

---

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

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



**Université de BLIDA-1**

**Faculté de Technologie**

**Département des Énergies Renouvelables**

**Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master**

**En Energies Renouvelables**

**Option : Habitat Bioclimatique**

**Thème :**

**Etude Expérimentale pour la Réalisation d'un Isolant Thermique à Base de  
Biomasse : Cas de l'EUCALYPTUS.**

*Réalisé par :*

**GUESMI Mohamed Amine**

*Encadré par :*

**Dr KHELALFA Nawal EL Kahina**

**Jury :**

**1- Mr HAMID Abdelkader ... Professeur**

**2- Mme FERRADJI ...docteur**

**Année universitaire 2022-2023**

---

## ***DÉDICACES***

Je rends grâce à dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la Conscience d'avoir pu terminer mes études.

### ***A ma chère et tendre mère***

A celle qui a tant souffert, sans me faire souffrir, qu'elle trouve dans ce mémoire le témoignage de ma reconnaissance et de mon affection pour tous les sacrifices, l'extrême amour la bonté qu'elle m'a offert pour me voir réussir.

### ***A mon cher père***

A l'homme à qui je dois ma réussite, mon bonheur, et tout le respect ;

Qu'il trouve ici l'expression de mon affection et une récompense des sacrifices consentis pour moi.

### ***A mes frères et à mes soeurs***

En témoignage de mon profond amour et respect, je souhaite toutes les réussites et le bien-être de chacun de vous.

### ***A la mémoire de ma grand-mère et mon oncle***

Vous nous manquez.

### ***A une personne chère à moi***

.

### ***A mes amis***

A tous mes ami(e)s,

---

## **Remerciements :**

Je tiens à exprimer notre profonde gratitude à Mme KHELALFA, qui a suivi et encadré ce travail avec intérêt, disponibilité et compétence.

À Melle Mouaici Majda co-promotrice et amie qui a fait un extraordinaire travail et en m'apprenant et en suivant la partie expérimentale le tout avec pleine concentration.

Je remercie vivement les membres jury d'avoir accepté de juger ce travail.

Je voudrais également exprimer toute ma reconnaissance à tous les membres du CENTRE NATIONAL DE L'ETUDE ET DE LA RECHERCHE INTEGREES DU BATIMENT (CNERIB) de m'avoir accepté au sein de leurs laboratoires pour la réalisation de la partie expérimentale.

---

## **Résumé :**

L'Algérie bénéficie d'un vaste espace qui en fait un continent dont le climat varie du nord au sud et d'est en ouest. Compte tenu du développement continu du secteur du bâtiment afin de créer une situation de confort pour les citoyens dans leurs habitations, notre intérêt s'est porté sur l'isolation thermique du bâtiment en utilisant la biomasse. Cette dernière est basée sur des résidus biosourcés respectueux de l'environnement afin de préserver ce dernier et aussi de pour leurs aspect économique et cela rentre dans le cadre de l'économie circulaire. L'objectif de ce travail est de faire une étude pour la réalisation d'un isolant thermique en utilisant les déchets des feuilles de l'eucalyptus ( région de Médéa). Pour cela, des éprouvettes sont conçues et des tests thermiques et mécaniques leurs sont appliquées pour évaluer les performances de ce type d'isolant.

**Mots clés :** isolant bio source, matériau isolant thermique, biomasse, Eucalyptus, conductivité thermique, performances mécaniques,.

## **Abstract :**

Algeria, with its vast expanse, resembles a continent unto itself, characterized by a diverse array of climates that shift dramatically from the northern regions to the southern territories, and from the easternmost points to the western expanses. This geographical diversity not only shapes the landscape but also influences the challenges and opportunities encountered within the construction sector. As urbanization and infrastructure development continue to unfold, there's a growing emphasis on ensuring optimal living conditions for citizens within their homes. Recognizing the pivotal role of the construction industry in creating spaces conducive to comfort and well-being, attention has turned to thermal insulation as a cornerstone of sustainable building practices.

In this pursuit, the spotlight has fallen on leveraging biomass as a renewable and eco-friendly resource for insulation purposes. Biomass-based insulation holds promise not only for its environmental benefits but also for its economic advantages, aligning seamlessly with the principles of the circular economy. By repurposing bio-sourced residues, such as agricultural byproducts or forestry waste, this approach not only mitigates environmental impact but also contributes to resource conservation and sustainable development. The focal point of this endeavor lies in exploring the potential of eucalyptus leaf waste, abundant in the Médéa region of Algeria, as a viable raw material for thermal insulation. This involves a multifaceted approach, encompassing scientific

---

research, material testing, and engineering innovation. Test specimens are meticulously crafted, and a battery of thermal and mechanical tests is conducted to assess the performance and efficacy of eucalyptus-based insulation under real-world conditions. By delving into the intricacies of thermal conductivity, mechanical strength, and other key parameters, researchers seek to not only develop a robust insulation material but also to advance the field of sustainable construction practices. The ultimate goal is to create a built environment that harmonizes with nature, promotes energy efficiency, and enhances the quality of life for inhabitants while minimizing ecological footprint.

**Keywords:** bio-sourced insulation, thermal insulation material, biomass, Eucalyptus, thermal conductivity, mechanical performance.

### ملخص

تستفيد الجزائر من مساحة شاسعة تجعلها قارة يختلف مناخها من الشمال إلى الجنوب ومن الشرق إلى الغرب ، ونظراً للتطور المستمر للقطاع الصناعي الهادف إلى فرض شخصية اقتصادية بين دول العالم المتقدم. ومن أجل خلق وضع مريح للمواطنين ، قام عدد من الطلاب والمعلمين بثني عدد من المواد العازلة المستخدمة في المباني ، واعتمادها على مخلفات بيئية صديقة للبيئة. تعزية الجانب الاقتصادي بالمنتجات المحلية سهلة الاستخدام ، بالإضافة إلى أدائها الممتاز في أدائها كعوازل حرارية ، وبالتالي مواد مثل سعف النخيل وثقل الزيتون والتمر ، وكما هو مبين أدناه استخدام أوراق الأوكالبتوس.

