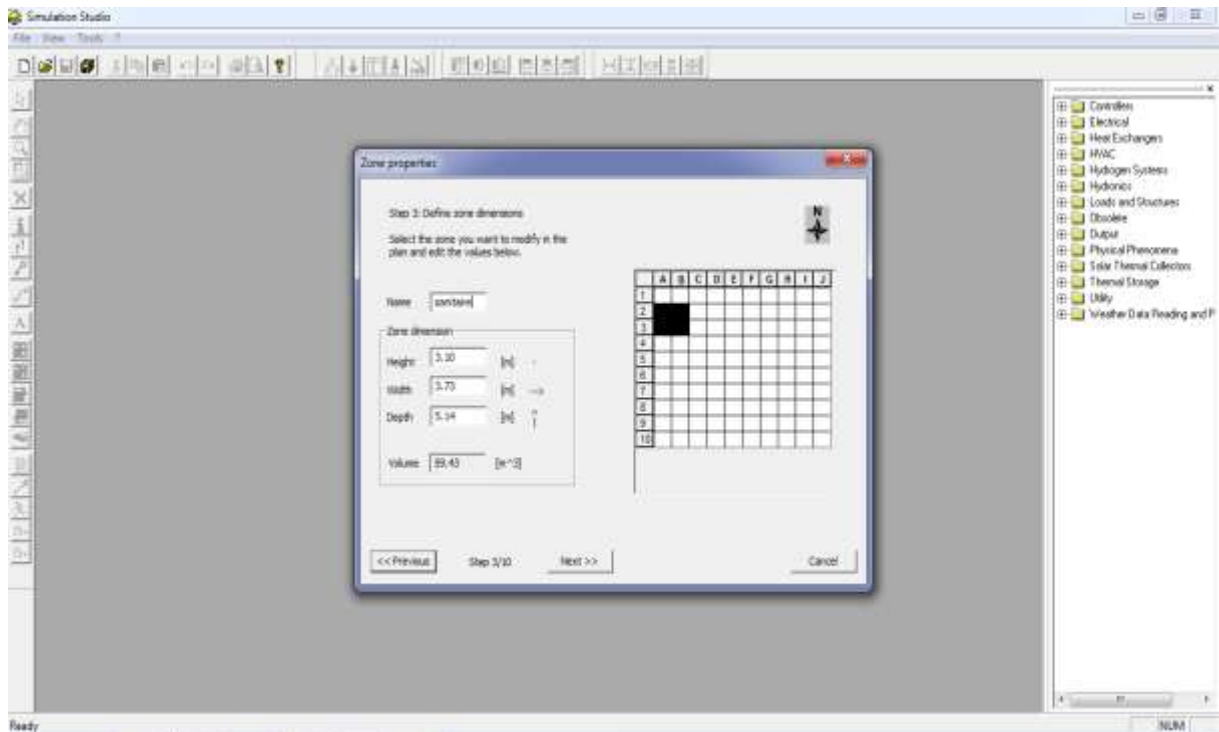


**Figure IV.5.** Les dimensions de la zone 2 (chambre 2)

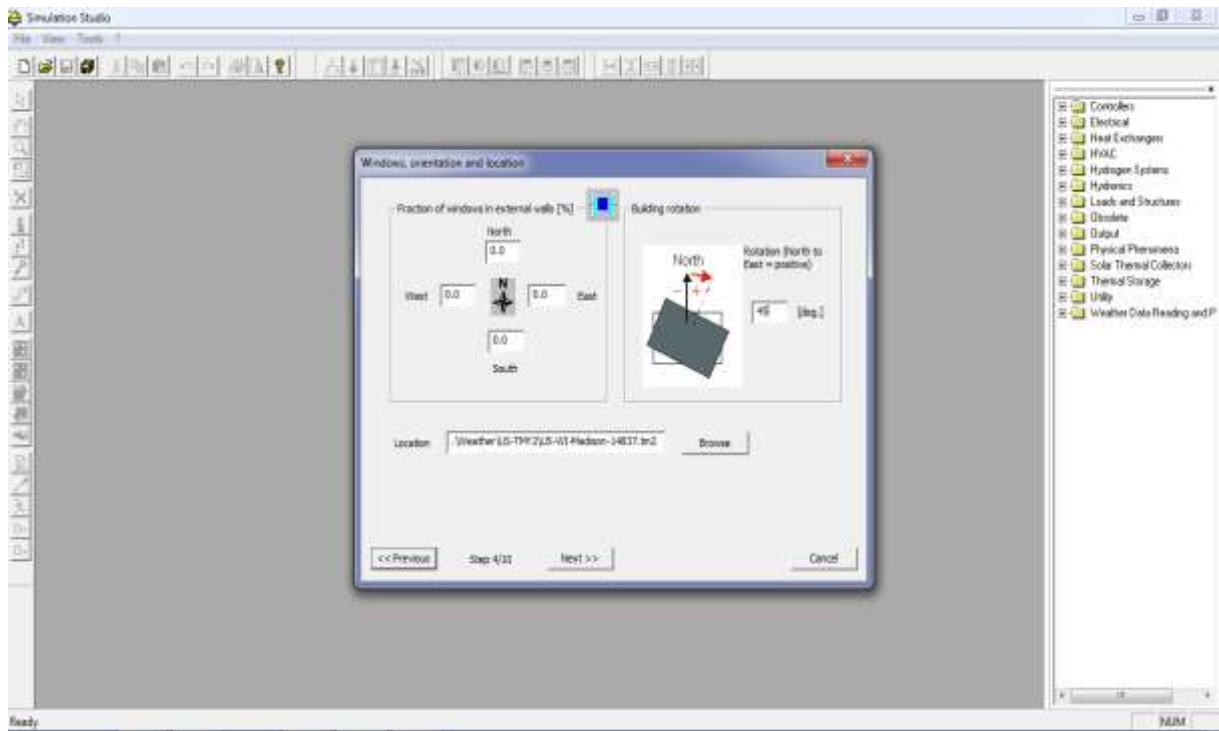




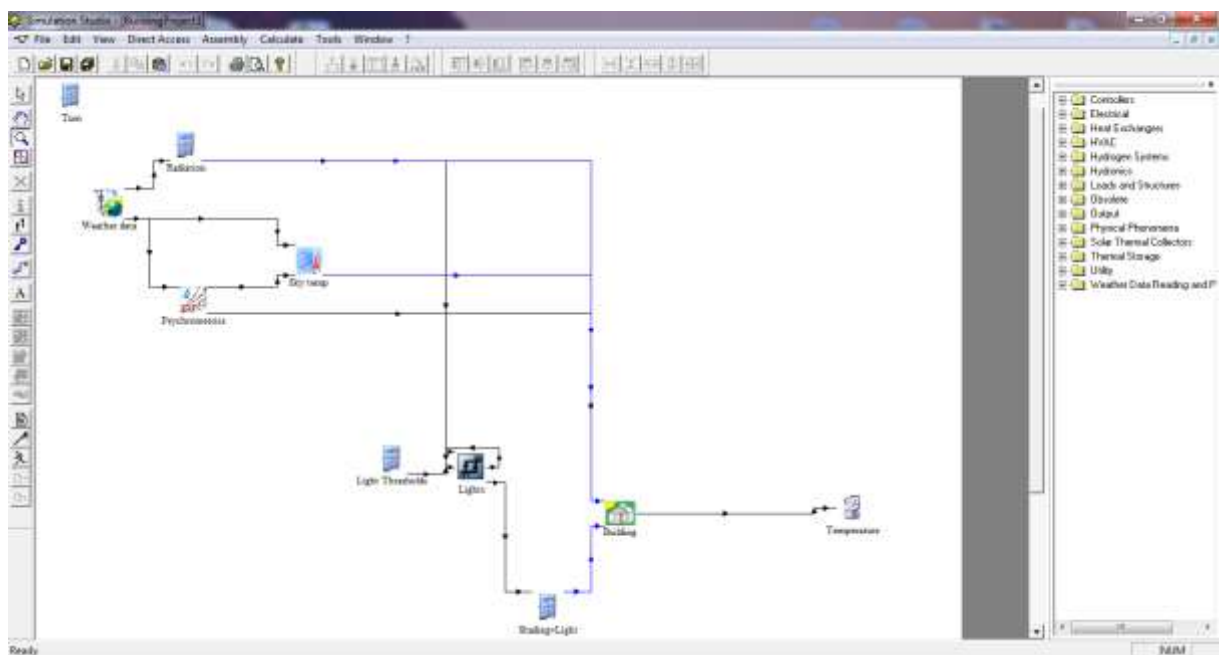
**Figure IV.6.** Les dimensions de la zone 3 (séjour)



**Figure IV.7.** Les dimensions de la zone 4 (sanitaire)



**Figure IV.8.** L'orientation de la maison



**Figure IV.9 .**Modélisation sous TRNSYS de la maison étudiée

#### IV.4.Définition de la maison dans TRNBuild

Utilisation d'un logiciel de simulation thermique ,TRNBuild en transférant le projet étudié sur ce logiciel, puis l'importer sur TRNSYS (figure IV.10).

