REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie civil
Spécialité : Equipement de l'habitat

Synthèse et caractérisation d'un nouvel Isolant à base d'éco-matériau

---

Présenté par

BOULBADAOUI Aymen Khireddine

SAYAH Hemza

Proposé et Dirigé par

Dr. TRIKI Zakaria

Mme BEN HADJ TAHAR Dhouha

Promotion 2023

Remercîment:

Avant tout, on remercie Dieu tout puissant qui nous a guidés jusqu'à la fin de ce parcours et a illuminé notre chemin vers la connaissance suprême.

Nous souhaitons également exprimer notre sincère reconnaissance envers notre encadreur exceptionnel, le Dr. TRIKI Zakaria, ainsi que Mme BEN HADJ TAHAR Dhouha, dont l'aide précieuse a été déterminante pour l'achèvement de ce travail. Leur disponibilité, leur suivi attentif, leurs précieux conseils et leurs critiques constructives ont été d'une inestimable valeur.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude envers les membres du jury qui ont accepté de partager leur expertise. Leurs remarques, critiques, orientations et conseils nous seront d'une grande utilité pour continuer notre cheminement dans le domaine de la recherche scientifique.

Nous aimerions également adresser nos chaleureux remerciements à tout le personnel et aux enseignants du département de génie mécanique de l'unité site Médéa, pour leur disponibilité constante et leur encouragement tout au long de notre formation. Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, leur apport a été précieux.

Dédicace:

A ma chère mère,

A mon cher père

Mes sincères remerciements vont à ceux qui ont constamment formulé des prières pour moi, me soutenant et m'épaulant tout au long de ma vie afin que je puisse atteindre mes objectifs. Ma mère, qui a toujours été à mes côtés, a été un soutien indéfectible.

A mon cher frère et mes chères sœurs

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers ceux qui m'ont apporté un soutien moral inébranlable et des conseils inestimables tout au long de mes études. Leur présence bienveillante et leurs précieux conseils ont été des éléments essentiels pour mon épanouissement académique.

A ma chère binôme HEMZA

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.

A toute ma chère et Grande famille BOULBADAOUI,

A tous ceux que j’aime et ceux qui m’aiment

AYMEN

Dédicace:

À ma chère mère,

À mon cher père,

Je suis rempli d'une profonde gratitude envers vous, qui avez constamment formulé des prières pour moi, me soutenant et m'épaulant tout au long de ma vie pour que je puisse atteindre mes objectifs. Ma mère, qui a toujours été à mes côtés, a été un soutien indéfectible.

À mes cher frères et mes chères sœurs,

Je souhaite exprimer ma gratitude infinie envers vous qui m'avez offert un soutien moral inébranlable et des conseils inestimables tout au long de mes études. Votre présence bienveillante et vos précieux conseils ont été des éléments essentiels pour mon épanouissement académique.

À ma chère binôme Aymen,

Je suis profondément reconnaissant envers toi pour ton soutien indéfectible et ta patience infinie.

À toute ma chère et grande famille Sayah,

Je suis rempli d'une profonde gratitude envers vous tous. Votre amour inconditionnel et votre soutien constant ont été d'une importance capitale dans ma vie.

À tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment,

Je souhaite exprimer ma gratitude sincère envers vous tous. Votre amour, votre soutien et votre présence dans ma vie ont été des bénédictions inestimables.

HEMZA

Résumé :

L'isolation a pour but de freiner cet échange thermique et de permettre ainsi de garder les parois d'une habitation à une température la plus proche possible de celle de l'air intérieur. Concrètement, les matériaux isolants évitent les fuites de chaleur d'une face de la paroi isolante vers l'autre face. Une isolation thermique performante se caractérise donc par l'absence de zones d'échanges de chaleur ou ponts thermiques. La caractérisation d'un isolant thermique revient donc à effectuer la mesure d'une des propriétés thermiques recensée sur le matériau. L'objectif principal de ce travail est d'évaluer les caractéristiques thermiques et hygrométriques d'un nouvel isolant thermique élaboré à la base d'une plante marine naturelle, écologique et biodégradable (posidonie). L'autre objectif de travail est de simuler les performances énergétiques d'un local avec et sans isolation thermique en utilisant le logiciel TRNsys.

Mots clés : Isolation thermique, matériau écologique, caractérisation thermique, caractérisation hygrométrique, simulation TRNsys.

Abstract:

The purpose of insulation is to slow down heat exchange and thereby keep the walls of a building as close as possible to the temperature of the indoor air. In practical terms, insulating materials prevent heat leakage from one side of the insulated surface to the other. Effective thermal insulation is characterized by the absence of heat exchange zones or thermal bridges. The characterization of a thermal insulator involves measuring one of the thermal properties identified in the material. The main objective of this study is to evaluate the thermal and hygrometric characteristics of a new thermal insulator made from a natural, ecological, and biodegradable marine plant (seagrass). Another objective is to simulate the energy performance of a space with and without thermal insulation using the TRNsys software.

Keywords: Thermal insulation, ecological material, thermal characterization, hygrometric characterization, TRNsys simulation.

ملخص:

يهدف العزل إلى تقليل تبادل الحرارة وبالتالي السماح بالحفاظ على درجة حرارة جدران المنزل قريبة قدر الإمكان من درجة حرارة الهواء الداخلي. بشكل عملي، تمنع المواد العازلة تسرب الحرارة من وجه الجدار المعزول إلى الوجه الآخر. يتميز العزل الحراري الفعال بعدم وجود مناطق لتبادل الحرارة أو الجسور الحرارية. يعود توصيف المادة العازلة الحرارية إلى قياس إحدى الخصائص الحرارية المذكورة على المواد. الهدف الرئيسي لهذا العمل هو تقييم الخصائص الحرارية والرطوبية لمادة عازلة حرارية جديدة مصنوعة من نبات بحري طبيعي وبيئي وقابل للتحلل (البوسيدونيا). الهدف الآخر من العمل هو محاكاة الأداء الطاقوي لغرفة مع وبدون عزل حراري باستخدام برنامج TRNsys.

الكلمات الرئيسية: العزل الحراري، المواد البيئية، التوصيف الحراري، التوصيف الرطوبي، محاكاةTRNsys

Sommaire

SOMMAIRE

Introduction générale

Introduction générale : 1

Généralités sur les isolants thermiques

I .1. Introduction : 5

I .2. Définition de l'isolation thermique : 5

I.3. Historique de l'isolation thermique : 5

I.3.1. Cas des maisons anciennes : 5

I.3.2. Règlementation thermique des bâtiments neufs (RT 2005) : 6

I.3.3. Règlementation thermique des bâtiments existants (RT dans l'existant) : 6

I.4. Le principe de l'isolation thermique : 6

I.4.1. Isolation intérieure : 8

I.4.2. Isolation extérieure : 8

I.4.3. Isolation repartie : 9

I .5. Caractéristiques pour un isolant thermique : 9

I .5.1. Conductivité thermique (λ): 9

I .5.2.Résistance thermique (R): 9

I .5.3. La transmission thermique (K) : 10

I.6. Conclusion : 11

Matériaux de construction écologiques (éco-matériaux)

II .1. Introduction : 13

II .2. Définition de éco-matériaux : 13

II.3. Classification des matériaux isolants : 14

II.4. Différents types d'isolation : 15

II.4.1. Les isolants minéraux : 15

II.4.1.1. Le verre cellulaire : 15

II.4.1.2. La perlite : 16

II.4.1.3. La vermiculite : 17

II.4.2. Les isolants végétaux : 18

II.4.2.1. Le Liège : 18

II.4.2.2. La Laine de coton : 20

II.4.2.3. Le chanvre : 21

II.4.3. Les isolants mixtes (minéraux et végétaux) : 23

II.4.3.1. Le torchis : 23

Sommaire

II.5. Conclusion : 24

Analyse du comportement thermique et hygrométrique

III.1. Introduction : 26
III.2. Les fibres de posidonie : 26
III.3. Fabriquer De La Colle : 27
III.4. Préparation des échantillons utilisés dans l'étude : 27
III.5. Mesures de la conductivité thermique : 29
III.5.1. Technique de fil chaud par CT-mètre : 29
III.6. Essai d'absorption d'eau par capillarité : 32
III.6.1. Principe et méthode d'essai : 34
III.7. Conclusion : 36

Simulation dans TRNsys

IV.1. Introduction : 38
IV.2. Logiciel Trnsys 38
IV.3. Utilisations du programme (TRNSYS) : 39
IV.4. Efficacité énergétique : 40
IV.5. Simulation sous TRNSYS : 40
IV.5.1. Construction d'un modèle du bâtiment multizone : 40
IV.5.2. Création du projet : 40
IV.5.3. Choix du type de projet : 41
IV.5.5. Dimensionnement des zones : 42
IV.5.6. Le projet finale : 43
IV.6. Les caractéristiques des parois : 44
IV.6.1. Description de l'habitat : 44
IV.6.2. Sans Isolation : 44
IV.6.3. Avec Isolation : 46
IV.7. Analyse des graphiques : 48
IV.8. La Consommation d'énergie : 49
IV.9. Analyse des graphiques : 51
IV.10. Conclusion : 51

Conclusion générale

Conclusion générale : 53
Les références bibliographiques 54

Liste des tableaux

Analyse du comportement thermique et hygrométrique

Tableau (III.1) Préparation des échantillons …… 29

Tableau (III.2) La conductivité thermique …… 31

Tableau (III.3) Poids de l'échantillon à des intervalles de temps définis …… 33

Tableau (III.4) Le corrélation entre l'absorption d'eau et le pourcentage de colle …... 34

Tableau (III.5) coefficient d'absorption d'eau par capillarité …….. 35

Simulation on TRNsys

Tableau (IV.1) Murs extérieurs Sans Isolation …… 44

Tableau (IV.2) Toiture Sans Isolation …… 44

Tableau (IV.3) Murs extérieurs Avec Isolation …….. 46

Tableau (IV.4) Toiture Avec Isolation …… 46

Tableau (IV.5) Consommation d'énergie Sans Isolant …….. 49

Tableau (IV.6) Consommation d'énergie Avec Isolant …….. 50

Généralités sur les isolants thermiques

Figure (I.1) Les procédés d'isolation …… 7

Figure (I.2) Isolation intérieure ……. 8

Figure (I.3) Isolation extérieure …… 8

Figure (I.4) Isolation répartie ……... 9

Figure (I.5) Transmission de chaleur à travers une paroi ……. 10

Matériaux de construction écologiques (éco-matériaux)

Figure (II.1) Le verre cellulaire ……. 15

Figure (II.2) La perlite ……. 16

Figure (II.3) La vermiculite …… 17

Figure (II.4) Le Liège …….. 19

Figure (II.5) La Laine de coton …….. 20

Figure (II.6) Le chanvre ……. 21

Figure (II.7) Le torchis …… 23

Analyse du comportement thermique et hygrométrique

Figure (III.1) Le Posidonie …….. 26

Figure (III.2) Fabriquer De La Colle ……. 27

Figure (III.3) Peser et Mesure de volum …… 28

Figure (III.4) Mélanger les ingrédients manuellement ……... 28

Figure (III.5) Remplir des moules en bois ……. 28

Figure (III.6) Sécher les échantillonst ……... 28

Figure (III.7) CT-METRE ……... 30

Figure (III.8) Méthode d'utilisation CT Mètre ……..… 30

Figure (III.9) La conductivité thermique …….. 31

Figure (III.10) Essai d'absorption d'eau par capillarité …….. 32

Figure (III.11) Poids de l'échantillon à des intervalles de temps définis …… 33

Figure (III.12) Le corrélation entre l'absorption d'eau et le pourcentage de colle …... 35

Simulation on TRNsys

Figure (IV.1) Choix du type de projet ……..... 41

Figure (IV.2) Traçage du plan d'étage ……..…….. 41

Figure (IV.3) Dimensionnement des zones ……...…….…. 42

Figure (IV.4) Le projet final ……...…….. 43

Figure (IV.5) Evolution de la température sans isolation pour (15-20 Janvier) ……. 45

Figure (IV.6) Evolution de la température sans isolation pour (16-21 Juillet) ……..… 45

Figure (IV.7) Evolution de la temperature en fonction de l'isolation pour (15-20 Janvier) ……... 47

Figure (IV.8) Evolution de la temperature en fonction de l'isolation pour (16-21 Juillet) ……...……. 47

Figure (IV.9) Consommation d'énergie Sans Isolant ……...…… 49

Figure (IV.10) Consommation d'énergie Avec Isolant ……..... 50

Introduction Générale

Introduction générale :

Au début, l'homme a construit des bâtiments pour le protéger des mauvaises conditions météorologiques et il dépendait du feu comme source unique de chauffage. Avec le développement de la technologie de construction, il a également amélioré les moyens de chauffage. Après la Seconde Guerre mondiale, le besoin de reconstruction a entraîné l'augmentation du nombre de logements, de la surface moyenne par habitant et du niveau de confort. Le développement économique rapide privilégiait les solutions bon marché. L'énergie était disponible en grande quantité à faible coût si bien que le principe d'isoler les logements était tout simplement ignoré. Ne correspondant à aucune réalité économique, la question ne se posait pas. L'énergie était perçue comme une ressource disponible pour toujours. Les considérations écologiques avaient également un sens tout autre qu'aujourd'hui et l'impact sur le climat était inconnu [1].

Le premier choc pétrolier de 1973 a été une révélation et une prise de conscience que le pétrole était une ressource limitée. Avec l'envolée des prix est apparue la nécessité de réaliser des économies en réduisant la consommation d'énergie. C'est ainsi que sont apparues la « chasse au gaspi » et la première réglementation thermique en France, en 1974. On commença à isoler les combles, les murs et à promouvoir les doubles vitrages dans les constructions neuves. La réhabilitation du parc existant a également été encouragée. Au cours des trente années qui ont suivi, la performance thermique des bâtiments a ainsi progressé de 34 %. La consommation moyenne en énergie totale d'un logement est passée de près de 400 kWh/m^2 /an à moins de 250 kWh/m2 /an [1].