**الكلمات المفتاحية:** الأوكالبتوس ، مادة العزل الحراري ، التوصيل الحراري ، الأداء الميكانيكي ، العزل الحيوي.

---

## Liste des tableaux

Tableau I: Mesure de masse et la masse volumique. ....	29
Tableau II: Essai de conductivité thermique. ....	29
Tableau III: Essai de résistance à la flexion. ....	31
Tableau IV: Essai de la résistance à la compression. ....	31
Tableau V: Conductivité thermique des différent matériaux ....	33
Tableau VI: Résistance des différent matériaux.....	34
Tableau VII: Resistance a la flexion des différent matériaux. ....	35

---

## Liste des figures

Figure I: Pertes de chaleur d'une maison construite avant 1974. ....	7
Figure II: Répartition du marché de l'isolation rapportée . ....	8
Figure III: Isolants minéraux : (a) Laine de verre, (b) Laine de roche et (c) Perlite.....	9
Figure IV: Isolants synthétiques : (a) Polystyrène expansé (PSE), (b) Polystyrène extrudé (XPS), (c) Plaques de polyuréthane et (d) Polyuréthane projeté.....	11
Figure V: Isolants naturels : (a) Panneaux de fibre de bois, (b) Panneaux de liège, (c) Panneaux et rouleau de laine de chanvre, (d) Panneaux de laine de lin, (e) Bottes de pailles, (f ) Panneaux de ouate de cellulose issue du recyclage du papier, (g) Panneaux de ouate de cellulose issue du recyclage. ....	12
Figure VI: Liège.....	13
Figure VII: Paille. ....	14
Figure VIII: Empreinte carbone pour un bâtiment.....	16
Figure IX: Évolution des réglementations thermiques des bâtiments neufs (BBC et BBCA). ....	17
Figure X: Bécher.....	20
Figure XI : Balance.....	21
Figure XII: Le malaxeur.....	21
Figure XIII: Le moule métallique. ....	22
Figure XIV: L'appareil à choc.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure XV: Machine d'essai de flexion.....	23
Figure XVI: Dispositif de flexion. ....	23
Figure XVII: Machine d'essai de compression. ....	25
Figure XVIII: Dispositif de compression. ....	25
Figure XIX: Le ct-mètre. ....	27
Figure XX: Mesure de la conductivité thermique.....	28
Figure XXI : Le ct-mètre. ....	28
figure xxii: mesure de la conductivité avec la méthode du fil chaud.....	33

---

## Liste des symboles et des abréviations

- $T_a$  : température de l'air [ $^{\circ}\text{C}$ ].
- $T_r$  : température radiante moyenne [ $^{\circ}\text{C}$ ].
- $U$  : coefficient de transmission surfacique [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ ].
- $Q_v$  : débit spécifique de ventilation [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].
- $Q_s$  : débit supplémentaire [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].
- $C$  : chaleur spécifique [ $\text{J}/\text{Kg}\cdot\text{K}$ ].
- $e$  : épaisseur de la paroi [ $\text{m}$ ].
- $h$  : enthalpie [ $\text{J}/\text{Kg}$ ]. □  $h_i$  : coefficient d'échange convectif intérieure [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ].
- $h_e$  : coefficient d'échange convectif extérieur [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ]. □  $\lambda$  : conductivité thermique [ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ].
- $\rho$  : masse volumique [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]. □  $R_f$  : résistance à la flexion [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ].
- $R_c$  : résistance à la compression [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ].



---

# TABLE DES MATIERE

<b>Introductions Générale :</b> .....	1
Chapitre 1 : Recherche Bibliographique et l'Etat de l'Art.....	3
1 L'etat de l'art :.....	3
1.1 Mémoires consultés : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>1.1.1 Les thèses :</b> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>1.1.2 Des articles :</b> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2 Généralité sur l'isolation thermique : .....	6
2.1 Consommation énergétique d'un bâtiment : .....	6
<b>2.1.1 L'isolation thermique :</b> .....	6
2.2 Les différents types d'isolation adaptés aux parois verticales .....	7
<b>2.2.1 Isolation minérale :</b> .....	8
<b>2.2.1.1 La laine de verre :</b> .....	9
<b>2.2.1.2 La laine de roche :</b> .....	9
<b>2.2.1.3 La perlite :</b> .....	10
<b>2.2.2 Isolation synthétique :</b> .....	10
<b>2.2.2.1 Le polystyrène expansé (PSE) ou extrudé (XPS) :</b> .....	11
<b>2.2.2.2 Le polyuréthane :</b> .....	11
<b>2.2.3 Isolation naturelle :</b> .....	12
<b>2.2.3.1 Fibre de bois :</b> .....	12
<b>2.2.3.2 Les panneaux de liège :</b> .....	13
<b>2.2.3.3 La laine de chanvre :</b> .....	13
<b>2.2.3.4 La laine de lin :</b> .....	14
<b>2.2.3.5 Les bottes de paille :</b> .....	14
<b>2.2.3.6 La ouate de cellulose :</b> .....	14
<b>2.2.3.7 La laine de mouton :</b> .....	15
<b>2.2.3.8 Les plumes de canard :</b> .....	15
2.3 Aperçu sur le développement des filières des matériaux biosourcés .....	15
<b>2.3.1 Isolants biosourcés</b> .....	15
Chapitre 2 : MÉTHODOLOGIE D'ÉLABORATION DU MATÉRIAU .....	18
3 Source des matériaux : .....	18
3.1 Confection des éprouvettes : .....	19

---

3.2	Les essais effectués : .....	22
3.2.1	Essais mécanique : .....	22
3.2.1.1	Essai de résistance à la flexion : .....	22
3.2.1.2	Essai de conductivité thermique : .....	26
Chapitre 3 : Résultats et discussion : .....		29
4	Résultats de préparation : .....	29
4.1	Mesure de la masse : .....	29
4.1.1	Résultats d'essai de conductivité thermique : .....	29
4.1.2	Interprétation des résultats : .....	32
5	Étude comparative : .....	33
5.1	Conductivité thermique : .....	33
5.2	Résistance à la Compression : .....	34
5.3	Résistance à la flexion : .....	34
6	Amélioration : .....	36
6.1	Composition du matériau : .....	36
6.2	Optimisation de la densité : .....	36
6.3	Traitement de surface : .....	36
6.4	Techniques de fabrication améliorées : .....	37
6.5	Optimisation de l'épaisseur : .....	37
6.6	Conceptions en couches multiples ou composites : .....	37
6.7	Contrôle qualité et tests : .....	38
6.8	Recherche et développement : .....	38
<b>Conclusion générale : .....</b>		<b>39</b>