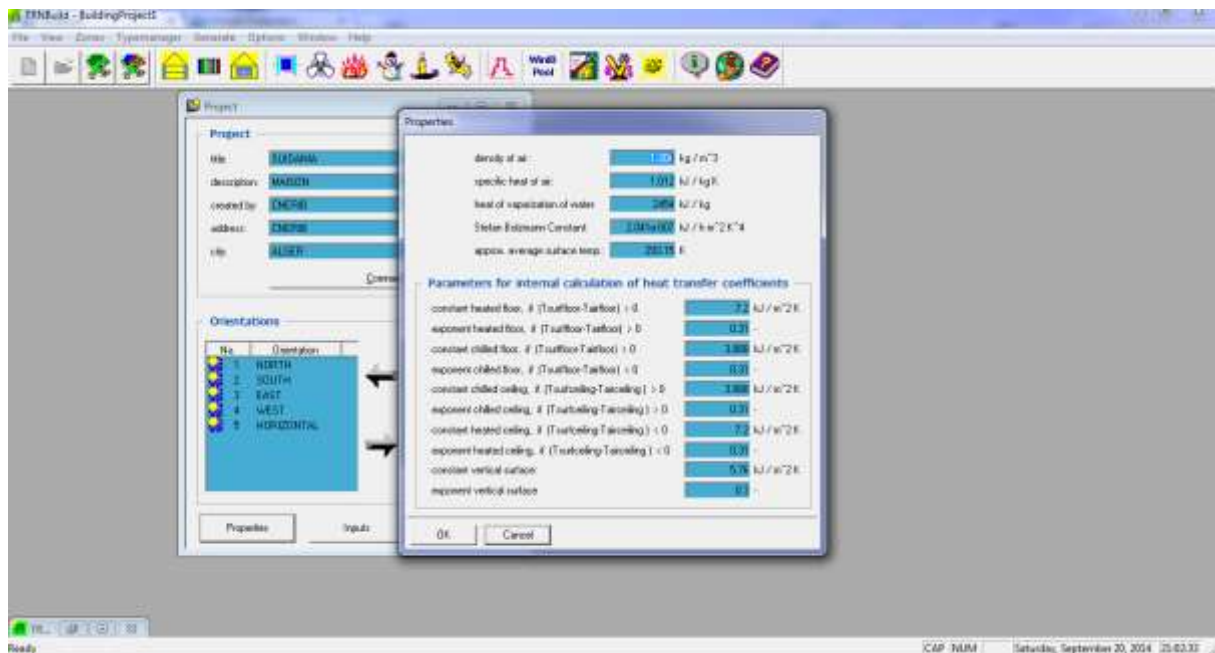


Figure IV.10. coordonnées du site avec les propriétés et paramètres du calcul

Pour cela, il faut définir les zones, et pour chacune d'elles, définir les parois (opaques et vitrées), c'est-à-dire leur composition et leurs orientations.

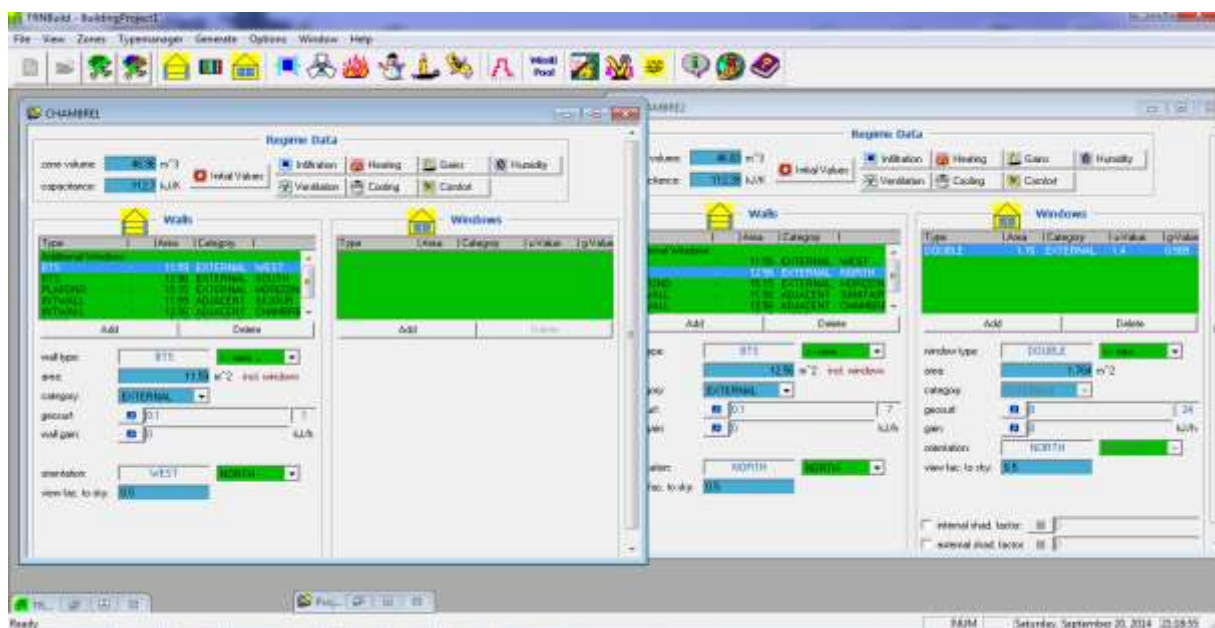


Figure IV.11. Composition des parois de la maison et des ouvrantes

(chambre1, chambre 2)

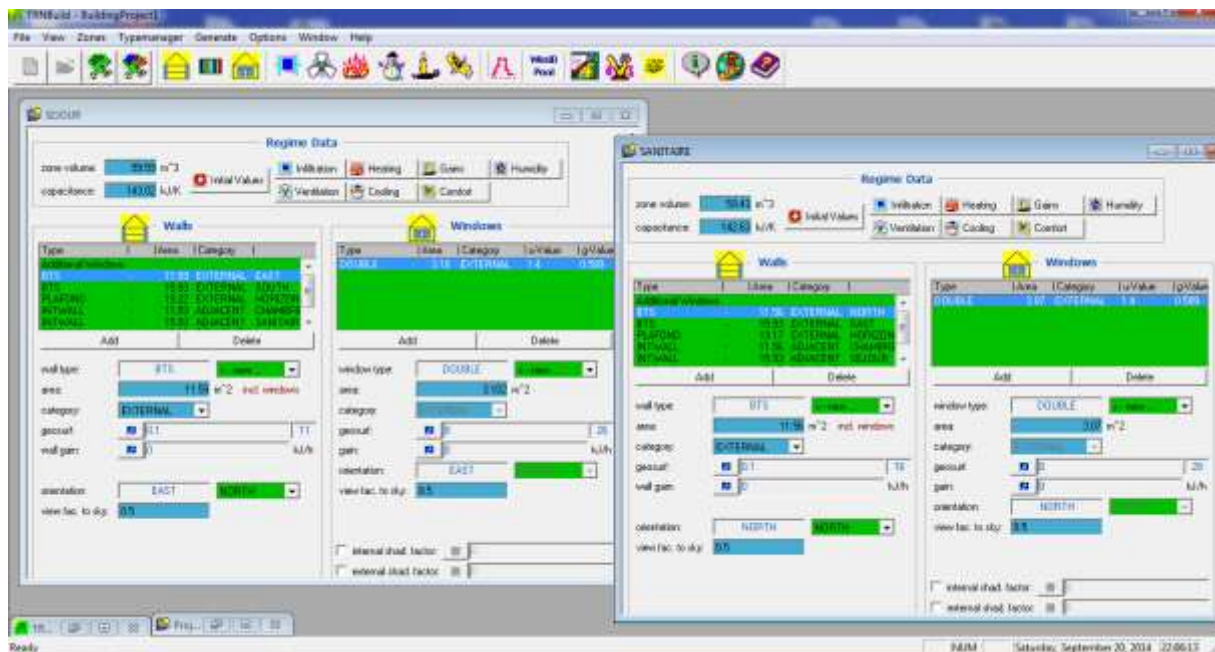


Figure IV.12. Composition des parois de la maison et des ouvrantes (Séjour, sanitaire)