On se dirige de plus en plus vers une amélioration de l'isolation des bâtiments existants, avec une diminution des échanges thermique entre l'intérieur et l'extérieure. En plus, refaire une installation de chauffage ne sert à rien si l'isolation de l'enveloppe n'est pas assurée sachant que les déperditions d'une maison non isolée sont assez importantes (25 à 30% par le toit, 15 à 20 % par le sol, 15 à 20% par les murs, 15% par les portes et les fenêtres, 10 à 15% par les ponts thermiques, sans oublier 15 à 20% à cause de renouvellement d'air). L'intérêt d'une bonne isolation est donc de diminuer les déperditions et les besoins énergétiques [2].

La recherche et le développement de nouveaux matériaux écologiques jouent un rôle de plus en plus important dans notre société consciente de l'impact environnemental de ses actions. Dans ce contexte, la synthèse et la caractérisation de nouveaux matériaux à base d'éco-matériau se révèlent être des domaines d'étude prometteurs. Ces matériaux innovants offrent des solutions durables en combinant des performances techniques élevées avec des principes de durabilité environnementale. L'éco-matériau, également connu sous le nom de matériau écologique, est un matériau fabriqué à partir de ressources naturelles renouvelables ou de déchets recyclés, réduisant ainsi la dépendance aux matériaux non renouvelables et aux procédés de fabrication polluants. La recherche se concentre de plus en plus sur le développement de ces matériaux respectueux de l'environnement pour remplacer les matériaux traditionnels à forte empreinte carbone.

La synthèse d'un nouvel éco-matériau implique souvent l'utilisation de matières premières naturelles, telles que des fibres végétales, des polymères biodégradables ou des composés organiques d'origine végétale. Ces ressources durables sont transformées à l'aide de techniques innovantes pour obtenir des matériaux aux propriétés spécifiques répondant aux exigences techniques et environnementales. Dans cette optique, cette étude se concentre sur la synthèse et la caractérisation d'un nouvel éco-matériau à la base d’une plante marine naturelle, écologique et biodégradable (posidonie). L'objectif principal est de développer un matériau durable et respectueux de l'environnement en utilisant des ressources naturelles renouvelables ou des matériaux recyclés. Nous nous attacherons à évaluer les propriétés thermiques et hygrométriques de ce matériau, ainsi que son comportement dans différentes conditions environnementales.

Ce mémoire est structuré en une introduction générale, quatre chapitres et une conclusion. Le premier chapitre met en évidence l'importance de l'isolation thermique dans le domaine du bâtiment en exposant ses principes fondamentaux et ses applications. Le deuxième chapitre aborde spécifiquement les matériaux de construction environnementaux, mettant en avant leur utilisation en tant qu'alternatives économiques pour l'isolation thermique, tout en examinant leurs caractéristiques et leurs avantages potentiels. Le troisième chapitre se concentre sur l'étude du comportement thermique du nouvel isolant à base de posidonie, en analysant son interaction avec l'humidité et en évaluant ses performances thermiques dans différentes conditions.

Enfin, le quatrième chapitre est consacré à la modélisation et aux simulations, permettant d'évaluer l'effet de l'introduction du nouvel isolant à base de posidonie sur la réduction des échanges thermiques entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment. Cette approche holistique contribuera à approfondir notre compréhension de l'isolation thermique et à explorer les possibilités d'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Généralités sur les isolants thermiques

I .1. Introduction :

Les isolants thermiques sont des matériaux utilisés pour empêcher la perte de chaleur ou pour empêcher l'entrée de chaleur. Ils sont souvent utilisés dans la construction pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments en minimisant les pertes de chaleur à travers les murs, les plafonds et les toits.

I .2. Définition de l'isolation thermique :

L'isolation thermique désigne l'utilisation de matériaux ou de techniques pour empêcher la perte ou la transmission de chaleur d'un bâtiment ou d'une structure. Le but de l'isolation thermique est de maintenir une température confortable à l'intérieur de l'environnement tout en minimisant les pertes de chaleur ou les gains de chaleur inutiles.

L'isolation thermique peut être utilisée pour empêcher la perte de chaleur par les murs, les plafonds, les fenêtres et les portes, ainsi que pour minimiser les gains de chaleur par la toiture. Les isolants thermiques couramment utilisés comprennent la laine de verre, la laine de roche, le polystyrène, la mousse de polyuréthane et la ouate de cellulose.

En général, plus l'isolant est épais, plus il est efficace pour retenir la chaleur. Cependant, d'autres facteurs tels que la conductivité thermique et la densité de l'isolant peuvent également influencer son efficacité.

En plus d'améliorer le confort thermique et de réduire les coûts d'énergie, l'isolation thermique peut également aider à protéger l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre associées à la production d'énergie pour le chauffage et la climatisation.[3]

I.3. Historique de l'isolation thermique :

I.3.1. Cas des maisons anciennes :

Avant 1974, il n'y avait aucune obligation d'isoler les bâtiments. Par conséquent, de nombreux bâtiments antérieurs à cette date n'ont pas été construits avec une isolation adéquate. Pour améliorer l'isolation thermique de ces maisons anciennes, il est nécessaire de faire une évaluation individuelle pour choisir la solution d'isolation la plus appropriée en fonction des caractéristiques de la construction, telles que la nature des murs et de la toiture. Il est important de

s'assurer que le choix d'isolation ne provoque pas de dégâts ou de dégradations des parois. Enfin, il est également important de maintenir une bonne ventilation pour obtenir une isolation efficace.[4]

I.3.2. Règlementation thermique des bâtiments neufs (RT 2005) :

Depuis 1974, une réglementation thermique s'applique à toutes les constructions neuves. La dernière réglementation en date, la RT 2005, est entrée en vigueur le 1er septembre 2006. Elle a pour but de réduire de plus de 50% les consommations d'énergie des nouveaux logements. Les réglementations thermiques successives visent à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments neufs.[4]

I.3.3. Règlementation thermique des bâtiments existants (RT dans l'existant) :

Depuis novembre 2007, la réglementation thermique définit les exigences à respecter pour les travaux d'isolation thermique que les propriétaires effectuent dans leur logement. Bien que ces travaux ne soient pas obligatoires, la réglementation fixe des normes de performance à atteindre, en particulier pour réduire les besoins en énergie du logement par une meilleure isolation.[4]

I.4. Le principe de l'isolation thermique :

L'isolation est un travail qui doit être réalisé avec soin. Un isolant inadapté ou mal posé, une paroi non traitée affaiblis- sent les performances de l'ensemble de l'isolation.

L'isolation concerne les murs extérieurs, les combles et le sol mais aussi les parois (mur, cloison) ou plancher en contact avec une cave, un garage ou un escalier desservant ces locaux. En règle générale, on doit isoler toutes les parois en contact avec l'extérieur ou des locaux non chauffés. Pour un appartement en immeuble collectif, les murs en contact avec des circulations communes non chauffées sont aussi pris en compte. Tout l'espace habitable doit constituer un ensemble isolé, indépendamment des autres locaux. Si on le désire, la cave et le garage peuvent aussi être isolés en cas d'occupation régulière de ces locaux en période froide (atelier dans le garage par exemple).

L'isolation des sols sur terre-plein peut poser un problème dans un projet de rénovation. En effet, la seule possibilité d'isolation implique une réfection de ce sol et la pose d'un isolant sous la chape. Les déperditions par le sol représentent à peu près 15 % des déperditions totales de

l'habitation. Il est donc utile de comparer le surcoût occasionné par la réfection du sol par rapport au coût des déperditions.

On dispose sur le marché d'une large gamme de produits adaptés à toutes les situations (figure01). [5]

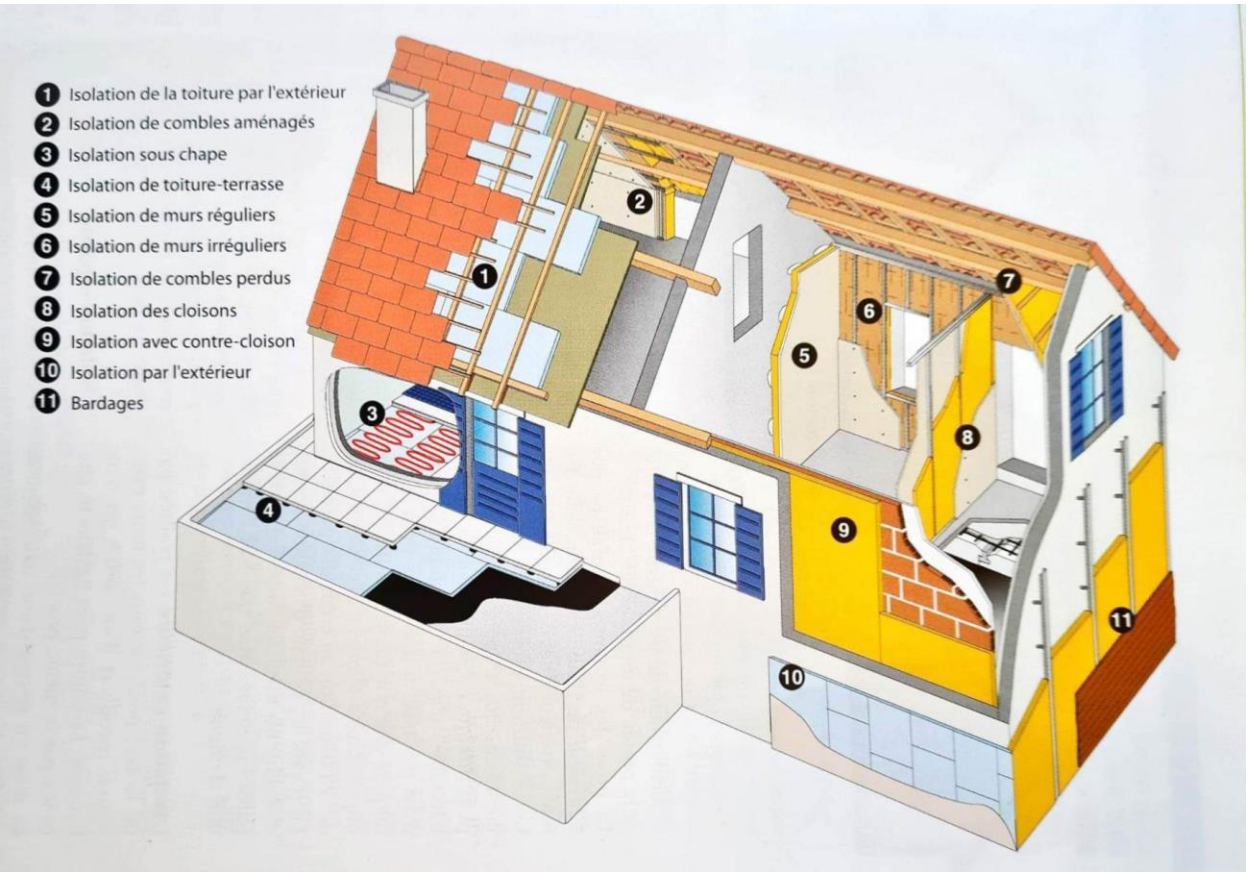


Figure (I.1) Lieux de placement d'isolation [5]

Il existe trois grands principes d'isolation :

- l'isolation intérieure
- l'isolation extérieure
- l'isolation repartie

I.4.1. Isolation intérieure :

L'isolation intérieure est la solution la plus répandue, surtout en rénovation. Elle est d'un coût raisonnable et relativement simple à mettre en œuvre (à la portée de tout bon bricoleur).

La pose des isolants est réalisée par l'intérieur de l'habitation au niveau des murs extérieurs, des combles et des sols. Cette solution peut présenter un inconvénient : l'épaisseur des isolants peut diminuer sensiblement la surface habitable.[6] .

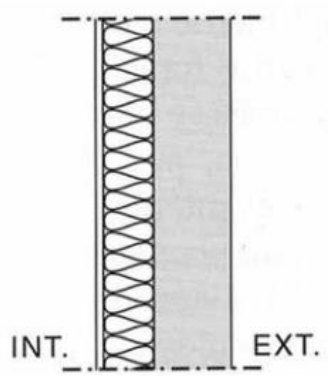


Figure (I.2) Isolation intérieure

I.4.2. Isolation extérieure :

L'isolation extérieure est réalisée par un isolant posé sur tous les murs extérieurs, recouvert d'un enduit de ravalement ou d'un bardage. La toiture peut également être isolée par le même type de procédé. La mise en œuvre d'une telle solution est délicate parce qu'il faut assurer l'étanchéité de la façade et installer un échafaudage : elle sera confiée de préférence à un professionnel.