---

## Introductions Générale :

En Algérie, la demande de solutions d'isolation thermique efficaces a connu une croissance constante en raison de la diversité climatique du pays et de l'impératif de maîtriser la consommation énergétique. Face à cette évolution, il est devenu impératif de développer des produits innovants en matière d'isolation thermique, adaptés aux besoins spécifiques de l'industrie locale, tout en contribuant à la dynamique économique du pays. Le but de ce travail est d'explorer le potentiel d'utilisation d'un matériau biosourcé, notamment l'eucalyptus, comme base d'une nouvelle génération d'isolants thermiques en Algérie. Durant mon stage de master au sein du Centre National d'Études et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB), une part importante de mes travaux a été dédiée à l'étude des propriétés et de la faisabilité de l'eucalyptus en tant qu'isolant thermique. Ces recherches visaient à fournir des preuves tangibles de la capacité de ce matériau à révolutionner véritablement l'industrie de l'isolation thermique en Algérie.

L'eucalyptus, avec sa polyvalence et sa croissance rapide, s'est déjà imposé dans l'industrie forestière et du bois en Algérie. Cependant, notre approche va au-delà des applications traditionnelles, car nous cherchons à exploiter le potentiel de l'eucalyptus en tant que matériau isolant. Conscients de la nécessité de solutions d'isolation efficaces, durables et adaptées au contexte local, nous avons entrepris ce projet ambitieux afin de tirer parti des propriétés uniques de l'eucalyptus et de le transformer en un isolant thermique de haute performance.

Au CNERIB, des études et des expériences approfondies ont été menées pour évaluer les propriétés thermiques, la densité et d'autres caractéristiques pertinentes de l'eucalyptus. Ces travaux ont abouti au développement d'un processus novateur permettant de convertir les fibres d'eucalyptus en un matériau isolant hautement efficace et respectueux de l'environnement. En capitalisant sur les caractéristiques intrinsèques de l'eucalyptus, notre objectif est de proposer une alternative durable aux isolants conventionnels, souvent dépendants de ressources non renouvelables.

L'un des principaux avantages de l'isolant thermique à base d'eucalyptus réside dans ses excellentes propriétés thermiques. Nos recherches ont démontré que ce matériau présente une conductivité

---

thermique réduite, limitant ainsi efficacement les transferts de chaleur entre les différentes zones. Cette caractéristique se traduit par une amélioration significative de l'efficacité énergétique, réduisant la dépendance aux systèmes de chauffage et de climatisation et entraînant des économies d'énergie considérables ainsi qu'une diminution des émissions de carbone.

En outre, l'isolant à base d'eucalyptus présente d'autres avantages notables. Sa légèreté facilite l'installation et réduit les coûts de transport. De plus, sa résistance à l'humidité garantit sa durabilité et ses performances dans des environnements humides, tandis que ses propriétés d'absorption acoustique contribuent à améliorer l'ambiance sonore des bâtiments, offrant ainsi des espaces de vie et de travail plus confortables.

Il convient de souligner que l'utilisation de l'eucalyptus comme matière première s'inscrit parfaitement dans les objectifs de développement durable de l'Algérie. En privilégiant une ressource disponible localement, nous contribuons au développement du secteur forestier tout en réduisant la dépendance aux matériaux d'isolation importés. Cette approche favorise la création d'emplois et la croissance économique locale, renforçant ainsi la position de l'Algérie en tant que leader des pratiques durables.

---

## *Chapitre 1 : Recherche Bibliographique et l'Etat de l'Art.*

---

### **1 L'état de l'art :**

Présenté par farid TOULOUM Université Mohamed Khider – Biskra en vue de l'obtention Du diplôme de Doctorat en : Génie Mécanique, le 21/06/2018. Ce travail présente les résultats d'une étude expérimentale sur l'incorporation des déchets de bois de palmier dattier réduits en particules pour la fabrication de composites bois-ciment, des matériaux à moindre coût de revient et à faible impact environnemental et de surcroît, thermiquement isolants. Les résultats ont montré que la conductivité thermique est corrélée positivement à la teneur en particules dans le mélange et que la résistance à la compression diminue en fonction de la teneur en particules. Cependant, selon la norme ASTM C 109/ C109-95, le composite à 10 % de particules, assimilé à un béton léger, pourrait être utilisé comme matériau de construction non structurel.

La thèse de Mouatassim CHARAI Université Mohammed Premier Oujda (Maroc), 2021 , concerne le développement et la caractérisation de nouveaux matériaux locaux de construction biosourcés permettant l'écoconception des bâtiments neufs et l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments existants. Le principal intérêt est la valorisation des produits et sous-produits locaux examinant les caractéristiques physiques (porosité, granulométrie) et chimiques(microstructure) pour assurer l'amélioration.

Marie Viel; Thèse de doctorat de l'université de RENNES 1 comue université Bretagne Loire, 2018 , a contribué dans sa thèse au développement de panneaux rigides d'isolation thermique fabriqués à partir de granulats bio-sourcés collés avec un liant vert d'origine végétale. L'utilisation de telles combinaisons est particulièrement intéressante du point de vue environnemental car elle favorise l'agriculture locale, utilisant la granulométrie pour plusieurs forme et résultats.

Presentées par mouaici majda et makhlouf halima , 2020 l'objectif de ce thème est de élaborer un nouveau matériau biosourcé pour avoir un isolant thermique basé sur les grignon d'olive et papier au niveau du CNERIB en comparant les resultats thermique et mécaniques (compression et flexion) par rapport les normes et faire des simulations thermiques et dynamiques et permettre virtuellement de convaincre sur la performance énergétique de ce produit avec le logiciel TRNSYS et les resultats

---

sont satisfaits besoin de développement et poursuivre.