#### IV.4.1. Calcul sous TRNSYS en utilisant le polystyrène

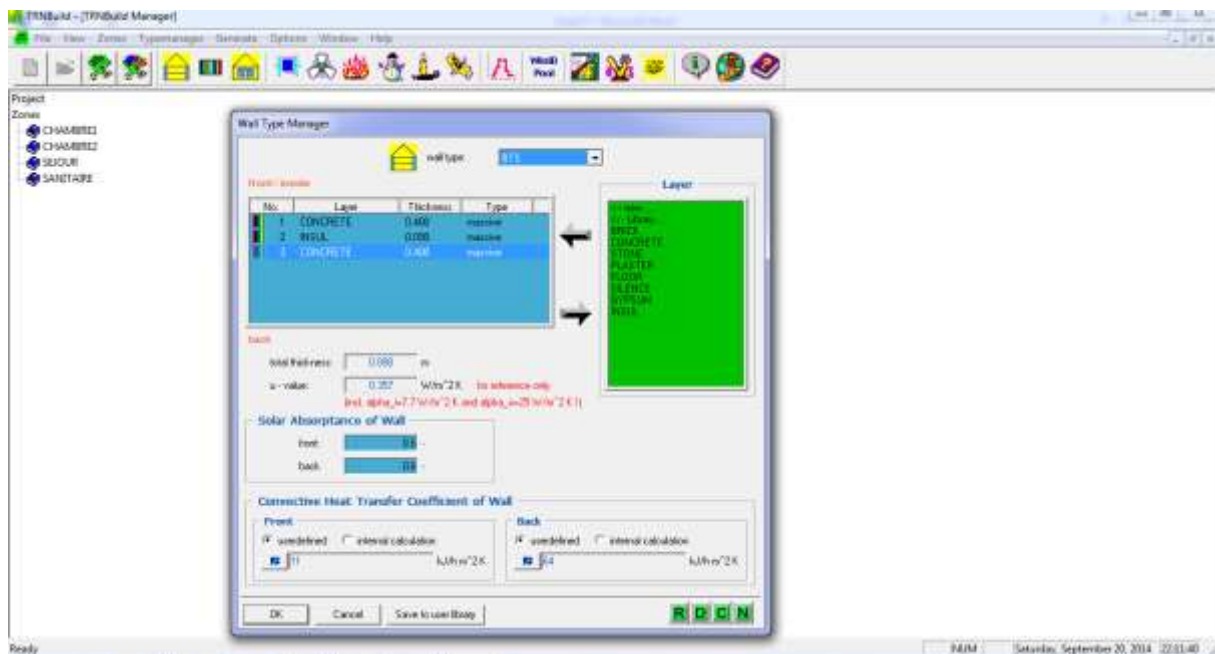
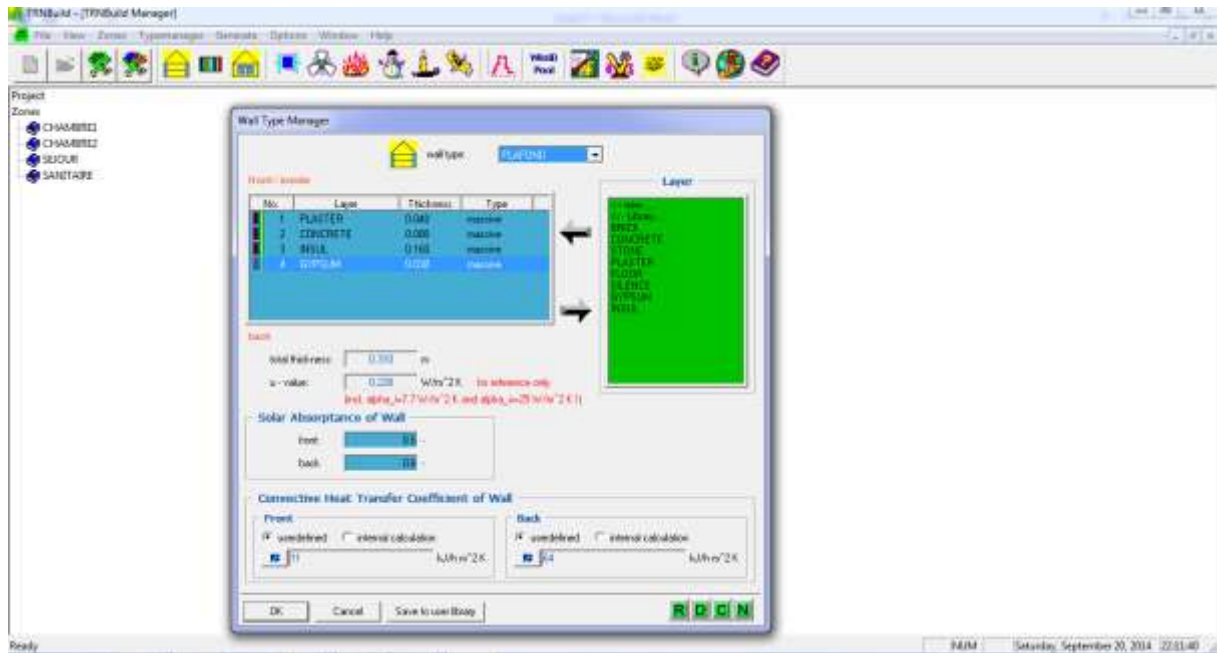
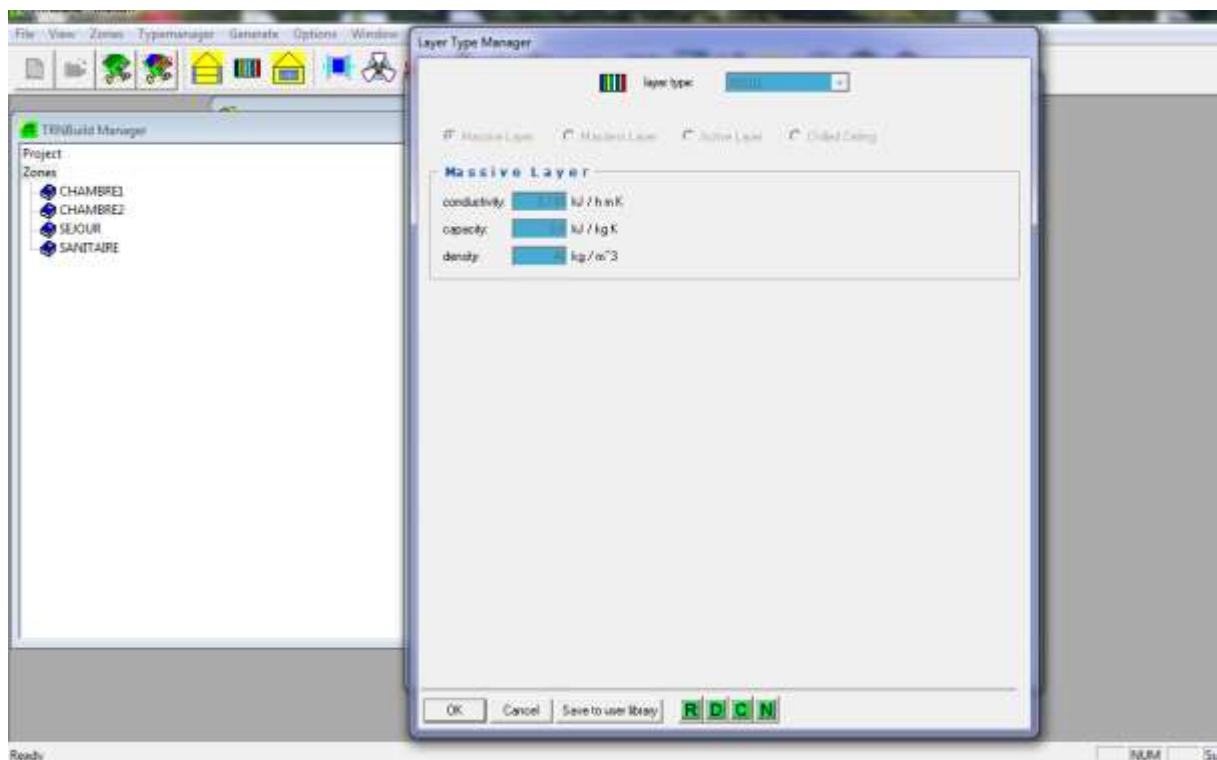


Figure IV.13. Définition des murs extérieurs de la maison



**Figure IV.14.** Définition du plafond de la maison

L'isolant choisi dans ce cas est le polystyrène dont les caractéristiques sont :



**Figure IV.15.** Caractéristique du polystyrène

#### IV.4.2 Calcul sous TRNSYS en utilisant lame d'air

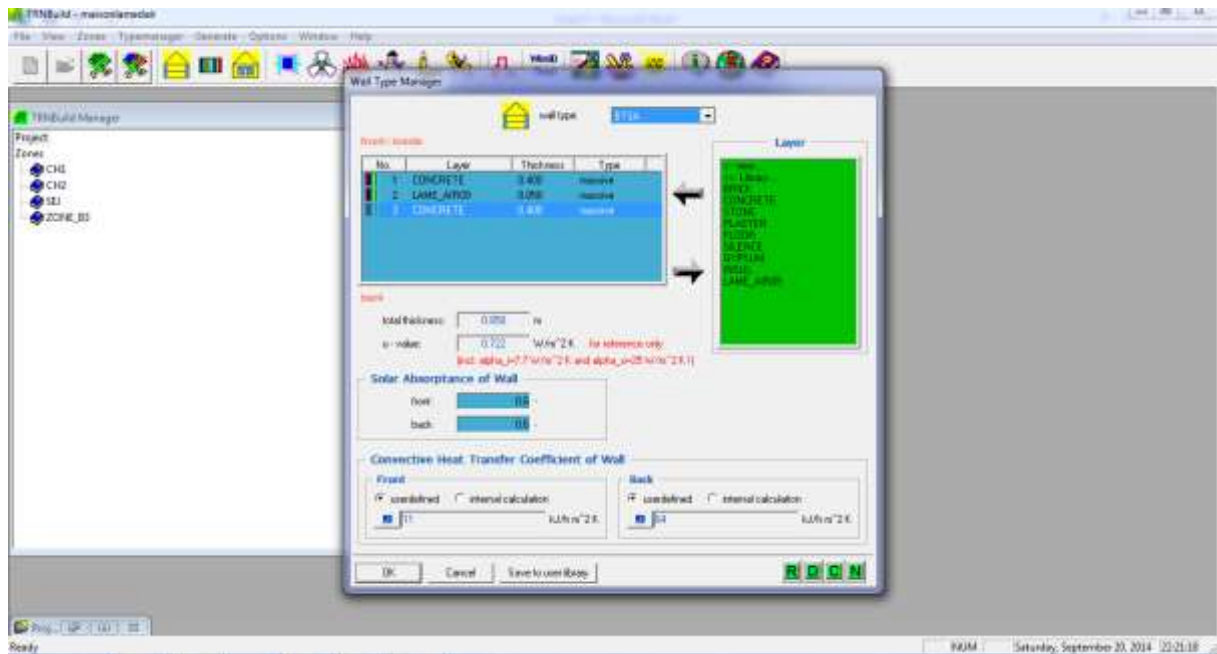


Figure IV.16. définition des murs extérieurs de la maison

L'isolant choisi dans ce cas est la lame d'air dont les caractéristiques sont :