Une telle solution est envisageable si le ravalement de l'habitation nécessite une réfection. Il en est de même pour la toiture, ce type d'isolation ne pouvant être réalisé sur une toiture existante.[6]

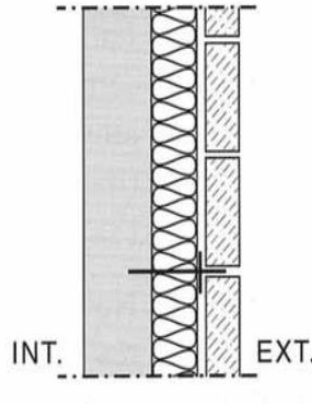


Figure (I.3) Isolation extérieure

I.4.3. Isolation repartie :

L'isolation répartie concerne les matériaux de construction de l'habitation. Elle comprend la construction des murs extérieurs en matériaux isolants (briques à alvéoles multiples, béton cellulaire). L'isolation des combles est exécutée en isolation intérieure ou extérieure, l'isolation des sols en isolation intérieure. L'isolation répartie peut être adoptée en rénovation en cas de création d'un niveau ou surélévation de la maison.[6]

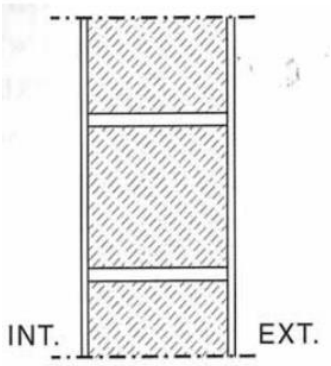


Figure (I.4) Isolation répartie

I .5. Caractéristiques pour un isolant thermique :

Les trois modes de transfert de chaleur entrent en jeu dans la thermique du bâtiment. La conduction thermique est en revanche prépondérante dans le transfert de chaleur à travers une paroi. Trois paramètres permettent de caractériser un matériau et une paroi isolante . [7]

I .5.1. Conductivité thermique (λ):

La conductivité thermique traduit la propriété qu'ont les corps a transmettre la chaleur par conduction. Elle correspond au flux de chaleur qui traverse en 1 seconde un matériau d'une surface de 1m² et de 1m d'épaisseur pour un écart de température de 1°C entre les 2 faces. Elle est désignée par le coefficient (λ) et exprimée en [W/m.K]. Plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau est isolant [8].

I .5.2.Résistance thermique (R):

La résistance thermique d'un matériau traduit sa capacité a résister a la transmission de chaleur. Elle dépend de l'épaisseur du matériau en mètre et de sa conductivité thermique (λ):

$$\boldsymbol{R = \frac{e}{\lambda}} \qquad \text{(I.1)}$$

Elle est désignée par le coefficient R et exprimée en [m². °C/W]. La résistance thermique totale d'une paroi est égale à la somme des résistances thermiques de chacune des couches de matériau qui la constitue [8].

$$R_p = \sum_{i=1}^{n} R_i \qquad \text{(I.2)}$$

Plus la résistance thermique est élevée, plus la paroi considérée est isolante.

I .5.3. La transmission thermique (K) :

Pour caractériser une paroi, on utilise aussi fréquemment le coefficient de transmission surfacique (K), qui est l'inverse de la résistance thermique (R) :

$$K = \frac{1}{\sum R} + R_{si} + R_{se} \qquad \text{(I.3)}$$

Ce coefficient est exprimé en [W/m². °C] [8].

R(si) et R(se) est égal à la somme des résistances thermiques superficielles internes et externes. Plus le coefficient (K) d'un élément de construction est faible, meilleure est l'isolation thermique.

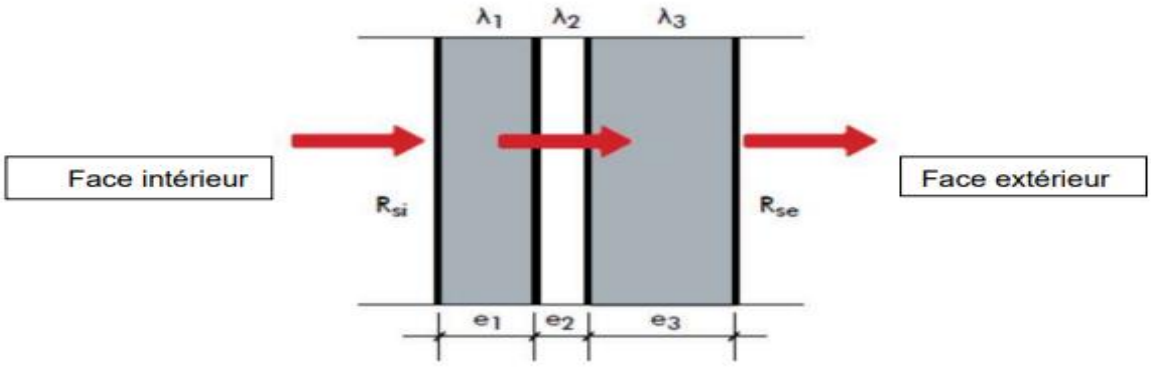


Figure (I.5) Transmission de chaleur à travers une paroi

I.6. Conclusion :

En résumé, l'histoire de l'isolation thermique reflète l'évolution des besoins de confort thermique, de la disponibilité des matériaux et des normes de construction. Aujourd'hui, l'importance de l'isolation thermique est indéniable pour la performance énergétique des bâtiments, la protection de l'environnement et le bien-être des occupants.

Matériaux de construction écologiques (éco-matériaux)

II .1. Introduction :

L'utilisation de matériaux écologiques dans l'isolation thermique remonte à l'Antiquité, où les Égyptiens utilisaient des matériaux tels que la paille et l'argile pour isoler leurs bâtiments. Au fil du temps, d'autres matériaux naturels ont été utilisés, tels que la laine de mouton, le chaume, le bois, le liège et le roseau.

Cependant, l'isolation thermique à grande échelle est devenue plus courante au XXe siècle, avec l'utilisation de matériaux synthétiques tels que le polystyrène expansé (PSE) et la laine de verre. Cependant, ces matériaux synthétiques ont des impacts négatifs sur l'environnement et la santé humaine, notamment en raison de la libération de gaz à effet de serre pendant leur production et leur élimination.

Dans les années 1970, avec la prise de conscience croissante de la nécessité de protéger l'environnement, les matériaux écologiques ont fait leur retour dans l'isolation thermique. Des matériaux tels que la fibre de bois, la laine de mouton et la cellulose recyclée ont été développés pour répondre aux normes de performance thermique et acoustique des bâtiments.

Aujourd'hui, les éco-matériaux sont de plus en plus populaires pour l'isolation thermique, non seulement en raison de leur impact environnemental positif, mais aussi de leur performance thermique élevée. Des matériaux tels que la ouate de cellulose, le chanvre, la laine de mouton et le liège sont couramment utilisés dans les projets de construction écologiques, offrant des performances thermiques équivalentes, voire supérieures, à celles des matériaux synthétiques.

II .2. Définition de éco-matériaux :

Les isolants, de par leur effet réducteur de la consommation d'énergie, participent par définition à la préservation de l'environnement et des ressources naturelles.

Mais pour être vraiment écologiques, ils doivent en plus avoir un impact environnemental le plus faible possible au cours des phases successives de production, de mise en œuvre, d'utilisation et de recyclage :

• extraction et transport primaire .

• fabrication, transport vers le distributeur, puis vers le client .

• mise en œuvre .

• utilisation (impact sur la santé et l'environnement) .

• durée de vie .

• recyclage en fin d'utilisation.

Là encore, il ne s'agit pas d'être intégriste, mais il existe à cet égard des solutions plus respectueuses de la planète que les autres. [10]

II.3. Classification des matériaux isolants :

Potentiellement, il existe une très large gamme de produits et matériaux isolants sur le marché, le choix pour le prescripteur ainsi que pour le client final est donc délicat : polystyrène expansé, extrudé, laine de verre, laine de roche, vermiculite, isolant mince réflecteur...mais aussi les alternatives « vertes » ou « éco » connues depuis longtemps (les années 1975), en fait de la même manière que les produits « conventionnels ».

Les éco-isolants ont peu percé pour différentes raisons, notamment le manque de capacités de production des petits fabricants, les coûts de la certification CSTB, le manque de maturité du marché des produits « éco-conçus », l'absence de référence aux autres critères techniques essentiels de la stratégie d'isolation...etc.) : laine de mouton, laine de chanvre, de lin, fibres de bois de différentes densités, ouate de cellulose (papier journal recyclé), botte de paille, bétons légers, liège expansé.

Pour essayer de s'y retrouver parmi tous ces isolants, il est utile de les répertorier en fonction de leur composition « primaire », c'est-à-dire en fonction de la matière première extraite de l'environnement (primaire) ou recyclée (secondaire) utilisée pour les fabriquer.

On distingue ainsi :

• l'isolation issue de ressources organiques.

• l'isolation issue de matières minérales « naturelles ».

• les barrières « radiantes » ou isolants thermo réflecteurs.

• l'isolation issue de ressources végétales fossilisées.

Quand on sélectionne un matériau d'isolation, la priorité devrait être donnée à sa performance technique (trop souvent réduite à son « pouvoir isolant » comme vu précédemment) dans un contexte de « mise en œuvre dans un système de construction » (un isolant ne reste jamais « seul », il est toujours utilisé dans un contexte approprié, dédié à un usage ou une fonctionnalité précise). [11]

II.4. Différents types d'isolation :

II.4.1. Les isolants minéraux :

Les isolants minéraux sont fabriqués à partir de matières naturelles inorganiques. Ils regroupent la laine de verre, la laine de roche, le verre cellulaire, l'argile expansée, la vermiculite et la perlite. Très résistants au feu, ils sont stables et solides en panneaux rigides ou semi-rigides. La laine de verre et la laine de roche sont par ailleurs les isolants les plus communément utilisés [9].

II.4.1.1. Le verre cellulaire :

Connu depuis 1942, on le fabrique maintenant à partir du verre recyclé que l'on fait fondre à 1000 °C. À ce verre fondu, on ajoute après broyage 0,15 % de poudre de carbone qui provoque un dégagement interne de CO2. La masse refroidie est constituée d'un matériau léger, à cellules fermées, insensible au feu et à l'humidité et incompressible.



Figure (II.1) Le verre cellulaire

Avantages :

On lui attribue les avantages suivants :

- incombustible .
- inattaquable par les rongeurs et insectes .
- chimiquement neutre .
- imputrescible .
- imperméable.

Utilisation :

Ce matériau répond techniquement à la plupart des besoins du bâtiment conventionnel mais son coût en a limité l'usage à des domaines bien spécifiques (isolation des parois enterrées, des façades, des toitures-terrasses...). Il est disponible sous forme de panneaux rigides, notamment dans la gamme foamglas. [10]

II.4.1.2. La perlite :

Cette roche est d'origine volcanique ; quand elle est soumise à une température élevée (1 200 °C), une violente réaction libère l'eau et la vapeur lui fait subir une expansion jusqu'à 15 fois son volume initial en formant des bulles vitrifiées ou « perles ». Constituée de silice et d'alumine, sa structure cellulaire complétée par des fibres de verre donne à la perlite ses qualités isolantes.



Figure (II.2) La perlite

Avantages :

On lui attribue les avantages suivants :

- incombustible .
- isolant thermique .
- chimiquement neutre .
- imputrescible.

Utilisation :

Essentiellement en vrac (combles perdus, insufflation entre parois), en bétons et mortiers allégés, en couches de nivellement et en panneaux coupe-feu. Les matières brutes sont très hydrophiles, d'où leur enrobage fréquent au bitume ou au silicone. [10]

II.4.1.3. La vermiculite :

Ce minerai naturel est proche de la famille des micas.

Après son extraction, elle est triée, calibrée et tamisée.

Le traitement thermique à 900°c aboutit au produit exfolié. Sa mise en œuvre est simple et ne nécessite aucun outil particulier.

L'air immobilisé dans les feuillets lui confère des propriétés thermiques et acoustiques. Sa masse volumique est particulièrement faible (100 kg/m3 pour un lambda de 0,058 à 65 en fonction de la granulométrie). Elle est incombustible et son pouvoir calorifique est nul. C'est un produit naturel qui ne pique pas et n'irrite pas. Elle ne contient aucun produit organique et ne dégage aucun gaz toxique ni de fumée sous l'effet de la chaleur.



Figure (II.3) La vermiculite

Avantages :

On lui attribue les avantages suivants :

- ce produit est stable dans le temps.
- La vermiculite est imputrescible,
- stable,
- inerte,
- elle n'attire ni insectes ni rongeurs.
- Elle est aussi utilisée pour les enduits, béton léger..

Utilisation :

Les principales utilisations se font en vrac (combles perdus, insufflation entre parois), en bétons et mortiers allégés, en couches de nivellement et en panneaux coupe-feu. Les matières brutes sont très hydrophiles, d'où leur enrobage fréquent au bitume ou au silicone. Disponible en sacs de 100 litres. [10]

II.4.2. Les isolants végétaux :

Il existe un bon nombre de matières qui peuvent servir d'isolation, parmi eux on peut citer les isolants végétaux. Comme son nom nous le laisse comprendre, il s'agit ici d'une isolation qui est obtenue à partir de divers produits ou de diverses ressources végétales. Les ressources végétales sont tout à fait renouvelables, ainsi elles se recyclent d'une manière tout à fait facile. Garantissant un excellent confort thermique, les isolants végétaux sont à même de retenir efficacement la chaleur et l'air grâce à leurs fibres et dans certains cas leurs porosités. [12]

II.4.2.1. Le Liège :

Produit naturel aux caractéristiques remarquables, il provient de l'écorce (renouvelable) d'une espèce particulière de chêne vert (chêne-liège) qui pousse dans diverses régions du bassin méditerranéen (environ 50 % de la production mondiale).

La particularité du liège réside dans sa structure cellulaire très légère (son volume apparent est occupé par 95 % d'air). Il est constitué d'une importante densité de cellules

(40 millions/cm2), dont chacune se compose de cinq couches : deux en cellulose, deux autres plus épaisses, dures et imperméables, la dernière assurant à la structure sa rigidité



Figure (II.4) Le Liège

Avantages :

On lui attribue les avantages suivants :

- Résistant à la compression, à la flexion, indéformable (liège aggloméré noir), et ne présentant que peu de retrait au vieillissement (les lièges bon marché peuvent avoir des retraits jusqu'à 15 %) .
- Hydrofuge, recommandé dans les pièces humides (salles d'eau...) .
- Confortable, souple et chaud, il est agréable au toucher .
- Résistant très bien au temps et aux hydrocarbures car imputrescible .
- Pas apprécié des rongeurs et des termites .
- Difficilement inflammable, de classe B1 (en cas de combustion, la production de fumée est réduite et ne dégage pas de chlorure ou de cyanure) .
- Bon isolant phonique (surtout pour les fréquences entre 500 et 1 000 Hertz, ce qui le fait recommander pour le sol en sousplancher) .
- Bon isolant thermique, ne conduit pas la chaleur mais l'emmagasine dans l'air qu'il contient (coefficient de conductibilité thermique : 0,027 kcal/m3 hc .
- Chimiquement neutre, il ne se désagrège pas, ni ne moisit .