Publié par : Yannay Casas-Ledon et al en 2019 Cet article rend compte des enjeux environnementaux liés à la fabrication d'un nouvel isolant matériau (panneau) produit avec des fibres d'écorce d'eucalyptus. Les analyses correspondent à quatre types d'eucalyptus panneaux d'écorce de différentes densités apparentes (25, 50, 75 et 100.

kg/m<sup>3</sup>). De plus, les panneaux d'écorces d'eucalyptus avec des densités de 25 et 50 kg/m<sup>3</sup> ont montré l'énergie grise et les émissions de carbone inférieures à celles des matériaux d'isolation traditionnels (polyuréthane, polystyrène, fibres de verre et laine de verre), De plus, la gestion forestière et la biomasse transport dépeint une contribution significative à l'environnement profil, en raison d'une gestion forestière intensive et d'une distance parcourue, respectivement. Les panneaux avec la plus faible densité (25 kg/m<sup>3</sup>) ont montré un meilleur profil environnemental, principalement en raison de leur une conductivité plus faible et des exigences de masse réduites. Cet article fournit des résultats détaillés qui permettent une évaluation de la performance environnementale pour le cycle de vie de l'eucalyptus panneaux isolants à base d'écorces.

Publié par Sylwia Członka et al le 10/04/2020 Dans ce travail, des mousses rigides de polyuréthane (PUR) ont été préparées en incorporant 2% en poids de fibres d'eucalyptus. L'impact des fibres d'eucalyptus modifiées sur les propriétés mécaniques, thermiques et les performances au feu des mousses de polyuréthane ont été analysées. Les fibres d'eucalyptus ont été modifiées en surface par l'anhydride maléique, de l'alcali et du silane (triphénylsilanol). Cette étude vise à évaluer l'influence de l'anhydride maléique, de l'alcali et du silane (triphénylsilanol) traités sur les fibres d'eucalyptus et leurs composites de mousse de polyuréthane. Les résultats FTIR ont révélé que les modifications chimiques des fibres d'eucalyptus ont été réalisées avec succès. De plus, les valeurs de résistance thermique ont montré la baisse la plus faible pour les composites traités au silane, en raison de la meilleure résistance thermique des fibres éprouvées au silane et de la plus faible l'absorption d'eau a également été enregistrée pour les composites de fibres absorbés au silane.

Publié par Anita Wesolowski et Al 2013 à Leibniz Le feu joue un rôle de plus en plus important dans la gestion des forêts indigènes et des plantations autour du monde. Notre étude met en évidence la variation inter-espèces de la capacité à résister à la chaleur de la surface les feux. L'interaction des traits de l'écorce pour réduire la chaleur induite par la nécrose du cambium et la mort des arbres qui y

---

sont associées restent mal comprises, Espèces d'eucalyptus cooccurrentes du sud-est de l'Australie différaient sensiblement dans leur capacité à isoler le tissu cambial contre les températures élevées, l'épaisseur de l'écorce étant le principal trait. Écorce fraîche de type gomme d'E. Sur trois types d'écorce différents testés, nous avons constaté que la capacité pour résister à des températures élevées (750 C) augmentée de l'écorce de fer-type à boîte-type à écorce de type gomme.

---

## **2 Généralité sur l'isolation thermique :**

### **2.1 Consommation énergétique d'un bâtiment :**

La consommation énergétique correspond à la quantité d'énergie utilisée par un appareil ou un local bâti. Elle est variable en fonction de paramètres variés. Entre autres, pour une chaudière, elle dépendra de son rendement, pour un climatiseur de son COP et pour un bâti de son isolation. L'unité permettant de comparer la consommation d'énergie d'un bâti est Kwh/m<sup>2</sup>/an. Plus l'isolation d'un bâti est performante plus la consommation en énergie est faible. Les normes actuelles de consommation d'énergie des bâtis sont de 150 à 250Kwh/m<sup>2</sup>/an. [1]

#### **2.1.1 L'isolation thermique :**

L'isolation thermique désigne l'ensemble des moyens employés dans le but de limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid. Ainsi, l'isolation thermique a pour objectif de maintenir une température de confort à l'intérieur d'un bâtiment, c'est à dire conserver la chaleur en hiver et la fraîcheur en été, en dépensant le minimum d'énergie.

Isoler un bâtiment permet donc :

- De réduire les pertes de chaleur par les murs, la toiture, les baies vitrées et les planchers bas. (voir la figure I) ;
- D'assurer un meilleur confort en supprimant les zones froides ;
- D'économiser de l'énergie en chauffant ou en climatisant moins ;
- D'éliminer les problèmes d'humidité en limitant les risques de condensation et donc d'éventuelles dégradations sur les peintures, fenêtres et murs.



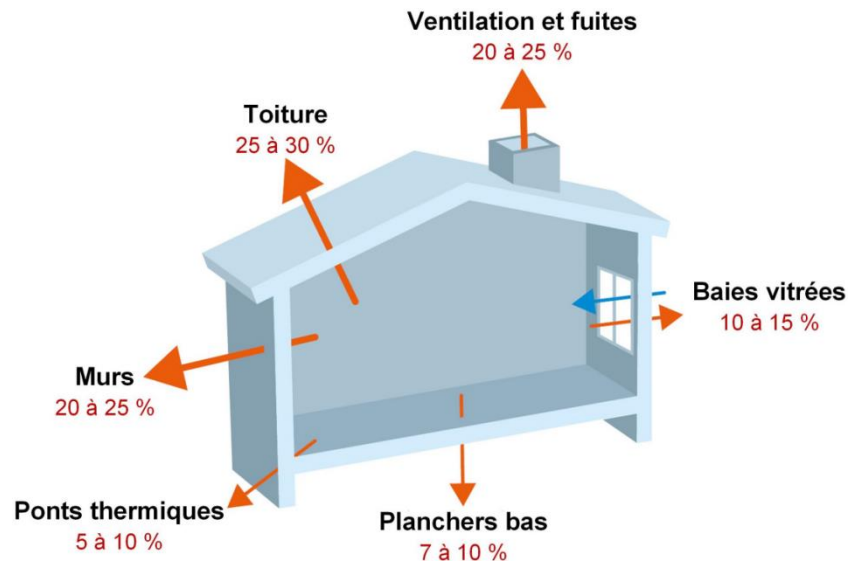


Figure I: Pertes de chaleur d'une maison construite avant 1974. [1]

## 2.2 Les différents types d'isolation adaptés aux parois verticales

Une très large gamme de produits et matériaux isolants adaptés aux parois verticales est disponible sur le marché comme par exemple le polystyrène expansé ou extrudé, la laine de verre, la laine de roche ou encore des alternatives écologiques. Tous ces isolants peuvent être répertoriés en fonction de la nature de la matière première extraite de l'environnement et utilisée lors de leur fabrication. Il existe donc 4 grandes familles d'isolants qui sont :

- L'isolation minérale issue de matière minérale naturelle ;
- L'isolation synthétique issue de ressources organiques ;
- L'isolation naturelle issue de ressources végétales ou animales ;
- L'isolation nouvelle génération (c'est-à-dire les isolants sous vide et réfléchissants ainsi que les aérogels).