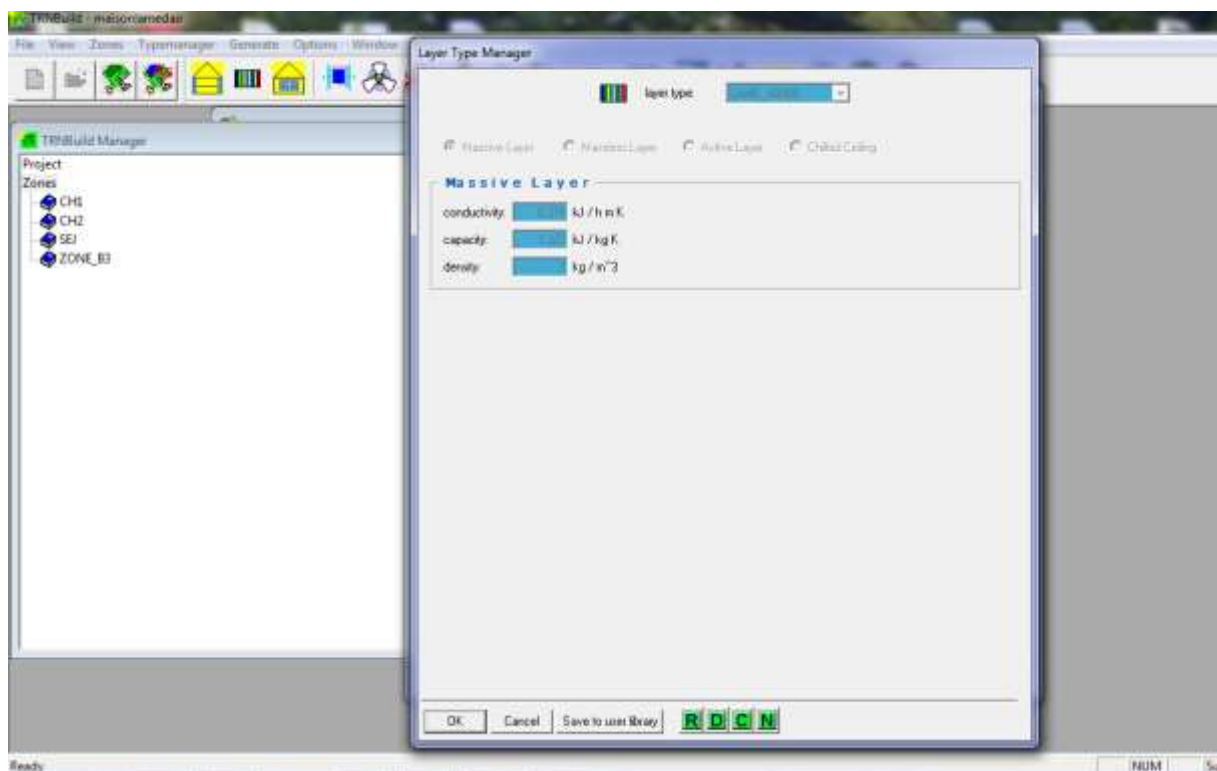


Figure IV.17. Caractéristique de la lame d'air

#### IV.4.3. Calcul sous TRNSYS en utilisant la laine de roche

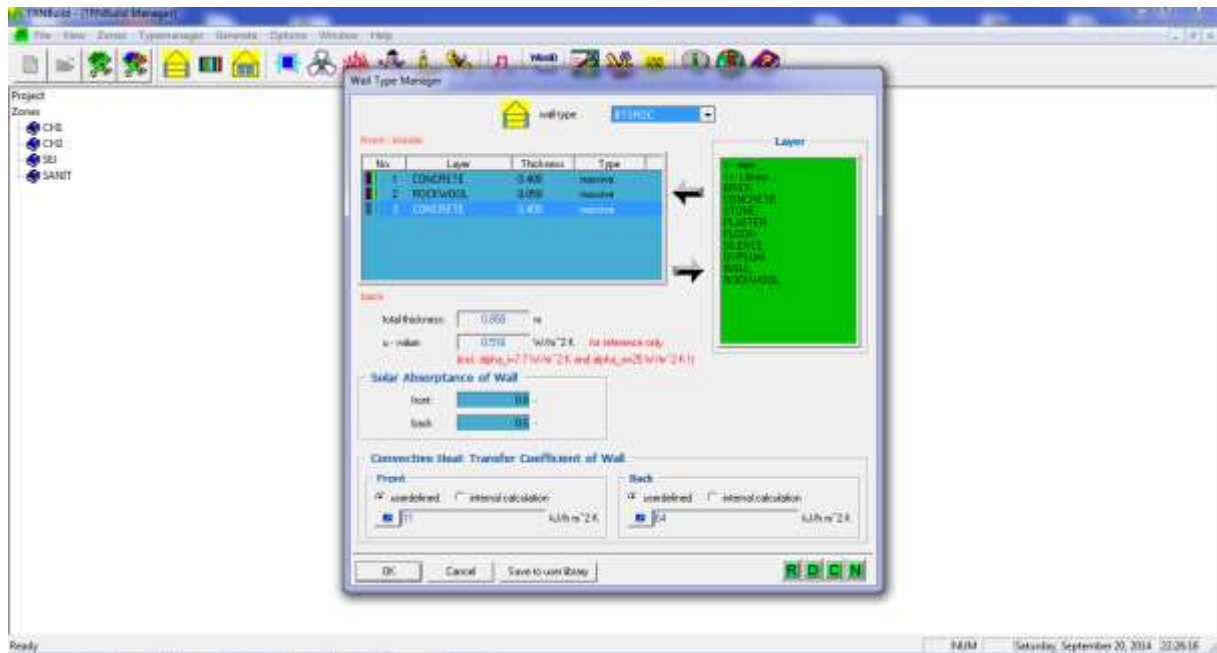


Figure IV.18. définition des murs extérieurs de la maison

L'isolant choisi dans ce cas est la laine de roche dont les caractéristiques sont :

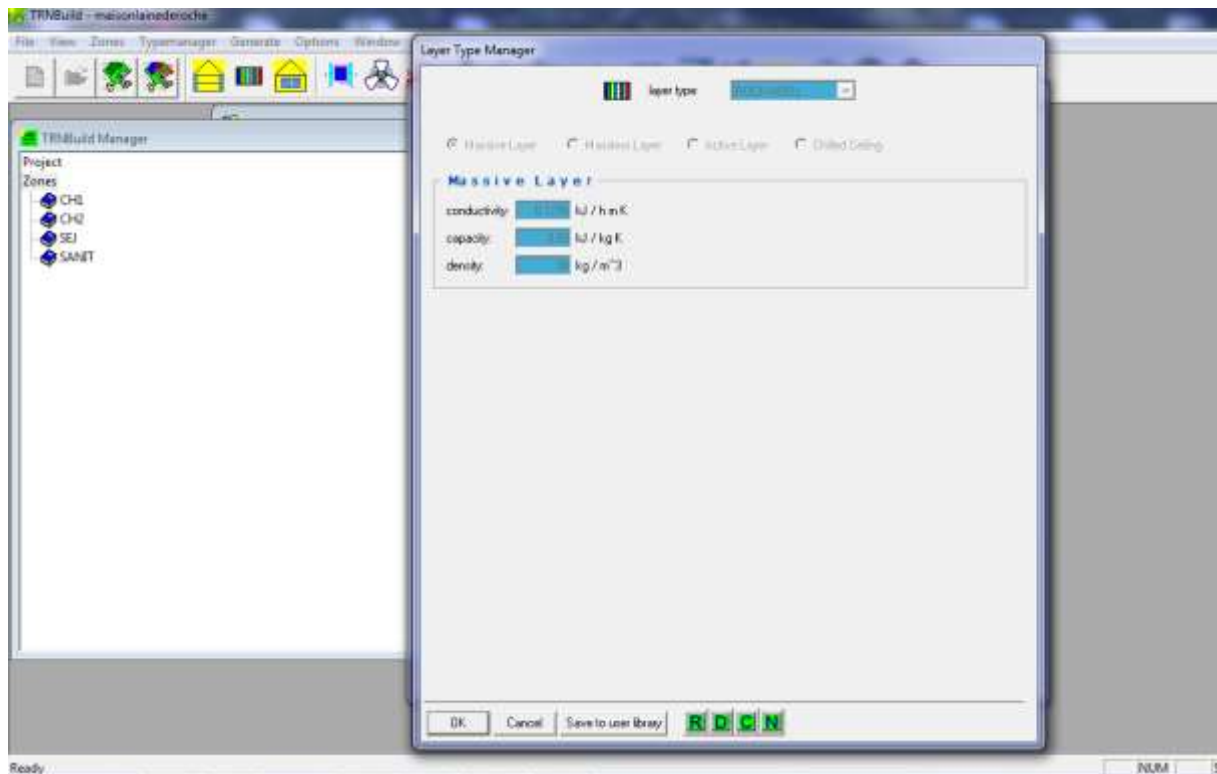


Figure.IV.19. Caractéristique de la laine de roche

## **IV.5.Conclusion**

Dans ce chapitre on a présenté les différentes étapes suivies lors de la simulation avec le logiciel TRNSYS 16.



# CHAPITRE V :

## RESULTATS ET INTERPRETATION

## V.1. Introduction

La simulation numérique sous TRNSYS a permis d'obtenir des résultats du modèle étudié.

Nous avons étudié le comportement thermique de la maison pilote de Souidania, en variant le type d'isolants.