- Insensible aux U.V .
- hygiénique car antistatique (n'accumule pas d'électricité statique), il n'attire ni ne retient la poussière.

Utilisation :

Le liège se trouve en panneaux de 0,50 m par 1 m, sa surface rugueuse permet l'application directe de peintures et d'enduits.

Les plaques de liège expansé se posent et se découpent facilement.

Les dalles de sol sont souvent carrées (30 × 30), et d'une épaisseur variant de 3 à 8 mm.

Sous forme de granulés expansés, on l'utilise aussi par déversement manuel ou mécanique, en double cloison, remplissage des planchers et plafonds.

C'est enfin une solution idéale pour la préparation des chapes légères et isolantes (phoniques et thermiques). [10]

II.4.2.2. La Laine de coton :

Le cotonnier est cultivé depuis la plus haute Antiquité pour sa fibre naturelle et duveteuse. Son coton est utilisé couramment dans l'industrie textile et l'industrie pharmaceutique.

Mais cette fibre naturelle constitue également la matière première principale de la laine de coton, isolant performant pour l'habitat.



Figure (II.5) La Laine de coton

Composé de fibres d'une extrême finesse, le coton a pour première caractéristique d'emmagasiner de l'air, ce qui en fait un remarquable isolant.

Pour être utilisée dans l'habitat, la laine de coton est simplement cardée et traitée contre le feu au sel de bore.

Avantages :

On lui attribue les avantages suivants :

- légère (densité de 10 à 30 kg/m2) et facile à poser .
- Peut se compresser, ce qui est utile dans le cas de charpentes irrégulières .
- Pose en rouleaux isolants de toiture sans pare-vapeur .
- Non allergisant .
- Se découpe à la main comme un tissu pour les rouleaux .
- Utilisation possible sous les parquets pour isoler des bruits d'impacts .
- Excellente capacité hygroscopique (peut absorber une grande quantité de vapeur d'eau et la restituer ensuite, sans perte sensible de ses qualités d'isolation).

Utilisation :

En rouleau, elle est souple et permet l'isolation en réduisant les coûts d'installation sur les planchers, toitures en rampants, combles...

En fibre vrac, on en remplit les vides de planchers bois, toitures en rampants, ossatures, murs isolés par l'extérieur, combles praticables...

En feutre de faible épaisseur, l'« Isocoton » est réservé à des applications d'isolation phonique.[10]

II.4.2.3. Le chanvre :

Cette plante annuelle à croissance rapide est utilisée depuis longtemps pour la fabrication de vêtements, de papier, d'huile ainsi qu'en médecine.

Transformée par un procédé de fabrication mécanique, c'est aussi un matériau d'isolation excellent et recyclable.

Il s'adapte parfaitement à toutes les constructions traditionnelles mais a aussi été employé avec succès dans des bâtiments collectifs.



Figure (II.6) Le chanvre

Avantages :

- Perméable à la vapeur d'eau.
- Ses fibres sont naturellement fongicides et antibactériennes .
- Bonne résistance aux rongeurs, insectes et nuisibles, qui ne s'y
- N'attaquent pas puisqu'il ne contient pas d'albumine .
- Aucun danger pour la santé, tant lors de sa transformation que de sa pose .
- Mise en place simple et peu génératrice de poussières .
- Imputrescible .
- Résistance au feu et au gel .
- Complètement écologique .
- Faible coefficient de tassement.

Utilisation :

En panneaux pour l'isolation des toits, des murs, et des sols.

La bonne qualité de diffusion de l'air assure une régularisation automatique de l'humidité sans déperdition de chaleur et rend l'habitation saine et confortable.

Le chanvre peut aussi être utilisé pour en remplir les vides des constructions, planchers, combles, doublages, toitures. [10]

II.4.3. Les isolants mixtes (minéraux et végétaux) :

II.4.3.1. Le torchis :



Figure (II.7) Le torchis

Le torchis, dont sont constitués depuis des millénaires les maisons dans certains pays soumis à de fortes différences thermiques, est en train d'être redécouvert comme isolant intérieur ou extérieur. Il constitue un des meilleurs matériaux isolants et imperméables.

Il s'agit de boue mélangée à de la paille (pour le plus simple) projetée sur les murs. L'avantage essentiel est son coût négligeable, sa mise en œuvre facile et sa non toxicité...

Le torchis de remplissage est un « mortier » fait d'un mélange d'argile et de paille d'avoine ou de foin coupé auquel on ajoute quelquefois des paillettes de lin.

Avantages :

On lui attribue les avantages suivants :

- isolant thermique et phonique bien supérieur à la brique et au parpaing .
- peu coûteux .
- sain, laisse respirer le mur et l'empêche de moisir .
- souple, ne fissure pas comme le ciment .
- malléable, épouse les défauts .
- créatif, permet la réalisation de corniches, de bandeaux, etc. .
- joli, donne du caractère et un aspect chaud .
- d'entretien facile (un coup de badigeon au lait de chaux) .
- valorisant : les maisons traditionnelles sont de plus en plus recherchées .
- complètement écologique .

Utilisation :

On peut l'appliquer de deux manières.

En colombage (remplissage entre les pans de bois)

Mettre une couche de 1 à 2 cm de torchis additionné de chaux grasse sur le lattis extérieur.

Quand cette couche est encore humide, remplir le vide entre les poteaux avec le torchis brut.

Le lattis intérieur, monté à mesure du remplissage, sert à maintenir la terre et ferme la cage.

En enduit

Dans les maisons de paille à ossature bois, par exemple.

Cet enduit de finissage est composé d'argile et de chaux grasse mélangées à de l'étoupe (déchets de sacs de jute) ou à de la bourre (poil de vache).

Pour le protéger et assurer l'étanchéité, on prépare un seau de badigeon au lait de chaux qu'on étale au balai sur la dernière couche de torchis.[10]

II.5. Conclusion :

Un bon niveau d'isolation permet de réduire les pertes thermiques et, par conséquent, de diminuer considérablement les coûts énergétiques. Lors de projets de rénovation énergétique d'un bâtiment, il est important de prioriser l'isolation des parois en contact avec l'extérieur. Le choix de l'isolant est également crucial, avec une large gamme d'options allant des isolants traditionnels tels que la laine de verre, la laine de roche et la ouate de cellulose, à des isolants plus performants tels que les isolants sous vide, les aérogels de silice et les matériaux à changement de phase.

Analyse du comportement thermique et hygrométrique

III.1. Introduction :

L'objectif de cette section est d'évaluer les propriétés d'un nouvel isolant thermique fabriqué à partir de posidonie, une plante marine naturelle, écologique et biodégradable.

Notre étude expérimentale vise à déterminer les caractéristiques thermiques et hygrométriques des échantillons fabriqués à partir de fibres de posidonie et de colle à base d'amidon. Pour ce faire, nous avons réalisé plusieurs tests, notamment :

- Des tests thermiques pour mesurer la conductivité thermique et la chaleur spécifique des échantillons.
- Des tests hygrométriques pour évaluer la perméabilité des échantillons.

En somme, cette section a pour but de décrire les propriétés de l'isolant thermique nouvellement développé à partir de posidonie, en se basant sur des expériences et des mesures scientifiques.

III.2. Les fibres de posidonie :

Les fibres de posidonie, également connues sous le nom de "neptune grass", sont des fibres végétales qui proviennent de la plante aquatique Posidonia oceanica, une espèce de plante à fleurs de la famille des Posidoniaceae. Cette plante se trouve principalement dans les régions côtières de la Méditerranée.

Les fibres de posidonie ont une grande résistance et une grande élasticité, ce qui les rend idéales pour être utilisées dans la fabrication de produits textiles. Les fibres sont généralement récoltées à partir de feuilles mortes de posidonie qui se détachent naturellement et sont transportées par les courants marins. Ces feuilles sont collectées sur les plages ou récupérées en mer à l'aide de filets spéciaux.



Figure (III.1) Le Posidonie

La récolte de fibres de posidonie est une activité durable et respectueuse de l'environnement, car elle est effectuée sans endommager la plante et sans utiliser de produits chimiques. Elle contribue

également à la préservation de l'écosystème marin, car la posidonie est une plante importante pour la biodiversité marine et elle aide à protéger les plages contre l'érosion.

III.3. Fabriquer De La Colle :

Pour produire de la colle, commencez par mélanger 150 g de farine avec 250 millilitres d'eau dans un récipient jusqu'à l'obtention d'une pâte crémeuse. Transvasez le mélange dans une casserole et chauffez-le à feu moyen, tout en ajoutant graduellement 750 ml d'eau. Une fois la préparation épaissie, retirez-la du feu et laissez-la refroidir avant de l'utiliser. Ce processus de fabrication permet d'obtenir un litre (1 kg) de colle.



Figure (III.2) Fabriquer De La Colle

III.4. Préparation des échantillons utilisés dans l'étude :

Pour la préparation des échantillons, nous avons suivi les étapes suivantes :

1. Peser les fibres de posidonie .
2. Mesure de volum .
3. Peser la colle .
4. Mélanger les ingrédients manuellement .
5. Remplir des moules en bois .
6. Sécher les échantillons à l'air libre pendant 28 jours .



Figure (III.3) Peser et Mesure de volum



Figure (III.4) Mélanger les ingrédients manuellement



Figure (III.5) Remplir des moules en bois .



Figure (III.6) Sécher les échantillonst

Nous avons préparé deux types de échantillone de dimensions (4 x 4 x 16) cm et (4 x 4 x 16) cm dont les compositions utilisées sont indiquées dans le tableau suivant. Nous avons réalisé deux échantillons pour chaque pourcentage de colle.

Dimensions	Pourcentage de colle (%)	Masse de colle (g)	Masse fibres de posidonie (g)	Volum fibres de posidonie (ml)
(4 x 4 x 16) cm	15	120	60	800
	20	160	60	800
	25	200	60	800
	30	240	60	800
(4 x 8 x 16) cm	15	240	120	1600
	20	320	120	1600
	25	400	120	1600
	30	480	120	1600

Tableau (III.1) Préparation des échantillons

III.5. Mesures de la conductivité thermique :

III.5.1. Technique de fil chaud par CT-mètre :

Le CT-METRE a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques thermiques d'un certain nombre de matériaux homogènes et isotropes. Le principe de fonctionnement consiste, grâce à l'association d'un élément chauffant et d'un capteur de température (tous deux associés dans la même sonde), à mesurer l'élévation de température subie par le capteur, au cours d'une période de chauffage choisie par l'utilisateur en fonction du matériau à tester et du type de sonde utilisée [13].

Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l‘organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d‘interpréter la courbe d‘élévation de température induite dans le matériau à tester ; et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite [13].



Figure (III.7) CT-METRE

Nous plaçons la sonde entre deux échantillons du même pourcentage de colle et programmons le CT Mètre à 120 secondes.

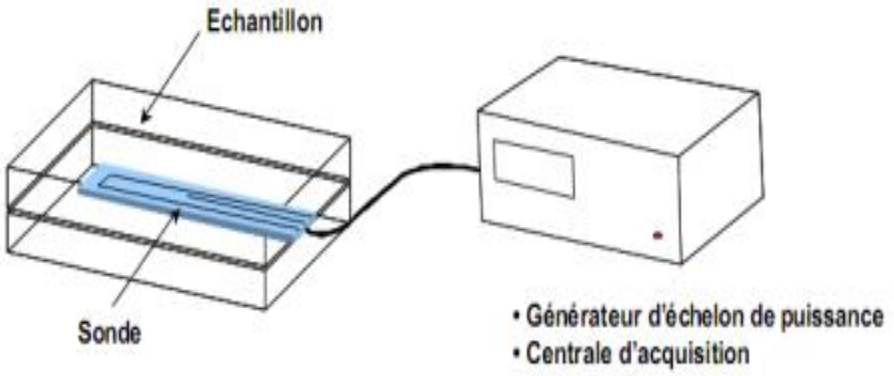


Figure (III.8) Méthode d'utilisation CT Mètre

Le tableau présente la variation de la conductivité thermique des briques en fonction du pourcentage % de colle dans la confection des échantillons.

pourcentage de colle (%)	15	20	25	30
λ (w/m.k)	0.0528	0.0535	0.0611	0.0674

Tableau (III.2) La conductivité thermique

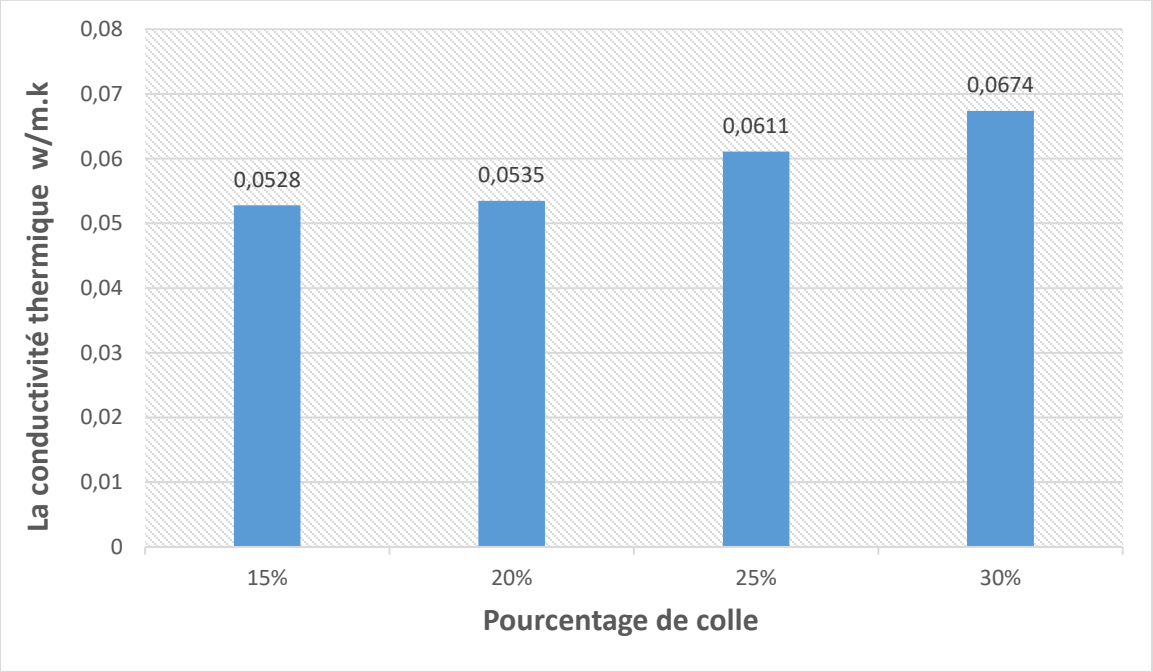


Figure (III.9) La conductivité thermique

Le graphique présenté illustre la relation entre la conductivité et la proportion en pourcentage de la colle dans le mélange. Les résultats obtenus révèlent une corrélation positive entre la proportion de colle et la conductivité, c'est-à-dire que l'augmentation de la proportion de colle entraîne une augmentation de la conductivité.