Les différents isolants disponibles sur le marché se trouvent la plupart du temps sous forme de rouleaux, panneaux ou vrac.

Globalement, leur conductivité thermique varie de 0.031 à 0.055W/ (m.K) hormis dans le cas des bottes de paille (0.065 W/ (m.K)) ainsi que dans celui des isolants nouvelle génération (entre 0.005 et 0.012W/ (m.K)). Afin d'obtenir une résistance thermique R de 5 m<sup>2</sup>. K/W, environ 20 cm d'épaisseur d'isolant doit être utilisée dans la plupart des cas.

Les bottes de pailles sont les isolants les moins chers du marché (4 €/m<sup>2</sup>) car elles peuvent être

---

utilisées en auto-construction. Ensuite, le prix des isolants augmente dans l'ordre suivant : les laines minérales, les isolants synthétiques, les isolants naturels, la perlite et les isolants nouvelle génération (jusqu'à 500 €/m<sup>2</sup>).

Dans l'ensemble, la fabrication des isolants minéraux et synthétiques est plus énergivore que celle des isolants naturels exceptés dans le cas où la matière première est recyclée (panneaux de fibres de bois et de ouate de cellulose). De plus, les isolants naturels permettent le stockage du CO<sub>2</sub> tandis que les isolants minéraux et synthétiques en produisent au cours de leur procédé de fabrication. La Figure 1.5 représente l'énergie grise ainsi que le bilan de la production de CO<sub>2</sub> de quelques isolants pour une résistance thermique R équivalente à 5 m<sup>2</sup>.K/W

Les isolants les plus vendus sont les laines minérales (laines de verre et de roche) avec quasiment 50 % des parts de marché et les panneaux de polystyrène avec 40 % des parts de marché. Les isolants bio-sourcés ne représentent que 7 % des parts de marché (BUICK et RIMBAUD [2012]). Ce faible pourcentage s'explique par :

- Une faible capacité de production (petite entreprise) ;
- Un coût élevé de la certification CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) ;
- La faible maturité du marché ;
- L'absence de référence aux autres critères techniques de l'isolation (valorisation de la régulation hygrique par exemple *Figure II* [2])

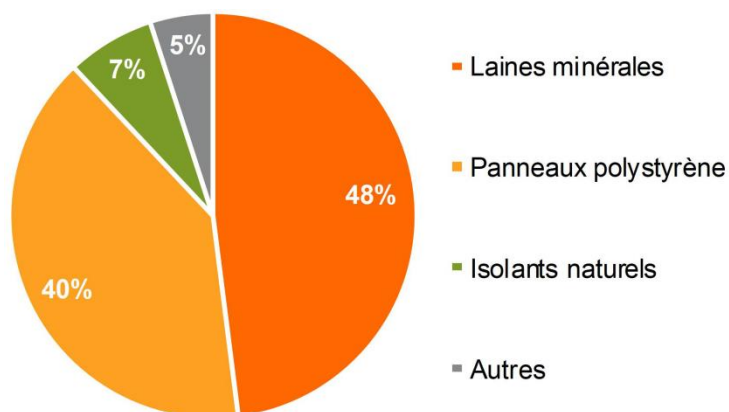


Figure III: Répartition du marché de l'isolation rapportée .

### 2.2.1 Isolation minérale :

Les isolants minéraux sont très souvent choisis pour l'isolation des logements, qu'il s'agisse d'isolation par l'extérieur ou d'isolation intérieure, du sol aux combles. (La Figure III) montre les 3

---

principaux isolants minéraux : la laine de verre, la laine de roche ainsi que la perlite. La laine de verre est d'ailleurs l'isolant le plus utilisé aujourd'hui dans la construction. Les isolants minéraux offrent de nombreux avantages : ils sont bon marché, présentent de bonnes caractéristiques thermiques et acoustiques et sont non inflammables. [4]

### 2.2.1.1 La laine de verre :

La laine de verre est composée de 95 % de silice. Elle est fabriquée par extrusion de fibres qui sont ensuite collées entre-elles avec un liant, généralement à base de formol. Elle est conditionnée sous forme de panneaux, de rouleaux ou en vrac. Elle est fréquemment utilisée comme isolant dans l'habitat traditionnel pour ses bonnes propriétés isolantes aussi bien d'un point de vue thermique qu'acoustique. Sa conductivité thermique est en moyenne comprise entre 0.030 et 0.050 W/(m.K) pour une masse volumique apparente qui oscille entre 10 et 150 kg/m<sup>3</sup>. Toutefois, cette propriété se dégrade avec le temps puisque les rouleaux de laine ont tendance à se tasser. Elle a également un impact écologique négatif dû à la quantité d'énergie grise nécessaire à sa fabrication et à sa classification en déchet toxique lors de sa fin de vie (démolition ou rénovation du bâtiment). Elle est donc non renouvelable. De plus, elle peut provoquer des maladies des voies respiratoires et est potentiellement cancérigène.