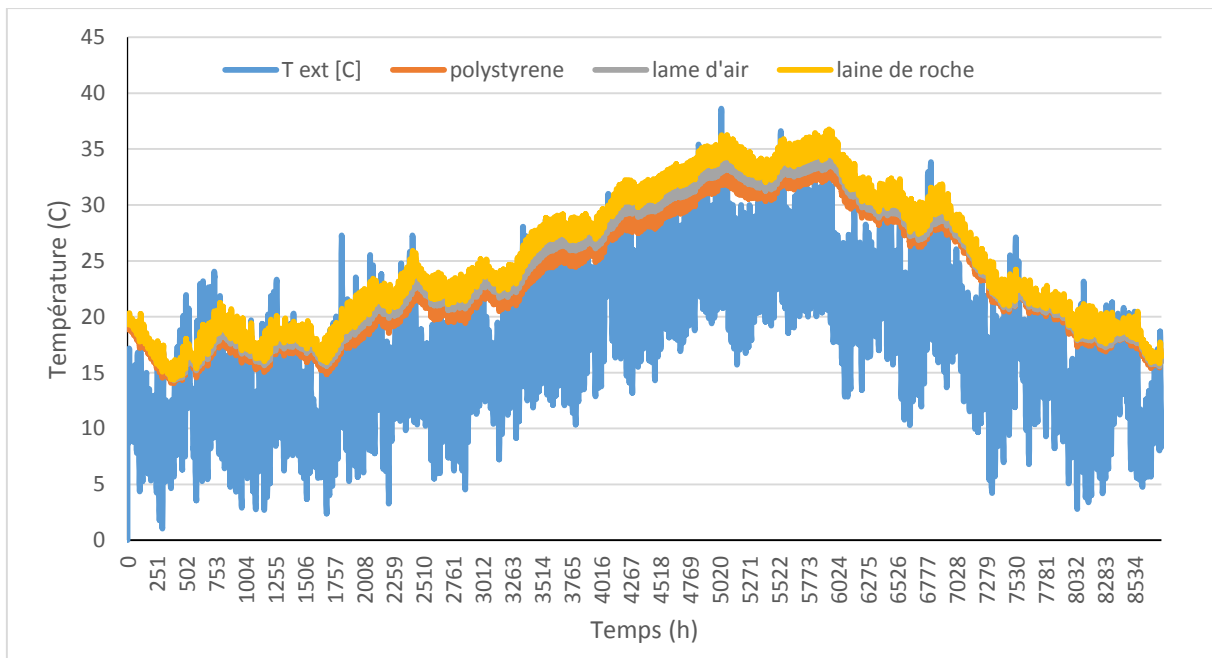
Dans le cas réel, l'isolant utilisé est le polystyrène ( $\lambda=0.04$  W/m.K), nous avons fait des simulations pour deux autres isolants ; la laine de roche ( $\lambda=0.036$ W/m.K) et la lame d'air ( $\lambda=0.06$ W/m.K).

## V.2. Interprétation

Les résultats obtenus sont représentés ci-dessous :

### V.2.1. Evolution annuelle des températures

Nous avons tracé les résultats obtenus des températures à l'intérieur de la maison dans le cas des 3 isolants ; 1. Polystyrène, 2. Laine d'air, 3. Laine de roche. Et cela pendant toute l'année.



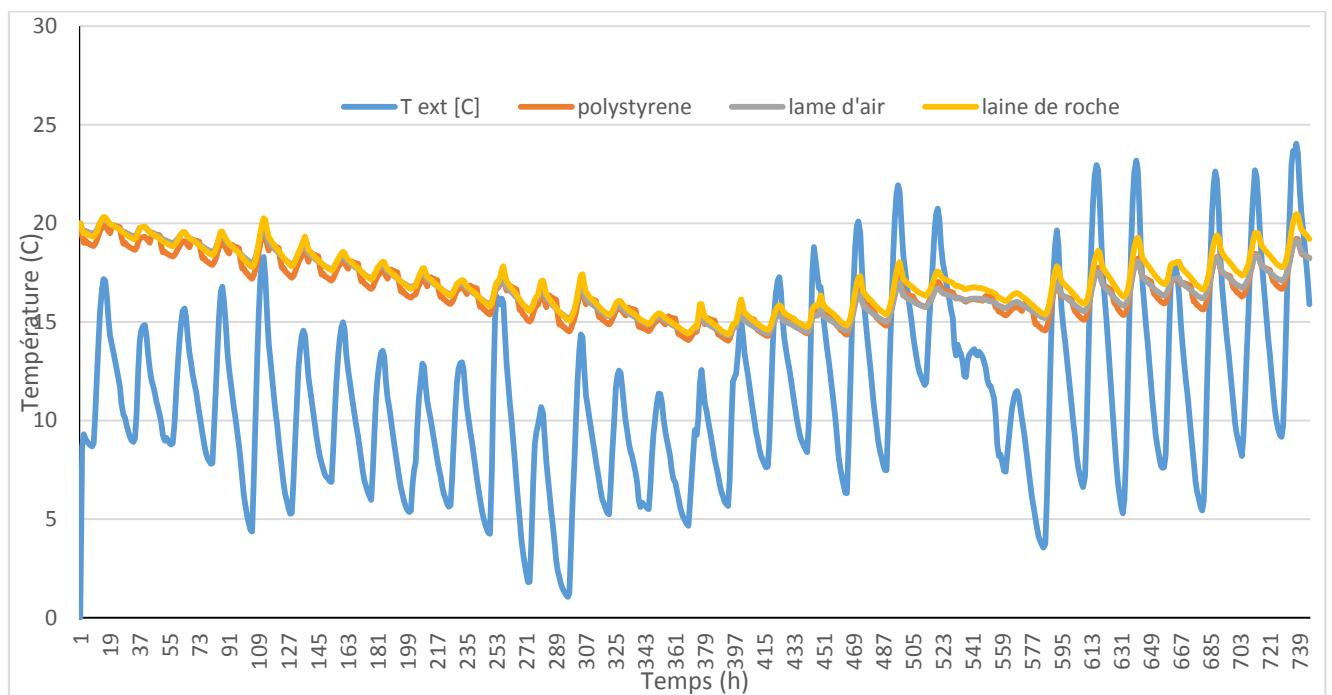
**Figure V.1.** Evolution de la température intérieure de la maison au cours de l'année

La température intérieure de la maison évolue de la même manière que la température extérieure, elle varie de 15°C à 25°C en hivers et de 27°C à 36°C en été, et cela pour les trois cas.

La température extérieure varie de 1.05°C à 23°C en hivers et atteint les 37°C en été.

Les valeurs extérieures sont des valeurs moyennes données par le logiciel METEONORM

### V.2.2. Saison Hivernale



**Figure V.2.** Evolution de la température intérieure de la maison pendant le mois de Janvier

Pour la saison hivernale nous avons tracé les températures pour le mois de janvier.

Nous constatons que la température à l'intérieur de la maison est comprise entre 15°C et 20°C et cela pour les trois isolants.

La température extérieure est présentée sur le même graphe, elle varie sinusoïdalement entre 1.05°C et 24°C pendant le mois de janvier. Donc sans apports supplémentaire de chauffage, la température intérieure reste confortable.

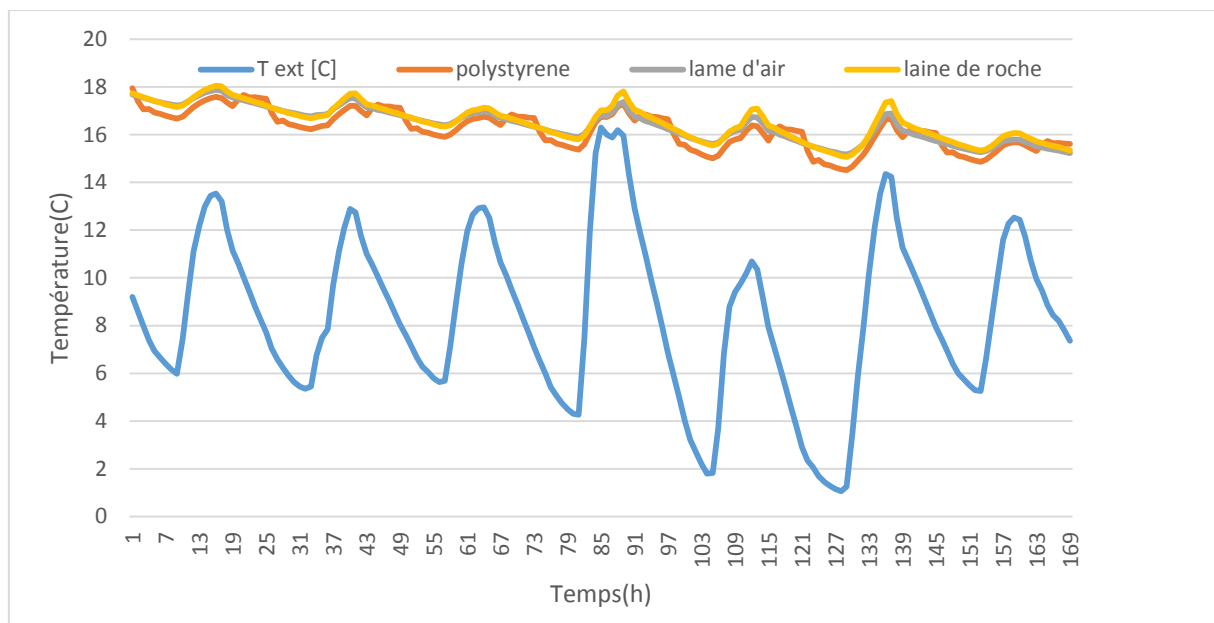
La lame d'air est la plus faible, vu que sa conductivité est de  $0,06\text{W/m.K}$  avec une épaisseur de  $5\text{ cm}$ , on a une résistance de  $R=e/\lambda =0.833\text{ m}^2\text{K/W}$ .

La laine de roche avec une conductivité de  $0.036\text{W/m.K}$  et une épaisseur de  $5\text{ cm}$ , donc  $R=1.388\text{m}^2\text{K/W}$ . Selon la courbe, l'évolution est la même que celle obtenue avec la lame d'air. Les courbes se confondent presque.

Le polystyrène avec une conductivité de  $0.04\text{W/m.K}$  et une épaisseur de  $9\text{ cm}$  ce qui donne  $R=2.25\text{m}^2\text{K/W}$ .

Plus  $\lambda$  est faible, plus le matériau est isolant ;  $\lambda_{\text{laine}} < \lambda_{\text{polys}} < \lambda_{\text{air}}$  ce qui fait que la laine de roche est le meilleur isolant.