En outre, il a été constaté qu'une proportion de 15% de colle donne les meilleurs résultats en termes de conductivité. Cette observation s'explique par le fait qu'une quantité moindre de colle

laisse des vides après le séchage, ce qui conduit à la formation d'un produit à structure poreuse et cellulaire. Cette structure améliore l'isolation thermique, réduit la conductivité et augmente la résistance thermique du matériau.

III.6. Essai d'absorption d'eau par capillarité :

En vue d'étudier l'absorption d'eau par capillarité des échantillons, nous avons choisis des éprouvettes avec des dimensions (4 x 4 x 16) cm.

Le procédé consiste à placer de l'échantillon verticalement et l'un des faces de l'échantillon est en contact avec une nappe d'eau maintenue à niveau constant, à une profondeur de 1 cm, et à mesurer les gains de poids de l'échantillon à des intervalles de temps définis, tels qu'indiqués dans le (Tableau 3).

Les faces latérales de l'échantillon sont préalablement rendues imperméables en les peignant à peinture à l'huile, ce qui permet à l'eau de suivre un parcours unidirectionnel et évite l'évaporation par ces mêmes faces.

La seule précaution à prendre consiste à éliminer la fine pellicule d'eau retenue à la face inférieure de l'échantillon avant chaque pesée, en utilisant un papier absorbant.



Figure (III.10) Essai d'absorption d'eau par capillarité

Temps (min)	0	15	30	60	120	240	1440
Échantillon 1 (15%) (g)	67.9	95.8	99.5	108.2	114	119.5	144.8
Échantillon 2 (20%) (g)	78.2	107.6	112.6	119.8	126.7	129.9	142.4
Échantillon 3 (25%) (g)	83.6	115.6	120	126.5	132.4	135.8	144.8
Échantillon 4 (30%) (g)	73.6	93	97.4	101.8	105.8	108.5	124.8

Tableau (III.3) Poids de l'échantillon à des intervalles de temps définis

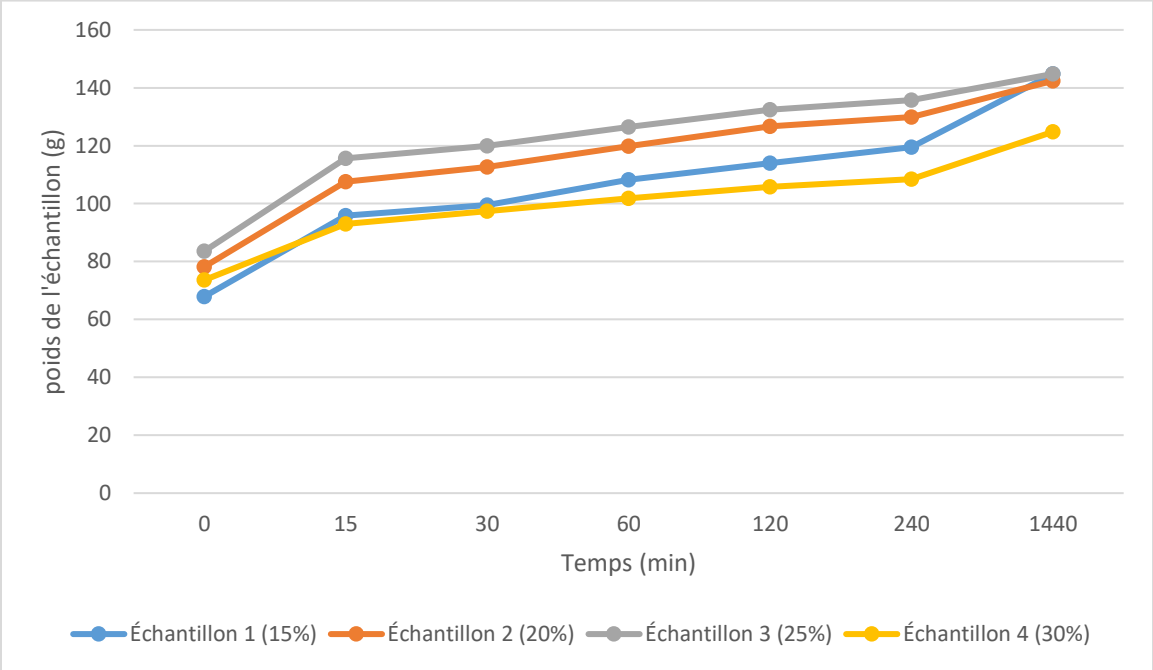


Figure (III.11) Poids de l'échantillon à des intervalles de temps définis

III.6.1. Principe et méthode d'essai :

Cet essai consiste à suivre la cinétique d'imbibition capillaire à travers la quantité d'eau absorbée par unité de surface de l'échantillon en contact avec l'eau, en fonction de la racine carré du temps.

Une pesée des éprouvettes est assurée au cours du temps, à des instants définis par la norme. Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité est défini comme la pente de la régression linéaire de la partie de la courbe reliant la quantité d'eau absorbée par unité de surface à la racine carré du temps :

$$C_{w.s} = \frac{m_{so.s} - m_{dry.s}}{A_s\sqrt{t}_{so}} \times 10^6 \qquad \text{(III.1)}$$

Où :

$C_{w.s}$: coefficient d'absorption d'eau par capillarité, en g/m².s$^{1/2}$.

$m_{so.s}$: masse de l'éprouvette après immersion pendant un temps t, en g .

$m_{dry.s}$: masse de l'éprouvette après séchage, en g .

A_s : surface brute de la face de l'éprouvette immergée dans l'eau, en mm² .

t_{so} : temps d'immersion, en s .

Temps (min)	0	15	30	60	120	240	1440
Échantillon 1 (15%) (g/m²)	0	17437,5	19750	25187,5	28812,5	32250	48062,5
Échantillon 2 (20%) (g/m²)	0	18375	21500	26000	30312,5	32312,5	40125
Échantillon 3 (25%) (g/m²)	0	20000	22750	26812,5	30500	32625	38250
Échantillon 4 (30%) (g/m²)	0	12125	14875	17625	20125	21812,5	32000

Tableau (III.4) Le corrélation entre l'absorption d'eau et le pourcentage de colle

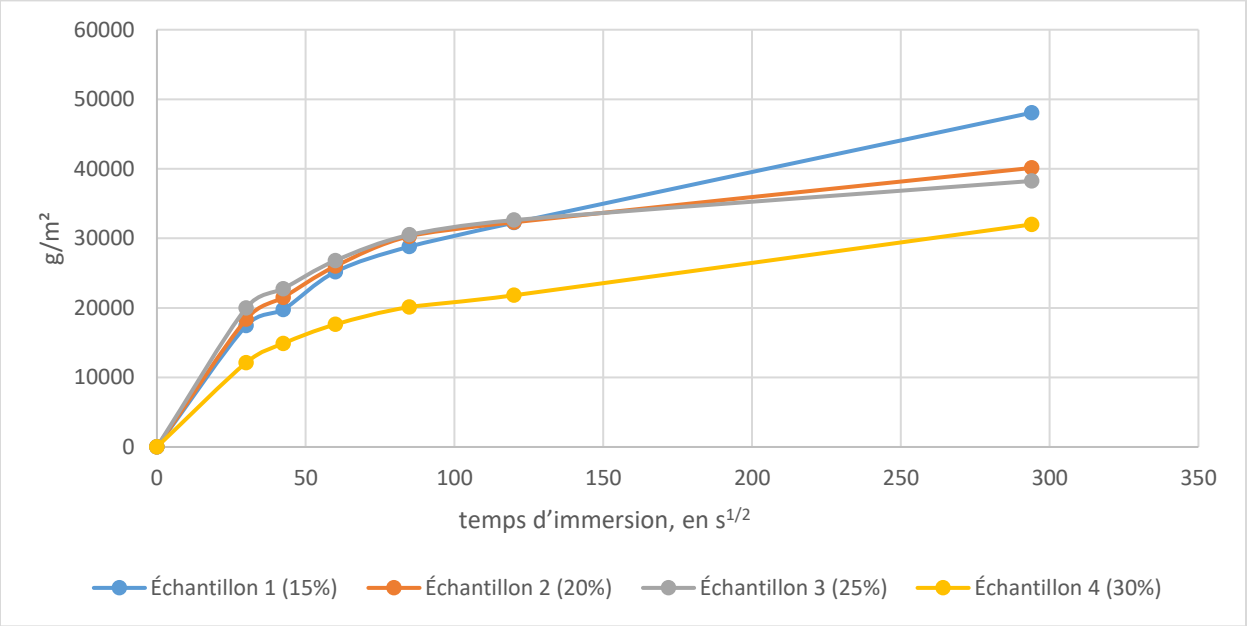


Figure (III.12) Le corrélation entre l'absorption d'eau et le pourcentage de colle

Échantillon	Échantillon 1 (15%)	Échantillon 2 (20%)	Échantillon 3 (25%)	Échantillon4 (30%)
$C_{w.s}$ (g/m².s$^{1/2}$)	136,8008774	105,6406967	95,95588798	88,74595306

Tableau (III.5) coefficient d'absorption d'eau par capillarité

Le graphique présenté illustre la corrélation entre l'absorption d'eau et le pourcentage de colle dans le mélange. Les résultats obtenus indiquent une relation inverse entre le taux de colle et l'absorption d'eau, ce qui signifie qu'une augmentation du taux de colle entraîne une diminution de l'absorption d'eau.

De manière significative, il a été constaté que l'incorporation de 30% de mucilage a conduit aux meilleurs résultats en termes d'absorption d'eau. Cette observation peut être expliquée par le fait qu'une quantité importante de colle ne laisse pas de vides après le processus de séchage, ce qui entraîne la formation d'un produit avec une structure non poreuse.

III.7. Conclusion :

Les résultats des essais mettent en évidence la relation entre le pourcentage de colle dans le mélange et deux propriétés distinctes. D'une part, ils révèlent une corrélation positive entre le taux de colle et la conductivité, indiquant qu'une augmentation du taux de colle entraîne une augmentation de la conductivité. D'autre part, une corrélation inverse a été observée entre le taux de colle et l'absorption d'eau, suggérant qu'une augmentation du taux de colle entraîne une diminution de l'absorption d'eau.

Suite à une analyse plus approfondie, il a été constaté que l'incorporation de 15% de colle produit les résultats les plus favorables en termes de conductivité.

En revanche, il est fortement observé que l'ajout de 30% de colle conduit aux meilleurs résultats en termes d'absorption d'eau.

Ainsi, selon l'objectif spécifique, la modification du pourcentage de colle dans le mélange peut être utilisée pour réguler la conductivité ou l'absorption d'eau, en exploitant les propriétés de la structure poreuse ou non poreuse du matériau obtenu.

Simulation on TRNsys

IV.1. Introduction :

La simulation est un outil efficace pour étudier le comportement thermique des bâtiments dans des situations variables.

Toutefois, pour en tirer le meilleur parti, il est important de définir clairement les objectifs recherchés.

L'outil informatique permet de réaliser rapidement des calculs complexes qui seraient autrement fastidieux et répétitifs.

L'objectif de la simulation est d'analyser rapidement les options fondamentales, d'explorer différentes possibilités et d'optimiser les choix pour offrir un meilleur confort thermique.

Ce chapitre présente le logiciel utilisé et décrit les différentes étapes suivies lors de la simulation.

IV.2. Logiciel Trnsys

TRaNsient SYstem Simulation, principalement connu sous le nom de Trnsys, est « un environnement logiciel graphique extrêmement flexible utilisé pour simuler le comportement des systèmes transitoires ». Le logiciel TRNSYS est un logiciel conçu et développé par l'Université du Wisconsin à partir de la fin des années 1970. Il est majoritairement utilisé pour faire la simulation qui se concentre sur l'évaluation des performances du système d'énergie thermique et électrique.

En plus, il peut également être utilisé pour modéliser d'autres systèmes dynamiques tels que les flux de trafic ou les processus biologiques (Trnsys, 2020). Ce logiciel a été largement utilisé par les chercheurs, designers, étudiants, architectes, ingénieurs, consultants .