Figure IV: Isolants minéraux : (a) Laine de verre, (b) Laine de roche et (c) Perlite.[5]

### 2.2.1.2 La laine de roche :

La laine de roche est obtenue à partir du basalte (matériau naturel issu de l'activité volcanique) transformé en fibres. Ces dernières sont ensuite collées entre-elles avec un liant, généralement à base de formol comme pour la laine de verre. Elle est conditionnée sous forme de panneaux, de rouleaux ou en vrac. Sa conductivité thermique est en moyenne comprise entre 0.034 et 0.050 W/(m.K) pour

---

une masse volumique apparente qui oscille entre 18 et 220 kg/m<sup>3</sup>. Comme dans le cas de la laine de verre, cette propriété se dégrade avec le temps puisque les rouleaux de laine ont tendance à se tasser. Bien que l'énergie grise nécessaire à sa fabrication est moins importante que celle utilisée pour la fabrication de la laine de verre, l'impact environnemental est négatif. De plus, lors de sa fin de vie, le matériau est également classé dans la catégorie des déchets toxiques. Elle est également non renouvelable. De plus, elle peut provoquer des maladies des voies respiratoires et est suspectée d'être cancérogène. [6]

### **2.2.1.3 La perlite :**

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

Ces derniers ont une épaisseur qui varie entre 20 et 120 mm et sont fabriqués par moulage en voie humide avec l'ajout d'un liant à base de résine. Sa conductivité thermique est en moyenne comprise entre 0.040 et 0.070 W/(m.K) pour une masse volumique apparente qui oscille entre 90 et 165 kg/m<sup>3</sup>. Ce matériau présente l'avantage d'être parfaitement inerte en fin de vie si aucun additif n'a été rajouté lors de sa fabrication. [7]

### **2.2.2 Isolation synthétique :**

Les isolants synthétiques ou plastiques alvéolaires sont des dérivés d'hydrocarbure et se présentent sous la forme de mousses plastiques rigides. Les mousses polystyrène et polyuréthane sont les plus connues et répandues (Figure IV). Ces matériaux sont obtenus à partir de matières plastiques expansées à l'aide d'un gaz. Ce dernier est alors emprisonné dans la mousse et va lui conférer son pouvoir isolant. Ces isolants sont essentiellement utilisés pour les isolations des murs, toitures et sols car ils sont légers, ont une bonne résistance mécanique et résistent très bien à l'humidité.

Malgré leur impact écologique négatif, ils constituent une excellente option pour l'isolation par l'extérieur du fait de leur excellente résistance aux conditions climatiques environnementales [8]



Figure V: Isolants synthétiques : (a) Polystyrène expansé (PSE), (b) Polystyrène extrudé (XPS), (c) Plaques de polyuréthane et (d) Polyuréthane projeté.

### 2.2.2.1 Le polystyrène expansé (PSE) ou extrudé (XPS) :

Le polystyrène est un matériau composé de 2 % de billes de styrène (dérivé issu du raffinage du pétrole), collées entre elles par thermo-fusion (dans le cas du polystyrène expansé) ou extrudées sous la pression d'un gaz lourd (principalement du CO<sub>2</sub>), ainsi que de 98 % d'air. Il est conditionné sous forme de plaques. Le polystyrène expansé peut également se présenter sous forme de billes en vrac (pour insufflation). La conductivité thermique du polystyrène expansé est en moyenne comprise entre 0.030 et 0.055 W/(m.K) pour une masse volumique apparente qui oscille entre 10 et 30 kg/m<sup>3</sup>. Alors que la conductivité thermique du polystyrène extrudé est en moyenne comprise entre 0.029 et 0.046W/(m.K) pour une masse volumique apparente qui oscille entre 30 et 50 kg/m<sup>3</sup>. Le polystyrène, comme d'autres matériaux, est extrêmement inflammable (classement au feu E). De plus, il provoque l'émanation de fumées toxiques, il doit donc être systématiquement protégé par un écran thermique pour retarder la propagation au feu. De plus, le polystyrène extrudé composé de polystyrène, de solvants et de gaz, libère lentement dans l'air ambiant du styrène, du chlorure d'éthylène ainsi que des agents gonflants. Le styrène est classé suspecté d'être cancérigène et n'est pas renouvelable. [9]

### 2.2.2.2 Le polyuréthane :

Le polyuréthane est obtenu suite à la polymérisation d'un mélange de polyol et d'isocyanate associé à un gaz d'expansion (généralement du pentane ou du dioxyde de carbone). Il est conditionné sous forme de plaques ou projeté in-situ. Sa conductivité thermique est en moyenne comprise entre 0.022 et 0.040W/(m.K) pour une masse volumique apparente qui oscille entre 30 et 50 kg/m<sup>3</sup>. Comme

pour le polystyrène, il doit être utilisé avec écran thermique à cause des dégagements de gaz toxiques lors d'un incendie. De plus, il libère lentement les gaz ainsi que les agents gonflants dans l'air environnant. Ce matériau est également non renouvelable. [10]

### 2.2.3 Isolation naturelle :

Il s'agit d'isolants d'origine végétale (fibre de bois, panneau de liège, laine de chanvre, laine de lin ou bottes de paille), issus du recyclage (ouate de cellulose fabriquée à partir de prospectus ou laine fabriquée à partir de vieux tissus) ou d'origine animale (laine de mouton ou plumes de canard). (La Figure V) répertorie les principaux isolants d'origine naturelle. Les performances thermiques de ces isolants sont bonnes. Ils permettent aussi une évacuation naturelle de la vapeur d'eau et ont l'avantage de posséder un bilan environnemental très favorable.



Figure VI: Isolants naturels : (a) Panneaux de fibre de bois, (b) Panneaux de liège, (c) Panneaux et rouleau de laine de chanvre, (d) Panneaux de laine de lin, (e) Bottes de pailles, (f) Panneaux de ouate de cellulose issue du recyclage du papier, (g) Panneaux de ouate de cellulose issue du recyclage.

#### 2.2.3.1 Fibre de bois :

Les panneaux en fibres de bois sont fabriqués à partir de déchets de scieries (écorces et branches de résineux sans traitement chimique). Les fibres sont agglomérées entre elles grâce à la lignine qu'elles contiennent. Afin d'obtenir une épaisseur importante d'isolant, plusieurs panneaux sont collés ensemble avec de la colle d'origine synthétique. Leur conductivité thermique est en moyenne comprise entre 0.040 et 0.050 W/(m.K) pour une masse volumique apparente qui oscille entre 45 et 2000 kg/m<sup>3</sup>. [10]



---

Les panneaux en fibres de bois sont donc de bons isolants thermiques et acoustiques ainsi que de bons régulateurs hygriques (c'est-à-dire qu'ils contribuent à entretenir une ambiance intérieure agréable). Ils existent sous la forme de rouleaux ou de panneaux mais aussi en vrac.