On a une semaine pour mieux interpréter l'évolution des températures dans les trois cas d'isolation.



**Figure V.3.** Evolution de la température pendant une semaine de Janvier (du 07au14)

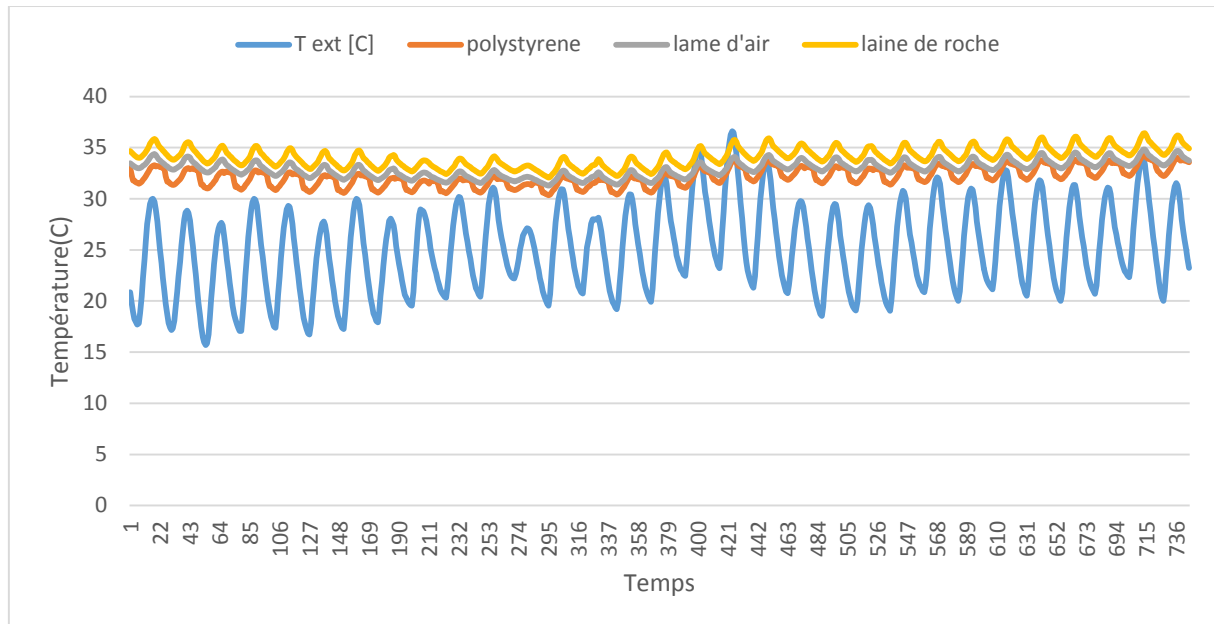
Cette courbe montre l'évolution observée dans la précédente avec plus de précision, la température intérieure de la maison varie de  $15^{\circ}\text{C}$  à  $18^{\circ}\text{C}$  dans les trois cas d'isolation.

Dans le cas du polystyrène, la courbe de température est plus basse de  $1^{\circ}\text{C}$ , par contre la laine de roche isole mieux les parois extérieures, puisque la température est plus élevée.

En parallèle, la température extérieure est comprise entre  $1.05^{\circ}\text{C}$  et  $16^{\circ}\text{C}$ .

### V.2.3. Evolution Estivale

Pendant la période estivale, nous avons tracé l'évolution de la température au cours du mois d'Aout à l'intérieur de la maison dans le cas des trois isolants choisis et cela sans utilisation de conditionnement d'air.



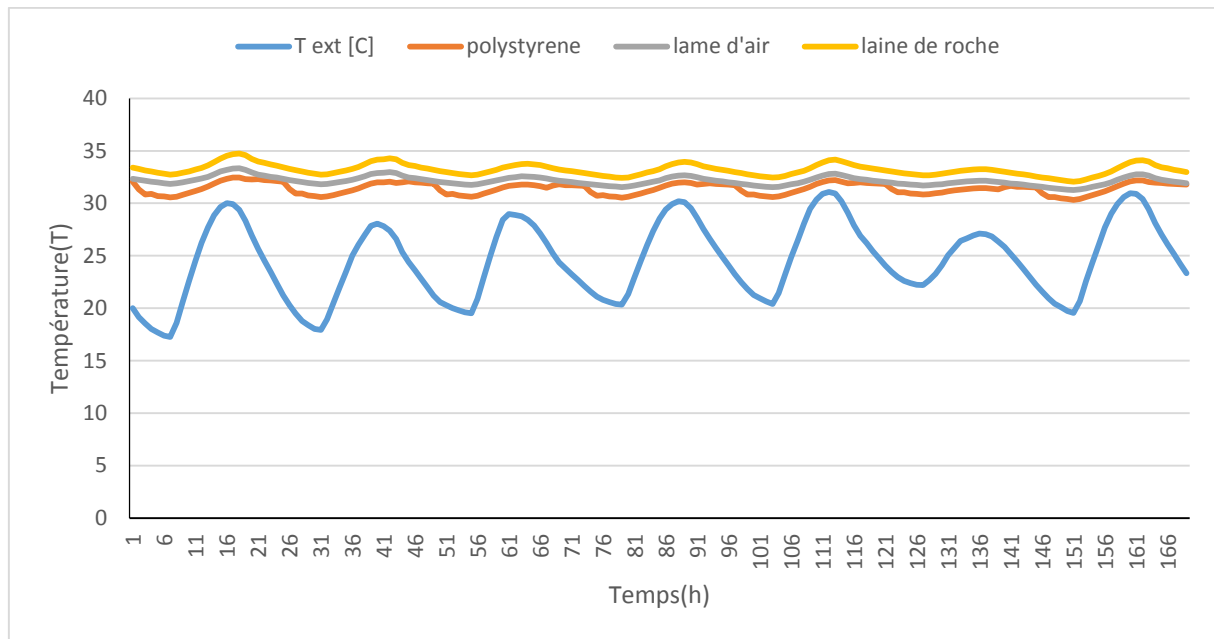
**Figure V.4.** Evolution de la température intérieure de la maison pendant le mois d'Aout

Sur cette courbe, sont présentées les températures à l'intérieur de la maison pendant le mois le plus chaud. Elles évoluent de la même manière et sont comprises entre 30°C et 36°C, alors que la température extérieure varie de 16°C à 36.5 °C.

On voit clairement que la température extérieure est au-dessous des températures intérieures de l'habitat, ce qui montre que l'isolation dans ce cas nuit au confort de l'habitat.

En ce qui concerne le choix de l'isolant, on observe la même évolution des températures avec une légère différence en faveur du polystyrène.

Dans ce cas de figure, la laine de roche dont la conductivité thermique est plus faible (résistance plus élevée) rend l'ambiance intérieure de la maison inconfortable.



**Figure V.5.** Evolution de la température intérieure de la maison pendant une semaine d'Aout (7/14)

Nos observations dans le cas du mois d'Aout sont confirmées dans ce graphe qui représente les résultats d'une semaine. La maison est si bien isolée qu'elle reste à une température très élevée et atteint les 35 °C dans le cas de la laine de roche. Dans ce cas, il faudrait penser à une ventilation naturelle afin de rafraichir l'ambiance intérieure.

#### **V.2.4. Rafraichissement passif par ventilation naturelle**

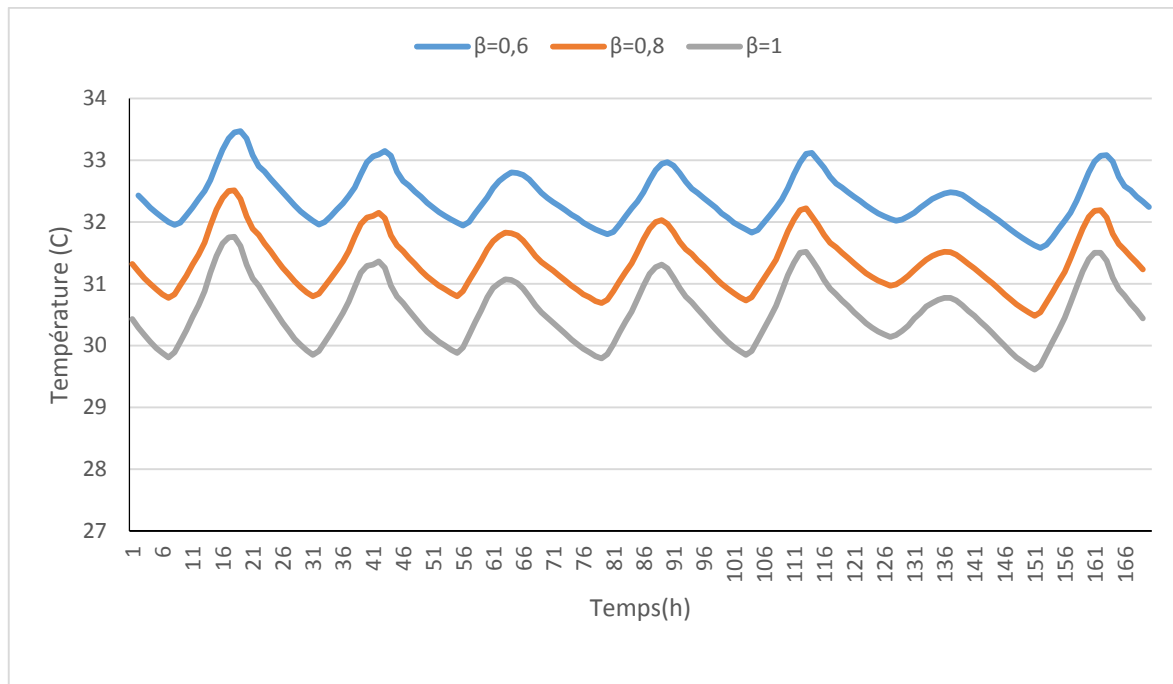
Dans le chapitre **II** (bilan thermique), les déperditions thermiques par renouvellement d'air s'écrivent :  $D=0,34 * \beta * V * \Delta T$ .