Trnsys se compose de deux parties:

- Le moteur qui peut être appelé en tant que noyau lit et traite le fichier d'entrée, résout le système détermine la convergence et trace les variables système. Il détermine également les propriétés thermo physiques, inverse les matrices, effectue des régressions linéaires et interpole les fichiers de données externes.

- La deuxième partie est une vaste bibliothèque de composants, chacun modélisant les performances d'une partie du système. La bibliothèque standard comprend environ 150 modèles allant des pompes aux bâtiments multizones, des éoliennes aux électrolyseurs, des processeurs de données météorologiques aux routines économiques, et des équipements HVAC de base aux technologies émergentes de pointe.

Avec son modèle et ses données largement répandus dans la bibliothèque, il facilite et accélère la modélisation et la simulation pour l'utilisateur. Les utilisateurs peuvent également créer un modèle personnalisé en fonction des différents besoins. [14]

IV.3. Utilisations du programme (TRNSYS) :

Il a été utilisé activement dans des applications telles que :

- Modélisation centrale des installations
- Simulation de bâtiment (y compris modélisation énergétique LEED)
- Processus solaires thermiques
- Transfert de chaleur couplé au sol
- Applications solaires à haute température
- Systèmes de pompe à chaleur géothermique
- Modélisation thermique / flux d'air multizone couplée
- Optimisation
- Recherche sur le système énergétique
- Évaluation des technologies émergentes
- Centrales électriques (biomasse, cogénération)
- Systèmes de piles à combustible à hydrogène
- Systèmes éoliens et photovoltaïques
- Calibration des données et simulation [14]

IV.4. Efficacité énergétique :

La notion d'efficacité énergétique est de plus en plus présente lorsque l'on s'intéresse de près aux milieux proches de l'environnement et de la gestion de l'énergie. 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. [15]

IV.5. Simulation sous TRNSYS :

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 optimal.

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 thermique.

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

IV.5.1. Construction d'un modèle du bâtiment multizone :

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

IV.5.2. Création du projet :

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

IV.5.3. Choix du type de projet :

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

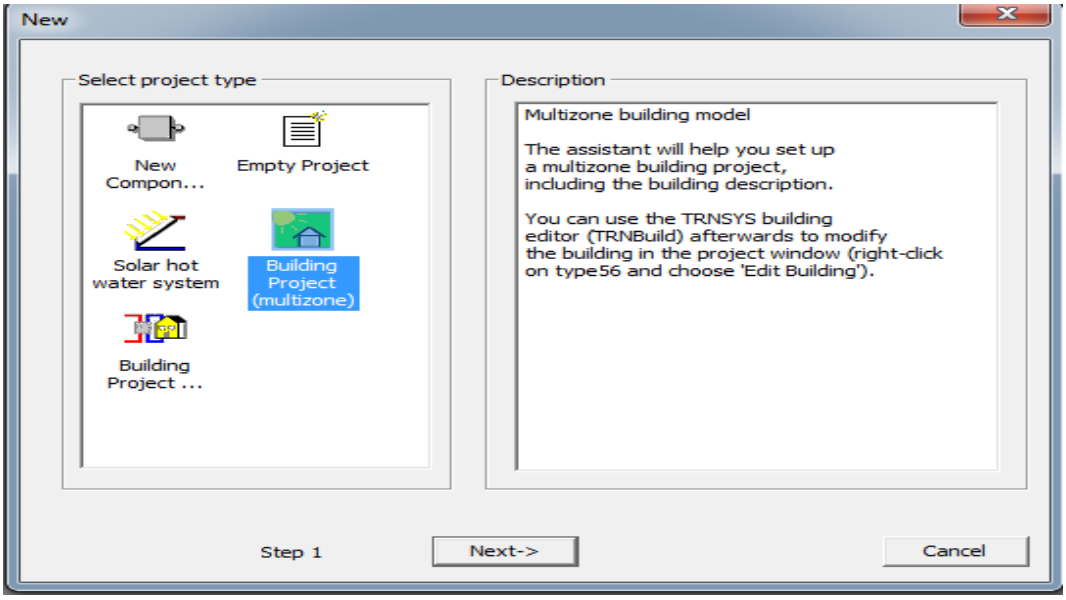


Figure (IV.1) Choix du type de projet

IV.5.4. Tracer le plan d'étage :

Dans cette étape on définie les zones de notre bâtiment. Pour ajouter une zone on clique surla grille. Chaque case noire représente une zone.

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

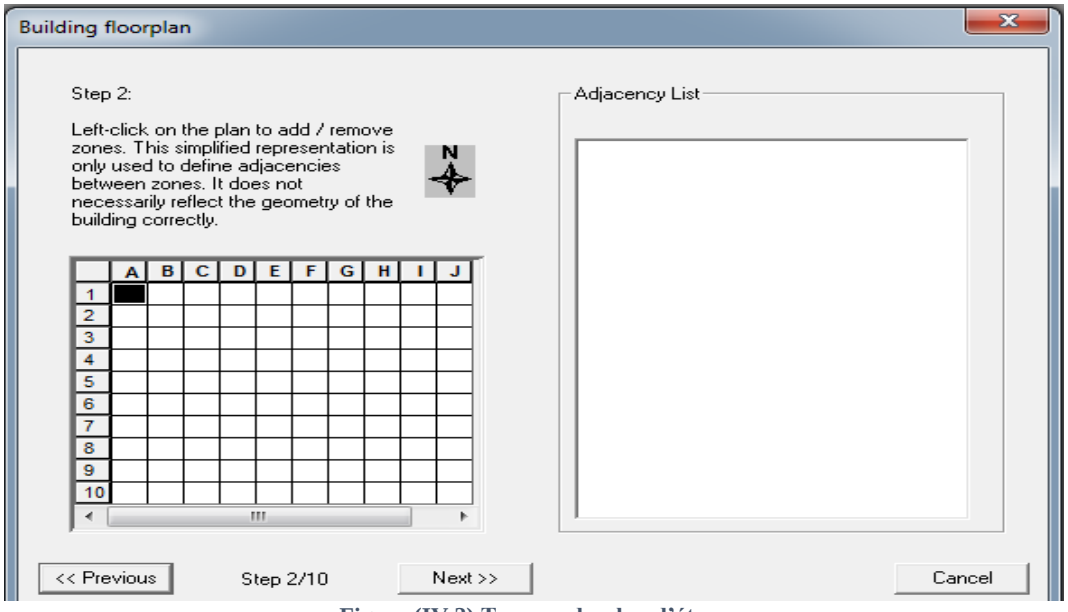


Figure (IV.2) Traçage du plan d'étage

IV.5.5. Dimensionnement des zones :

Le choix d'une zone dans la grille montre ses propriétés qui sont : le nom, la langueur, la largeur, la profondeur et le volume. A l'exception du volume qui est automatiquement calculé selon la taille, la largeur et la profondeur, l'utilisateur doit placer lui-même ces dimensions.

Dans notre cas, nous avons étudié une seule zone à travers les dimensions indiquées dans le Figure (IV.3)

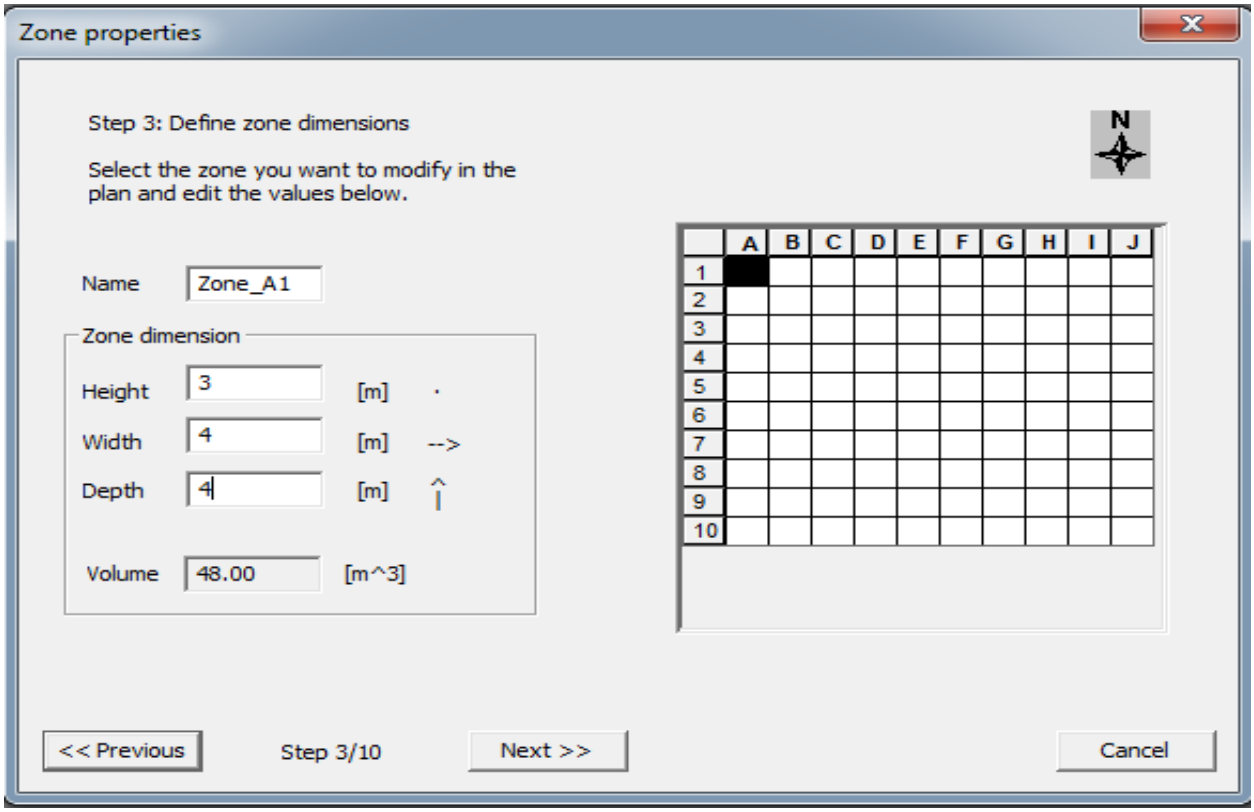


Figure (IV.3) Dimensionnement des zones

IV.5.6. Le projet finale :

Cette figure montre la création du projet avec quelque paramètre par défaut pour lebâtiment. Pour les corriger on clique sur 

puis « Edit building ».

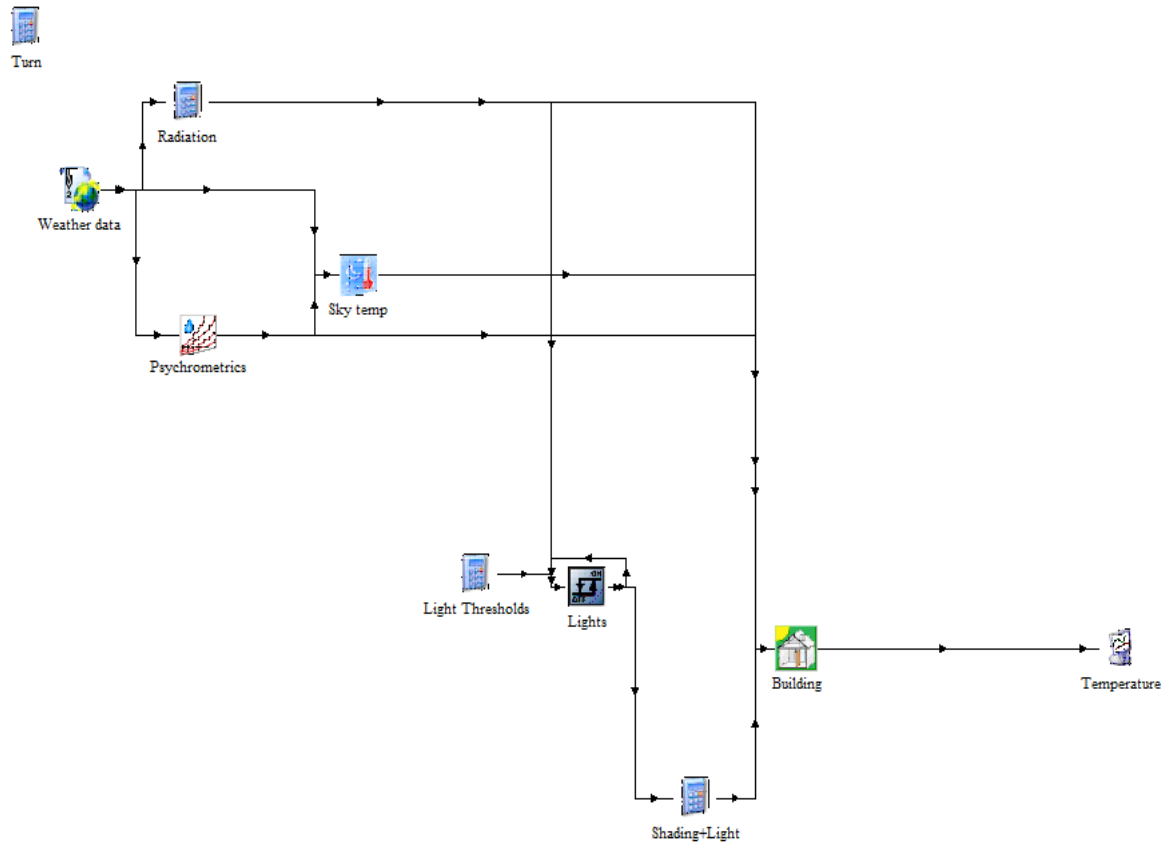


Figure (IV.4) Le projet final

IV.6. Les caractéristiques des parois :

IV.6.1. Description de l'habitat :

L'appartement qui fait l'objet de cette étude possède une surface habitable de 16 m² il est implanté dans la région de Bechar .