### **2.2.3.2 Les panneaux de liège :**

Le liège est issu de l'écorce du chêne-liège (Figure VI). Il est prélevé de l'écorce des arbres (opération de démasclage) tous les 8 à 10 ans sans impact sur la vie de l'arbre. L'écorce est broyée puis agglomérée à chaud grâce à la résine qui est contenue dans le liège : la subérine. Le liège est à la fois hydrofuge, résistant aux insectes et imputrescible, tout en possédant de bonnes propriétés acoustiques. C'est un matériau très résistant au temps. Sa conductivité thermique varie de 0.037 à 0.040 W/(m.K) pour une masse volumique apparente comprise entre 80 et 150 kg/m<sup>3</sup>. Il est d'ailleurs conseillé de ne l'utiliser en isolation par l'extérieur que pour des maisons situées dans des climats tempérés. [10]



*Figure VII: Liège.*

### **2.2.3.3 La laine de chanvre :**

Les fibres de chanvre issues du défibrage des tiges de chanvre, sont affinées, calibrées, puis liées à l'aide de fibres thermo-fusibles afin de former des panneaux ou des rouleaux souples ayant une masse volumique variant de 25 à 35 kg/m<sup>3</sup> pour une conductivité thermique d'environ 0.040 W/(m.K). La laine de chanvre est également un bon régulateur hygrique. De plus, elle a des caractéristiques antifongique et est résistante aux rongeurs (TECHNIQUE DE L'INGÉNIEUR [2012]).[10]

---

#### 2.2.3.4 La laine de lin :

La laine de lin est fabriquée à partir de fibres de lin oléagineux (lin cultivé pour ses graines). Ces dernières sont trop courtes pour un usage textile. Une fois qu'elles ont été séparées mécaniquement du reste de la paille de lin, elles sont calibrées, traitées avec du sel de bore et du silicate de calcium (pour la résistance aux moisissures, aux insectes, au feu et aux rongeurs), cardées (démêlées et aérées) puis collées les unes aux autres. La laine de lin est disponible sous forme de rouleaux ou de panneaux. Comme la laine de chanvre, c'est un bon régulateur hygrique. Sa conductivité thermique est d'environ  $0.037 \text{ W}/(\text{m.K})$  pour une masse volumique qui varie de 20 à 25  $\text{kg}/\text{m}^3$ . [10]

#### 2.2.3.5 Les bottes de paille :

L'isolation en bottes de paille est surtout utilisée dans l'auto-construction de maison à ossature bois (Figure VII). Le principe constructif est simple, une fois la structure porteuse en bois construite, les bottes de paille sont directement insérées dans l'ossature. Ce type d'isolation a pour avantage une bonne conductivité thermique ( $0.065 \text{ W}/(\text{m.K})$ ) pour une masse volumique d'environ 75  $\text{kg}/\text{m}^3$ , l'utilisation de matières renouvelables sans avoir recours à un procédé de transformation industriel (énergie grise quasiment nulle) ainsi qu'un prix très compétitif. [10]



*Figure VIII: Paille.*

#### 2.2.3.6 La ouate de cellulose :

La ouate de cellulose est issue du recyclage du papier ou du tissu. Les papiers ou tissus sont chargés, triés puis broyés. Ensuite, des additifs (il s'agit le plus souvent de sels de bore) sont ajoutés afin d'améliorer la résistance au feu, aux insectes, aux rongeurs et aux moisissures. Le mélange est de nouveau broyé afin d'être homogénéisé suite aux différents ajouts. La ouate de cellulose est conditionnée en vrac ou en panneaux. Sa conductivité thermique est en moyenne comprise entre  $0.038$  et  $0.055 \text{ W}/(\text{m.K})$  pour une masse volumique apparente qui oscille entre 30 et 70  $\text{kg}/\text{m}^3$ .



---

### **2.2.3.7 La laine de mouton :**

Avant d'être utilisé comme isolant, la laine de mouton est lavée avec du savon ainsi qu'avec de la soude afin d'enlever les salissures et la forte odeur due à la lanoline. Une fois les nombreux lavages et rinçages terminés, la laine de mouton est traitée contre les mites avec du mitin (un dérivé de l'urée) puis elle est séchée et compressée. Enfin, elle est conditionnée en vrac ou en rouleaux.

Elle possède une bonne conductivité thermique qui est d'environ  $0.038 \text{ W/(m.K)}$  pour une masse volumique comprise entre 10 et 30  $\text{kg/m}^3$ . Elle a également une excellente capacité à réguler l'humidité (elle est capable d'absorber un tiers de son poids sans se déformer).[10]

### **2.2.3.8 Les plumes de canard :**

Cet isolant dont la disponibilité sur le marché est relativement récente, est principalement constitué de plumes de canards (70 %), de la laine de mouton (10 %) ainsi que des fibres textiles de type polyester (20 %) qui permettent d'assurer la cohésion du matériau. Sa conductivité thermique est en moyenne de  $0.040 \text{ W/(m.K)}$  pour une masse volumique d'environ 30  $\text{kg/m}^3$ . [2]

## **2.3 Aperçu sur le développement des filières des matériaux biosourcés**

À l'ère actuelle, l'industrie des matériaux de construction biosourcés n'est plus une option, mais une nécessité pour verdir le secteur des bâtiments et garantir la transition écoénergétique. Pour construire un seul bâtiment, les matériaux de construction sont eux-mêmes à l'origine de 15 à 20 % des émissions de gaz à effet de serre (GES). Plus particulièrement, en France, les matériaux de construction présentent des émissions carboniques de plus de 50% à chaque nouveau mètre carré construit.

C'est pour cette raison qu'écoconstruction avec des bio matériaux végétaux a suscité beaucoup d'intérêt de la part des pouvoirs publics pour atteindre les objectifs européens et internationaux, représenté par la réduction de l'empreinte carbone de 55% d'ici 2030, et de 80 à 95 % en 2050 par rapport aux années quatre-vingt-dix. (voir la Figure VIII ) [11]

### **2.3.1 Isolants biosourcés**

Les matériaux biosourcés sous forme de rouleaux et de panneaux sont souvent utilisés dans l'isolation thermo-acoustique des bâtiments. Les isolants biosourcés sont subdivisés en deux catégories, à savoir :

- Isolants en laine animale : ces isolants sont fabriqués à partir des ressources d'origine animale, telles que la laine du mouton et les plumes de canard.
- Isolants en laine végétale : ces isolants sont fabriqués à base de produits et de sous-produits agricoles, tels que le chanvre, le liège et le miscanthus. Ces isolants offrent une large gamme de produits d'isolation en raison de la diversité des fibres végétales.