V : le volume de l'habitat,

$\Delta T$  : différence de températures entre l'intérieur et l'extérieur de l'habitat.

Donc pour augmenter le débit de renouvellement d'air, il faudrait augmenter le taux  $\beta$ .

Nous avons simulé le comportement de la maison sous TRNSYS, les résultats sont représentés et interprétés.



**Figure V.6.** Evolution des températures intérieures pour des taux différents

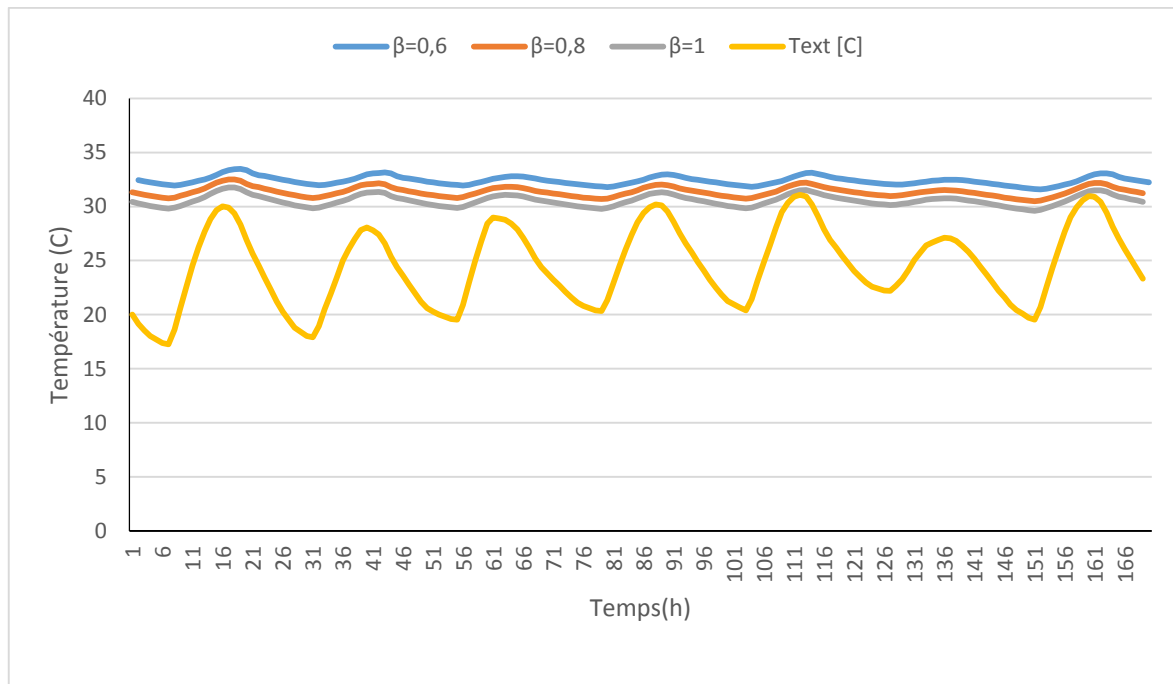
Les trois courbes évoluent de la même façon, mais avec une différence de quelques degrés. Dans le cas où  $\beta$  équivaut 0,6 la température à l'intérieur de la maison oscille entre 32°C et 33.2°C.

Nous avons refait la simulation en utilisant  $\beta = 0,8$  puis avec  $\beta=1$ .

Nous observons une diminution des valeurs de températures, vu que les déperditions par renouvellement d'air augmentent (voir l'équation).

La courbe relative à  $\beta = 1$ , descend au-dessous de 30°C. L'écart est important de 2°C, ce qui permet un meilleur confort.

Delà on peut réfléchir à des solutions simples pour rafraîchir l'habitat en faisant un compromis isolation/renouvellement d'air.



**Figure V.7.** Evolution des températures intérieures et la température extérieure pendant une semaine du mois d'Aout

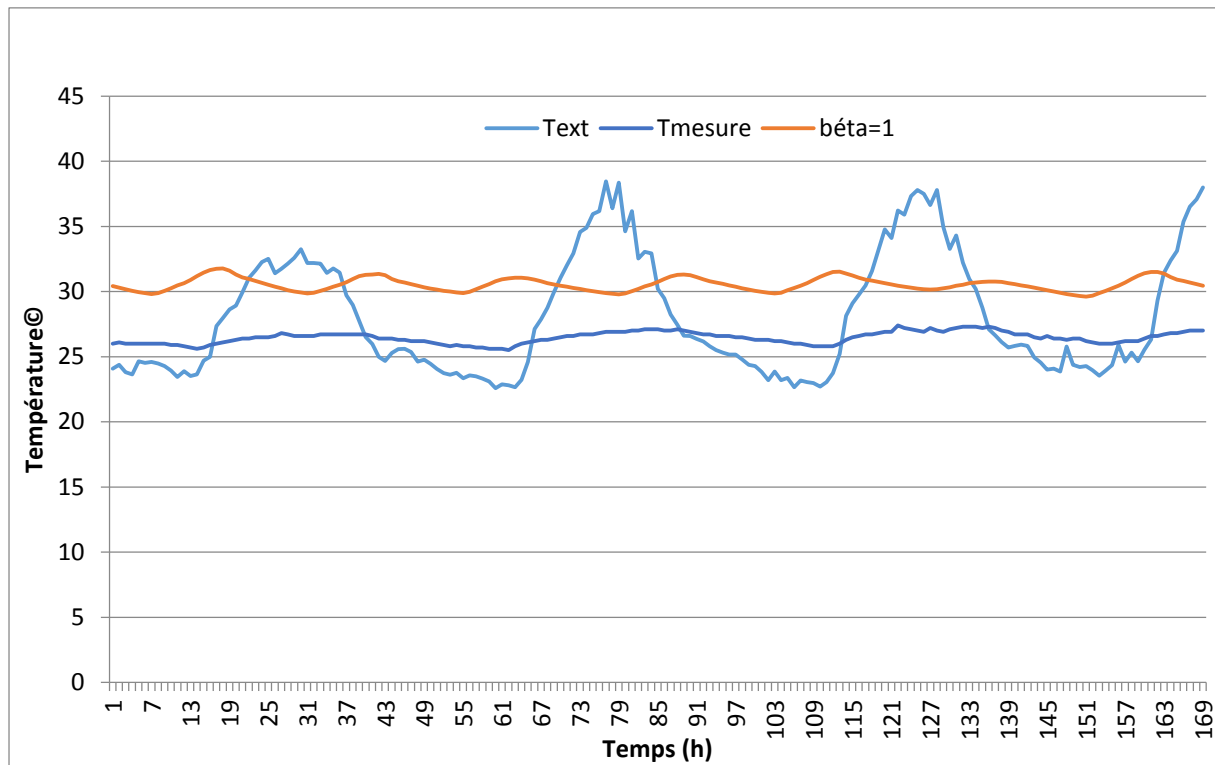
Cette courbe représente les températures intérieures de la maison pour différents  $\beta$ , et l'évolution de la température extérieure pendant une semaine du mois d'Aout.

Cette courbe confirme nos observations sur le rafraîchissement par renouvellement d'air, puisque la température intérieure correspondant à  $\beta=1$  diminue mais reste élevée.

### V.2.5. Comparaison avec les valeurs mesurées

Nous avons tracé les valeurs obtenues par simulation et comparé aux valeurs mesurées sur site pendant une semaine du mois d'aout (2013).





**Figure V.8.** Evolution de la température intérieure de la maison pendant une semaine d'Aout (2013)

Cette courbe montre clairement que les valeurs mesurées sont largement inférieures à ceux obtenues par simulation sous TRNSYS (une différence de 4 à 5°C).

On peut dire que la maison est mal isolée, ce qui fait que les infiltrations d'air sont importantes, puisque avec un taux de 1 on se rapproche des valeurs réelles.

La température intérieure est de l'ordre de 26 °C, alors que la température extérieure oscille de 20°C à 33°C, donc l'ambiance intérieure est confortable.

### V.3. Conclusion

Selon les résultats obtenus par simulation sous TRNSYS, pendant la période hivernale, l'isolation permet de maintenir la maison à un certain degré de confort.

Aussi, nous constatons que la laine de roche est meilleur isolant pour l'habitat, vu que les valeurs de température obtenues sont plus intéressantes.

Par contre pendant la période estivale, une ventilation naturelle est nécessaire afin de rafraîchir l'ambiance intérieure de l'habitat.

Les trois isolants étudiés sont intéressants dans l'habitat puisque leurs conductivités thermiques sont inférieures à 0.04 W/m.K .Donc le choix de l'isolant dépend de la disponibilité et du coût.

Dans le cas du renouvellement d'air, le taux utilisé dans le secteur résidentiel est de l'ordre de 0,6 (norme internationale).

Nous avons simulé dans le cas des trois taux de renouvellement d'air ( $\beta=0,6$  ; 0,8 et 1),

Nous avons observé un meilleur confort en augmentant  $\beta$ , ce qui donne à réfléchir à un rafraichissement passif par ventilation naturelle.

# CONCLUSION GENERALE

L'isolation thermique dans le bâtiment est un paramètre très important dans l'économie énergétique, vu que le bâtiment représente le quart des émissions de gaz à effet de serre. [38]

Un bâtiment bien isolé se chauffe avec beaucoup moins d'énergie. Mais il permet aussi d'autres gains : il se contente d'une installation de chauffage plus petite et donc généralement moins chère. Et puisque le chauffage fonctionne moins de jours dans l'année, l'installation vieillit moins vite et ses coûts de maintenance sont réduits d'autant.