longueur = 04m

Largeur = 04m

Hauteur = 03m

IV.6.2. Sans Isolation :

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur e[cm]	λ (kj/h.m.k)
Murs extérieurs	1. ENDUIT PLA	03	1.264
	2. BRIQUE	10	3.2
	3. LAME AIR 15	05	0.325
	4. BRIQUE	15	3.2
	5. ENDUIT_EXT	03	4.152

Tableau (IV.1) Murs extérieurs Sans Isolation

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur e[cm]	λ (kj/h.m.k)
Toiture	1. CONCRETE	24	7.56
	2. ENDUIT PLA	03	1.264

Tableau (IV.2) Toiture Sans Isolation

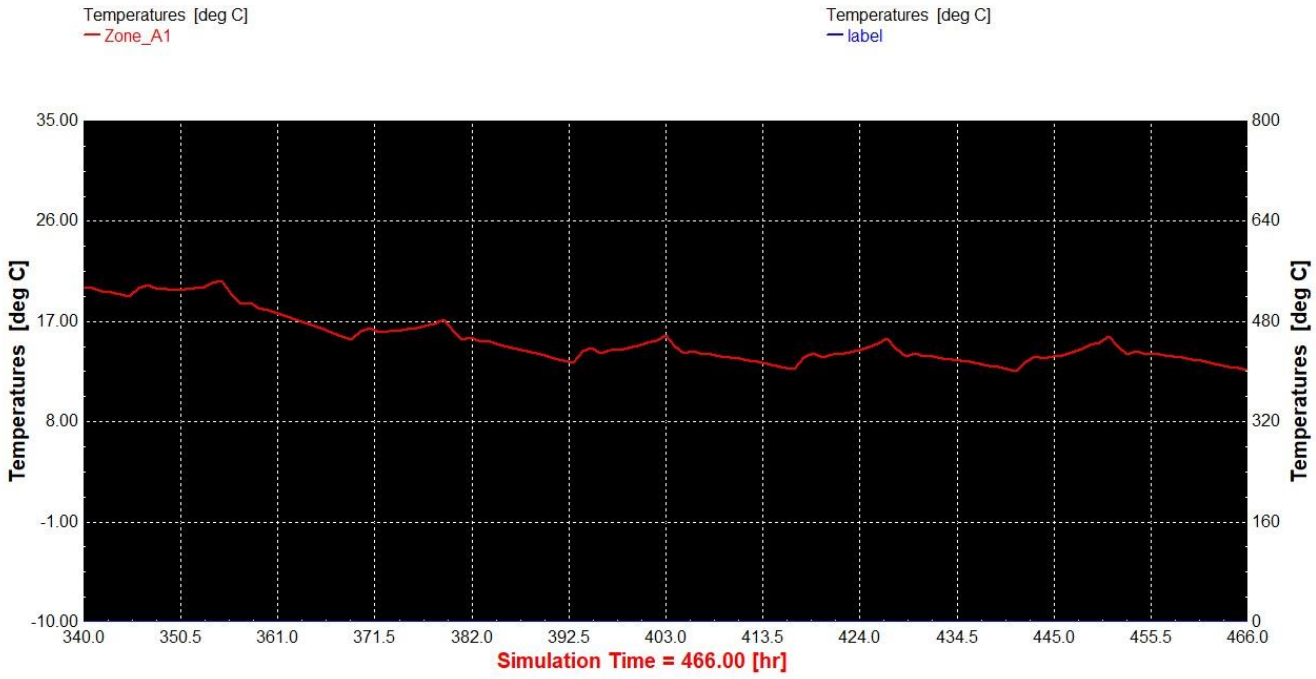


Figure (IV.5) Evolution de la température sans isolation pour (15-20 Janvier)

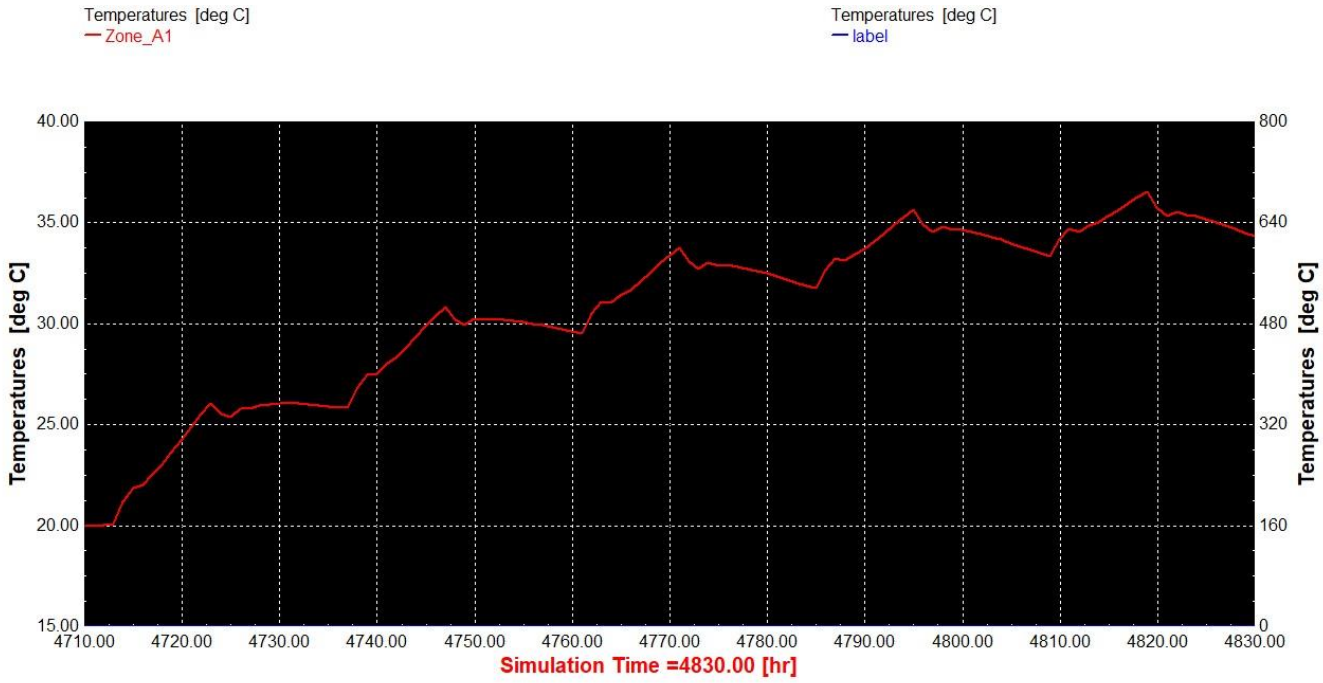


Figure (IV.6) Evolution de la température sans isolation pour (16-21 Juillet)

IV.6.3. Avec Isolation :

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur e[cm]	λ (kj/h.m.k)
Murs extérieurs	1. ENDUIT PLA	03	1.264
	2. ISOLANT	10	0.19
	3. BRIQUE	10	3.2
	4. LAME AIR 15	05	0.325
	5. BRIQUE	15	3.2
	6. ENDUIT_EXT	03	4.152

Tableau (IV.3) Murs extérieurs Avec Isolation

Désignation et représentation	Couche	Epaisseur e[cm]	λ (kj/h.m.k)
Toiture	1. CONCRETE	24	7.56
	2. ISOLANT	05	0.19
	3. ENDUIT PLA	03	1.264

Tableau (IV.4) Toiture Avec Isolation

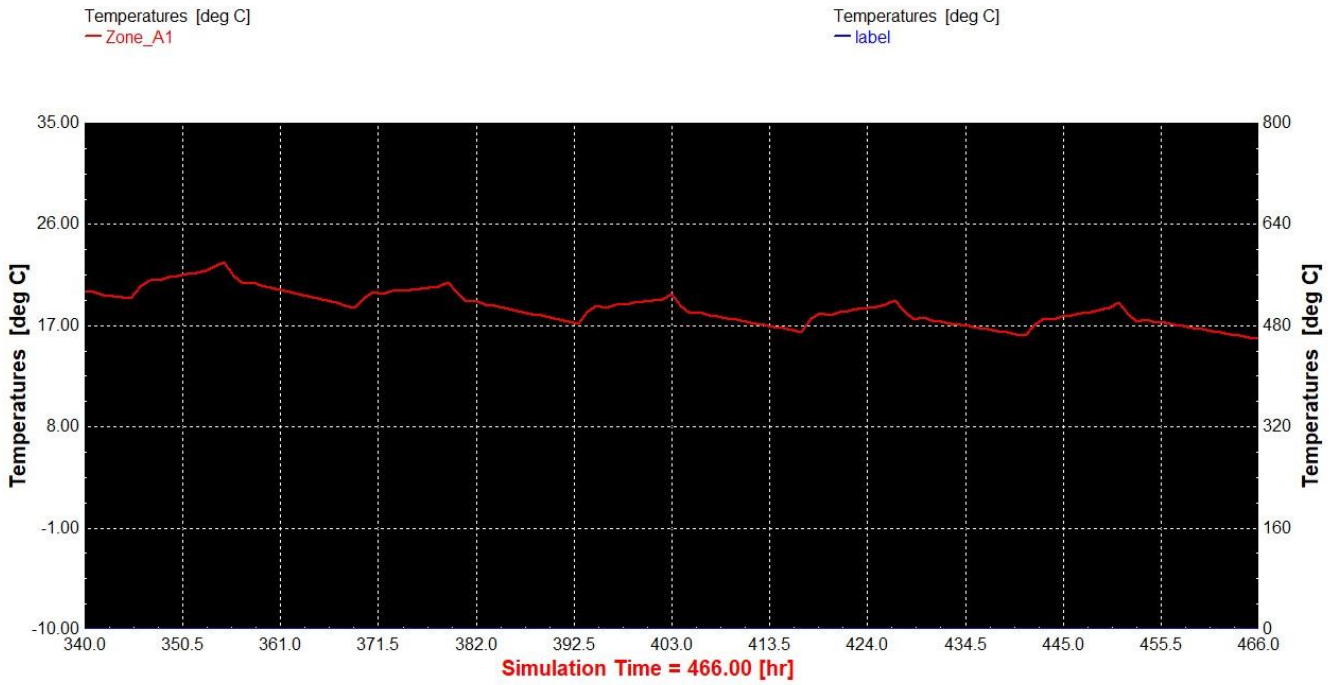


Figure (IV.7) Evolution de la temperature en fonction de l'isolation pour (15-20 Janvier)

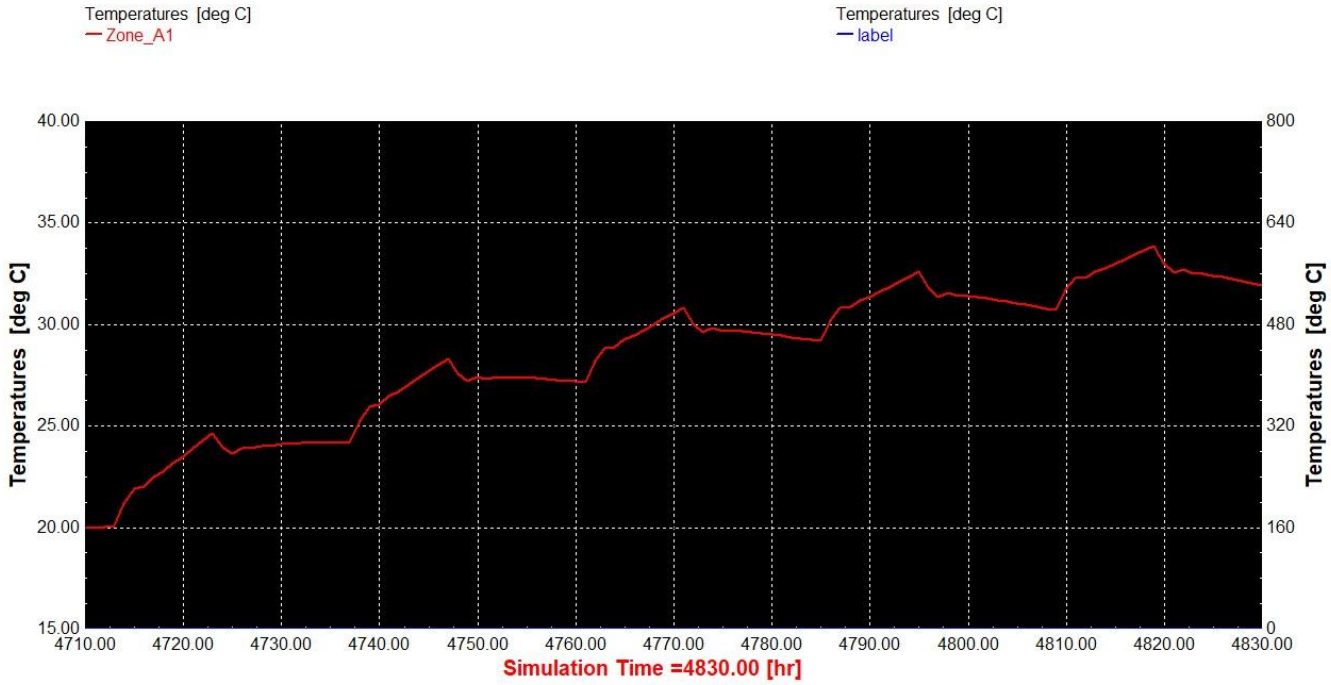


Figure (IV.8) Evolution de la temperature en fonction de l'isolation pour (16-21 Juillet)

IV.7. Analyse des graphiques :

Les courbes montrent l'évolution de la température pendant un temps précis, mettant en évidence la variation de la température ambiante avec et sans l'ajout d'un isolant thermique.

En hiver (janvier), lorsqu'un isolant thermique est ajouté, on observe une augmentation d'environ deux degrés de la température ambiante. Cela indique que l'isolant thermique a joué un rôle efficace en empêchant l'entrée d'air froid dans la pièce. L'isolant thermique agit comme une barrière qui réduit les transferts de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur de la pièce. En empêchant le flux d'air froid, il limite les pertes de chaleur de la pièce vers l'extérieur, contribuant ainsi à maintenir une température plus élevée à l'intérieur.

En été (juillet), lorsqu'un isolant thermique est ajouté, on observe une diminution d'environ deux degrés de la température ambiante. Cela signifie que l'isolant thermique a empêché la chaleur de pénétrer dans la pièce, limitant ainsi la hausse de la température ambiante. L'isolant thermique agit comme une barrière qui réduit les transferts de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur de la pièce. En empêchant la chaleur de pénétrer, il aide à maintenir une température plus fraîche à l'intérieur en réduisant l'impact des conditions extérieures chaudes.

IV.8. La Consommation d'énergie :

Les résultats obtenus grâce à l'utilisation du logiciel TRNSYS et à l'analyse de la consommation d'énergie (chauffage et climatisation) sont les suivants :

IV.8.1. Sans Isolation :

MOIS	CHAUFFAGE [KWH]	CLIMATISA1TION [KWH]	MOIS	CHAUFFAGE [KWH]	CLIMATISATION [KWH]
JAN	395,60	0,00	JUL	0,00	480,10
FEV	231,50	0,00	AOU	0,00	458,00
MAR	119,60	0,00	SEP	0,00	204,50
AVR	34,77	0,00	OCT	14,10	0,00
MAY	0,00	105,90	NOV	175,30	0,00
JUN	0,00	279,50	DEC	389,90	0,00

Tableau (IV.5) Consommation d'énergie Sans Isolant

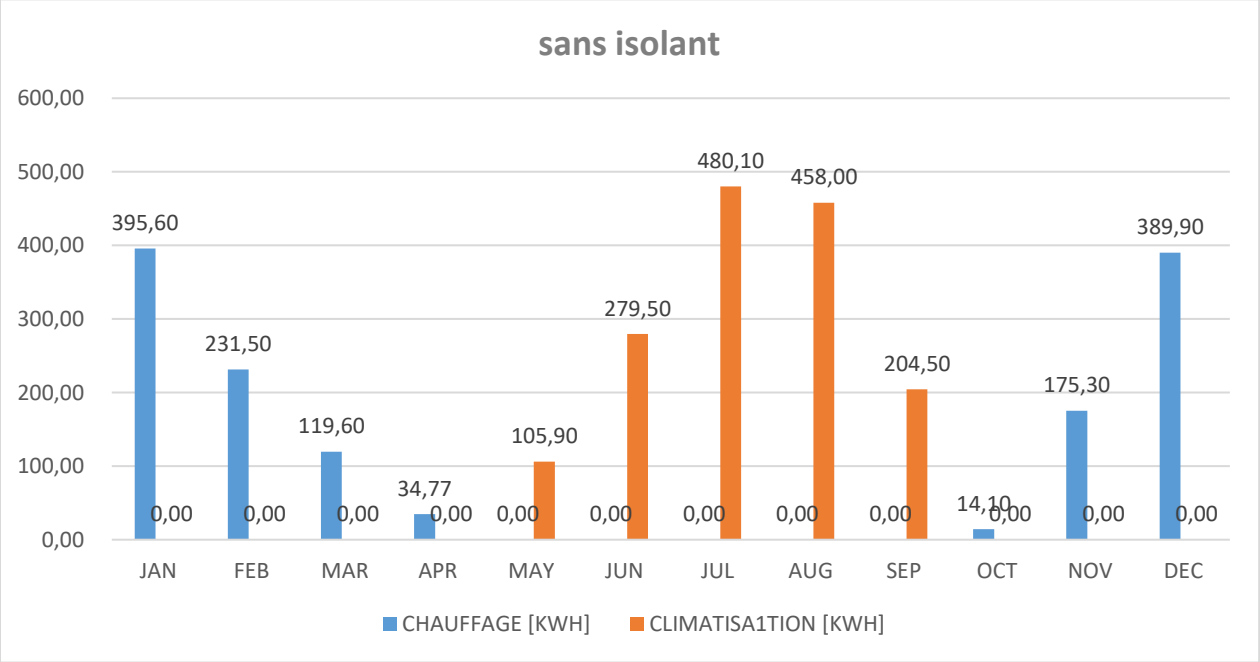


Figure (IV.9) Consommation d'énergie Sans Isolant

IV.8.2. Avec Isolant :

MOIS	CHAUFFAGE [KWH]	CLIMATISATION [KWH]	MOIS	CHAUFFAGE [KWH]	CLIMATISATION [KWH]
JAN	160,70	0,00	JUL	0,00	244,30
FEV	95,85	0,00	AOU	0,00	241,90
MAR	47,79	0,00	SEP	0,00	123,30
AVR	10,77	0,00	OCT	3,89	0,00
MAY	0,00	64,85	NOV	62,35	0,00
JUN	0,00	153,10	DEC	157,50	0,00

Tableau (IV.6) Consommation d'énergie Avec Isolant

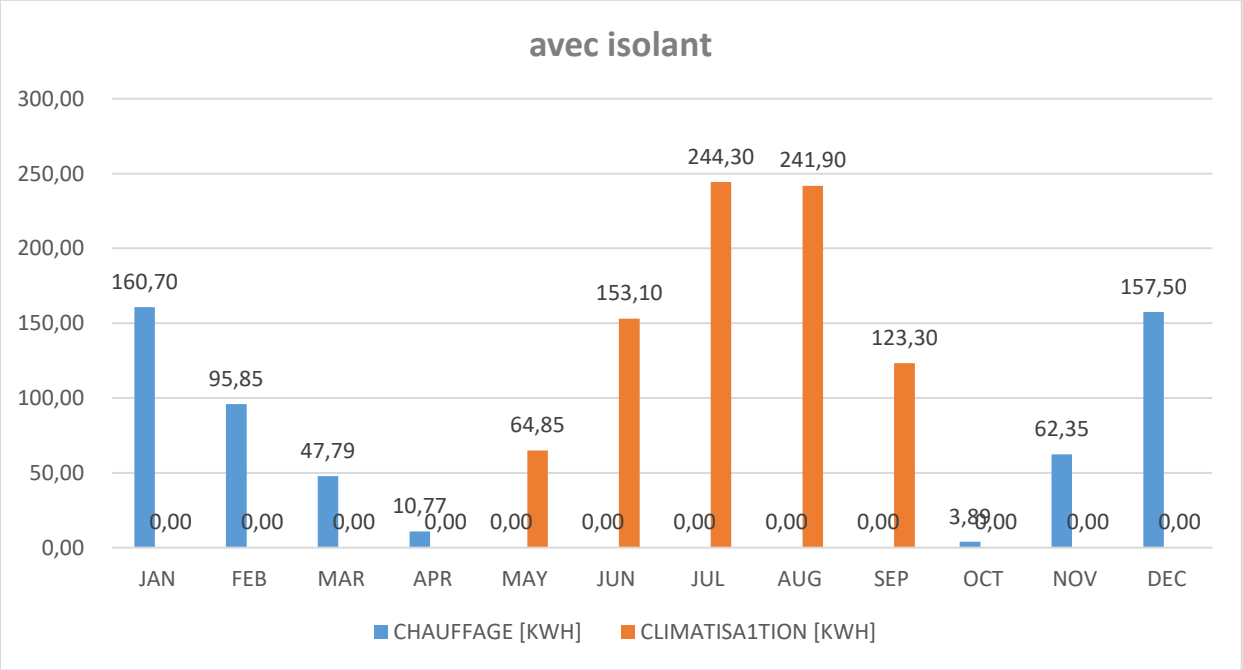


Figure (IV.10) Consommation d'énergie Avec Isolant

IV.9. Analyse des graphiques :

Grâce à l'utilisation de simulations, nous avons obtenu des résultats approfondis pour évaluer la performance énergétique et estimer les besoins annuels en chauffage et climatisation. L'analyse de différentes représentations graphiques a conduit à la conclusion que l'adoption d'une nouvelle isolation Posidonie se traduit par une amélioration significative du confort thermique à l'intérieur de la maison, tout en réduisant la consommation d'énergie. En effet, les données indiquent une diminution d'environ 60% de la consommation de chauffage et de 45% de la consommation de climatisation, grâce à une réduction des échanges de chaleur entre la maison et l'environnement extérieur.

IV.10. Conclusion :

En résumé, l'ajout d'un isolant thermique présente des avantages significatifs tant en hiver qu'en été. En hiver, lorsqu'un isolant thermique est installé, il réduit les pertes de chaleur de la pièce vers l'extérieur. L'isolant agit comme une barrière qui limite la transmission de chaleur à travers les parois du bâtiment. Cela permet de maintenir une température plus élevée à l'intérieur, car moins de chaleur est perdue vers l'extérieur. L'effet isolant réduit également le besoin de chauffage, ce qui contribue à une consommation d'énergie plus efficace et à une réduction des coûts de chauffage. En été, l'isolant thermique joue également un rôle important en limitant l'entrée de chaleur dans la pièce. Il agit comme une barrière qui empêche la chaleur extérieure de pénétrer à l'intérieur, ce qui maintient une température plus fraîche et confortable dans le bâtiment. En réduisant la quantité de chaleur qui traverse les parois, l'isolant thermique diminue la charge thermique sur le système de refroidissement, ce qui peut conduire à une réduction de la consommation d'énergie et des coûts de climatisation.

Ces observations soulignent l'importance cruciale de l'isolation thermique dans la régulation de la température à l'intérieur des bâtiments. Une isolation adéquate permet de créer une enveloppe thermique efficace, minimisant les échanges de chaleur indésirables avec l'environnement extérieur. Cela contribue à améliorer l'efficacité énergétique globale du bâtiment en réduisant la dépendance aux systèmes de chauffage et de climatisation, et en maintenant des conditions de confort tout au long de l'année. De plus, une meilleure isolation thermique peut également avoir un impact positif sur l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre associées à la consommation d'énergie des bâtiments.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

L'objectif de cette étude était d'évaluer les propriétés d'un nouvel isolant thermique élaboré à partir de la plante marine naturelle, la posidonie. L'isolation thermique joue un rôle primordial dans le maintien d'un confort thermique optimal à l'intérieur des habitations en réduisant les échanges thermiques entre l'air intérieur et les parois. Un isolant thermique efficace doit empêcher les pertes de chaleur d'une face à l'autre de la paroi, en évitant la formation de ponts thermiques ou de zones de transfert thermique indésirables.

Dans le cadre de cette étude, une série d'expérimentations a été menée pour évaluer les performances de l'isolant thermique à base de posidonie. Les caractéristiques thermiques et hygrométriques de l'isolant ont été mesurées afin de déterminer ses propriétés thermiques.

Les résultats obtenus ont démontré que l'isolant thermique à base de posidonie présente des caractéristiques prometteuses. Il affiche un comportement thermique satisfaisant, permettant de limiter les pertes de chaleur. De plus, en tant que matériau naturel, écologique et biodégradable, il présente des avantages significatifs sur le plan environnemental.

Ces conclusions suggèrent que l'isolant thermique à base de posidonie pourrait représenter une alternative intéressante dans le domaine de l'isolation, offrant à la fois des performances thermiques efficaces et une réduction de la consommation d'énergie. Des recherches complémentaires pourraient être menées afin de perfectionner les caractéristiques de cet isolant et d'explorer son application pratique dans les domaines de la construction résidentielle et commerciale.

En résumé, cette étude a contribué à une meilleure compréhension et évaluation d'un nouvel isolant thermique à base de posidonie, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives dans le domaine de l'isolation durable et écologique, visant à améliorer le confort thermique tout en réduisant l'impact environnemental.

Les références bibliographiques

[1] David FEDULLO, Thierry GALLAUZIAUX, « L'isolation thermique », 2ème édition, Eyrolles, 2011.

[2] Penu GINA, « La thermique du bâtiment », 2ème édition, DUNOD, Paris 2015.

[3] Association Canadienne de l'isolation thermique, « Guide des meilleures pratiques d'isolation mécanique », 2013.

[4] Améliorez le confort de votre maison -l'isolation thermique, ADEME, 2008.

[5] Thierry GALLAUZIAUX, David FEDULLO, « Le grand livre de l'isolation », 2ème édition », Eyrolles, 2010.

[6] Thierry GALLAUZIAUX, David FEDULLO, « Le chauffage électrique et l'isolation thermique », Eyrolles, 1996.

[7] Enersens SAS, « L'isolation thermique du bâtiment », Energivie.info, GUIDE DES MATÉRIAUX ISOLANTS, mai 2016.

[8] GUIDE DES MATÉRIAUX ISOLANTS pour une isolation efficace et durable. energivie.info. [En ligne] centre de ressources energivie.info. http://www.aldeau.com/ouvrages_libres/15.pdf.

[9] MM. Fragos et Trouillez « le guide de l'isolation », Ooreka, 2012.

[10] « Chauffage, isolation et ventilation écologiques » ÉDITIONS EYROLLES 61, bld Saint-Germain 75240 Paris Cedex 05.

[11] Partie de la base documentaire Techniques du bâtiment : Isoler et revêtir les façades dans le thème Techniques du bâtiment: le second œuvre et les lots techniques at dans l'univers Construction.

[12] Blog-travaux.primesenergie.fr/isolation/isolation-mur/isolation-vegetal.

[13] CT Mètre « Guide d'utilisation » 2010.

[14] Kimnenh TAING, « Analyse et modélisation des données d'un bâtiment pour l'évaluation de son comportement thermique », Mémoire de Master Ingénieur Civil Architecte, Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège, Année Académique 2019-2020.

[15] Yves ROBILLARD, « Efficacité énergétique des bâtiments », Dossier de presse, 2011.