Ce travail consiste en l'étude du comportement thermique de la maison pilote de Souidania, dans le cadre du projet MEDENEC (CNERIB-CDER), en variant le type d'isolants.

La maison est construite avec des briques de BTS (Béton de terre stabilisé), les briques sont à base d'un mélange de terre argileuse et d'un stabilisant, elles sont réalisées après compression avec compactage statique [39].

La simulation a été faite à l'aide du logiciel TRNSYS 16, en intégrant les données climatique du site [METEONORM].

Dans le cas réel, l'isolant utilisé est le polystyrène ( $\lambda=0.04$  W/m.K), nous avons fait des simulations pour deux autres isolants, la laine de roche ( $\lambda=0.036$  W/m.K) et la lame d'air ( $\lambda=0.06$ W/m.K).

Pendant la période hivernale, l'isolation permet de maintenir la maison à un certain degré de confort (autour de 20 °C), et on n'a pas besoin de chauffage.

Par contre pendant la période estivale, une ventilation naturelle est nécessaire afin de rafraîchir l'ambiance intérieure de l'habitat, puisque les températures à l'intérieur de la maison restent élevées.

Dans le choix du matériau, on peut privilégier sa performance d'isolation en fonction de son épaisseur, son prix, sa durée de vie ou encore son impact environnemental (lors de sa fabrication, de son transport et de son élimination). Mais il faut savoir qu'il n'existe pas de matériau idéal. Ceux qui sont annoncés comme naturels (chanvre, laine de mouton, laine de bois, etc.) sont souvent traités contre les insectes, la moisissure et l'incendie. Le mieux est donc de se fier aux normes officielles, plutôt qu'aux déclarations commerciales.

Le but est de réaliser une isolation confortable, durable et économe, mais penser à d'autres paramètres de confort comme le renouvellement d'air.

# REFERENCES

## Reference :

[1] Ruelle François « Le standard maison passive en Belgique , potentialités et obstacle» , Master en science et gestion de l'environnement , 2007.2008

[2] Arif Hepbasli , « Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable building and societies» , Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 73-104.

[3] M. Amirat, S.M.K. ElHassar « Economies d'Energie dans le secteur de l'habitat Consommation Electrique des Ménages- Cas d'un foyer algérien typique en période d'hiver » ,Rev. Energies Renouvelables . vol .8 (2005) 27- 37.

[4] Suresh B. Sadineni ,Srikanth Madala , Robert F.Boehem “ Passive building energy saving : A review of building envelope components ” , Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3617-3631.

[5] BENNADJI. Amar, Adaptation climatique ou culturelle en zones arides : Cas du Sud -Est algérien, Thèse de doctorat, Université AIXE MARSEILLE 1, 1999, p 17.

[6]MEDJELEKH DALEL , «impactde l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment » , Thèse de magister ,Université MENTOURI DE CONSTANTINE ,2006 , Chapitre2.

♠ ASHRAEA: American Society of Heating Refrigerating and Air conditionnig Engineers.

♠ISO 10551 (International Standard Organization) : Evaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelle de jugements subjectifs.

[7]Thelier. F et al, Les outils d'évaluation du confort thermique, Journée SFT/ CSTB, 04/02/2003 Nantes.

[8] Fich technique : confort thermique par l'agence national de l'habitat « France ».

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ;(ADEME), [www.ademe.f](http://www.ademe.f)

[ 9] Mémento technique de bâtiment, pour le chargé d'opération de constructions publiques ; confort thermique, juillet 2003, France

[10]Yves ROBILLARD, «Efficacité énergétique des bâtiments », dossier de presse ,2011.

[11] L'importance de l'isolation thermique, Google.

[12] Centre Technique de Matériaux Naturels de la Construction ; Département Roches Ornementales et de Construction, -«Guide des ponts Thermiques » Maçonnerie en Pierre Naturelle v1.1

[13]L. DERRADJI, K.IMESSAD, F. BOUDALI ERREBAI, M.AMARA, Y. MAOUDJ, F. MOKHTARI ; « Étude de l'efficacité énergétique d'une maison Économique en Algérie » ; 2eme Congres de l'Association Marocaine de Thermique, Casablanca(Maroc) 18-19 Avril 2012.

[14] L.DERRADJI, F.BOUDALI ERREBAI, M.AMARA, Y. MAOUDJ, B.DJEBRI, S.CHIKH « Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison rurale à faible consommation d'énergie », 15èmes Journées Internationales de Thermique (JITH 2011)Université de Tlemcen, 24-26 Septembre.

[15] S.M.A BEKKOUCHE, T. BENOUAZ et A CHEKNANE : « Influence de l'isolation thermique intérieure et extérieure d'un bâtiment pierre située à Ghardaia », SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.

[16] M. TROCMÉ Aide aux choix de conception de bâtiments économes en énergie »thèse de doctorat en énergétique ;2009 ; L'ecole Nationale Superieure Des Mines De Paris

[17]S. THIERS « Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive » ; Thèse de doctorat en énergétique ;2008 ; L'ecole Nationale Supérieure Des Mines De Paris

[18]N. K. HANNACHI-BELKADI ; « Développement d'une méthodologie d'assistance au commissionnement des bâtiments à faible consommation d'énergie » ; Thèse de doctorat en Génie Civil ; 2008 ; Université Paris Est.

[19]C. Hamouda et A. Malek «Analyse théorique et expérimentale de la consommation d'énergie d'une habitation individuelle dans la ville de Batna» Revue des Energies Renouvelables Vol. 9 N°3 (2006) 211 – 228

[20] R.KHARCHI et B.BENYOUCEF, «Analyse des besoins énergétiques en chauffage et en rafraîchissement : Cas de trois sites d'Algérie», 15<sup>èmes</sup> journées Internationales de Thermiques, 24-26 septembre 2011, Tlemcen, Algérie.

[21] R.KHARCHI, B.BENYOUCEF et M.BELHAMEL, « Système solaire combiné », Conférence Internationale sur les Energies Renouvelables (ICRE'07), Novembre 2007 à Béjaïa (Algérie).

[22] R.KHARCHI « Etude Energétique De Chauffage, Rafraichissement Et Eau Chaude Sanitaire D'une Maison Type En Algérie », thèse de doctorat En Physique Énergétique et Matériaux (juillet 2013), Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables, Université de Tlemcen.

[23] R. Guechchati<sup>1</sup>, M.A. Moussaoui<sup>1</sup>, Ahm. Mezrhab et Abd. Mezrhab « Simulation de l'effet de l'isolation thermique des bâtiments Cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda » Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°2 (2010) 223 – 232

[24] M.S. Mohsen and B.A. Akash, «Some Prospect of Energy Saving in Building', Energy Conversion Management » Vol. 42, N°11, pp. 1307 - 1315, 2001.

[25] M.A. Aktacir, O. Büyükalaca and T. Yılmaz, «A Case Study for Influence of Building Thermal Insulation on Cooling Load and Air-Conditioning System in the Hot and Humid Regions » , Applied Energy, Vol. 87, N°2, pp. 599 - 607, 2010.

[26] M. Ozel and K. Pihitli, «Optimum Location and Distribution of Insulation Layers on Building Walls with Various Orientations», Building and Environment, Vol. 42, N°8, pp. 3051–3059, 2007.

[27] S.A. Al-Sanea, M.F. Zedan and S.A. Al-Ajlan, «Effect of Electricity Tariff on the Optimum Insulation-Thickness in Building Walls as Determined by a Dynamic Heat-Transfer Model», Applied Energy, Vol. 82, N°4, pp. 313 - 330, 2005.

[28] N. Fezzioui, B. Draoui, M. Benyamine et S. Larbi, «Influence des Caractéristiques Dynamiques de l'Enveloppe d'un Bâtiment sur le Confort Thermique au Sud Algérien», Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°1, pp. 25 - 34, 2008.

[29] D. Medjelakh et S. Abdou, «Impact de l'Inertie Thermique sur le Confort Hygrothermique et la Consommation Énergétique du bâtiment», Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°3, pp. 329 - 341, 2008.

[30] Claude ALAIN ROULET, Arnaud DAURIAT ; « Énergétique du bâtiment Bâtiments », École Polytechnique Fédérale De Lausanne , Faculte D'environnement Naturel, Architectural Et Construit, Edition Septembre 2009.



[31] « Document Techniques Réglementaire (DTR C3-2, DTR C3-4) » ; Réglementation thermique des bâtiments d'habitation-Fascicule 1 ; 12/1997 CNERIB.

[32] Jean-Marc Zraggen ; « Bâtiments résidentiels locatifs à haute performance énergétique: objectifs et réalités » ; Thèse doctorat en sciences, mention interdisciplinaire ; 2010 ; Université de GENÈVE faculté des sciences.

[33] Bediaf Amina ; «Etude paramétrique d'un plancher solaire chauffant sur le rendement thermique d'un habitat » ; Master 2 en énergétique (2012) , Saad Dahelb Blida

[34] Lotfi DERRADJI et all. « Étude des performances énergétiques d'une maison Prototype en Algérie», article .

[35] Seguour Abderahim « Efficacité énergétique d'une maison à basse consommation», Master 2 en énergies renouvelables (2013) , Saad dahleb

[36] Bouassida Billel « Simulation d'une centrale cylindro-parabolique sous TRNSYS», ingénieur en génie énergétique 2013, école nationale d'ingénieur.

[37] TRNSYS 16 « a TRaNsient Système Simulation program », short description

[38] A Shariah, Brhan Tashtoush, A Rousan « Cooling and heating loads in residential buildings in Jordan» Energy and Buildings 26 (1997) 137-143

[39] k. Imessad, rapport interne 2013, CDER