Contrairement aux applications précédentes, qui nécessite un mélange simple liant/bio-agrégats, la fabrication des isolants requiert un processus industriel particulier. Il s'agit principalement d'un prétraitement, comprenant le nettoyage de la matière première, le défibrage et le dégraissage. Ce procédé est suivi fréquemment d'un traitement chimique contre les nuisibles (mites et acariens). Le produit final est ensuite mélangé à des liants synthétiques pour produire des rouleaux ou des panneaux rigides ou flexibles. [11]

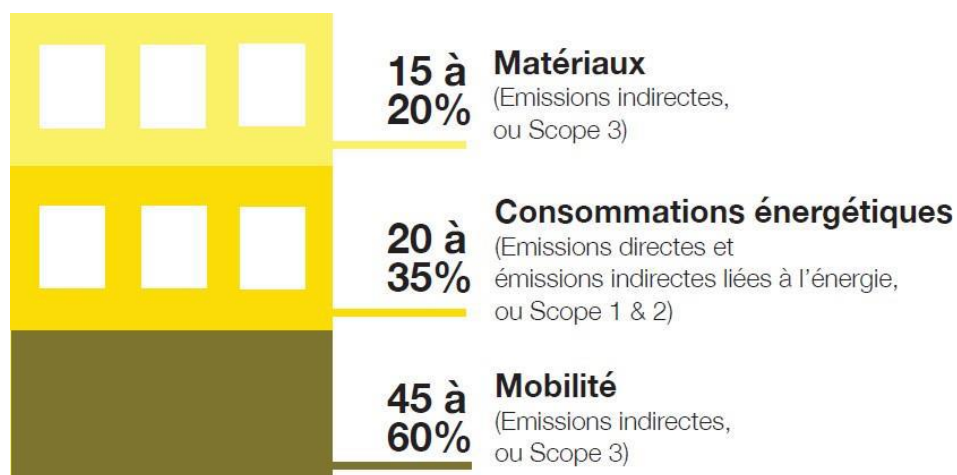


Figure IX: Empreinte carbone pour un bâtiment.

Dans cette perspective, les réglementations thermiques récentes pour les bâtiments neufs ont maintenant traversé une phase de transition remarquable, passant des Bâtiments Basse Consommation (BCC) aux Bâtiments Bas Carbone (BBCA), où il est nécessaire d'améliorer simultanément le critère écologique et énergétique des logements. (Figure IX) représente l'évolution dans le temps des exigences réglementaires pour les bâtiments neufs en France.

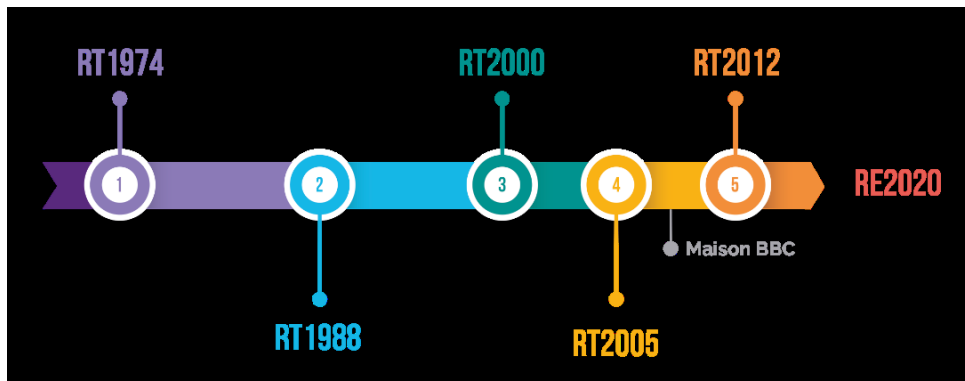


Figure X: Évolution des réglementations thermiques des bâtiments neufs (BBC et BBCA).

Au cours de la dernière décennie, la performance des bâtiments a été progressivement restreinte en termes de consommation énergétique annuelle, comme le montre Figure IX. Contrairement aux réglementations thermiques (RT) visant à limiter les besoins de chauffage et de climatisation des bâtiments en adoptant des solutions conventionnelles telles que l'amélioration de l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment, les réglementations récentes (RE) de nouveaux niveaux d'ambition dits « environnementales » visent à valoriser la production d'énergie in situ des bâtiments par l'utilisation d'énergies renouvelables et à atténuer leur empreinte carbone en adoptant des approches bioclimatiques innovantes de construction (matériaux biosourcés, architecture bioclimatique, etc.). [3]

---

## *Chapitre 2 : Méthodologie d'élaboration du matériau.*

---

Afin d'élaborer un matériau isolant à base de l'eucalyptus, différentes éprouvettes ont été réalisées à fin d'étudier les caractéristiques thermiques et mécaniques du matériau au sein du laboratoire des matériaux de construction du CENTRE NATIONAL DE L'ETUDE ET DE LA RECHERCHE INTEGREES DU BATIMENT (CNERIB).

### **3 Source des matériaux :**

L'arbre d'eucalyptus est devenu une présence emblématique dans le paysage algérien, contribuant de manière significative aux aspects environnementaux et économiques du pays. Originaires d'Australie, ces grands arbres à feuilles persistantes ont été introduits avec succès en Algérie et ont prospéré dans diverses régions du pays. Avec leurs caractéristiques distinctes et leurs nombreux avantages, les arbres d'eucalyptus sont devenus une composante essentielle des efforts de gestion forestière et des ressources naturelles de l'Algérie. Ainsi, avec tant d'arbres et leurs résidus, nous avons choisi de cette matière comme une source bio pour notre travail en isolation thermique :

- L'eucalyptus utilisés dans notre travail a été ramené de la région de **OULED HELAL de MEDEA**
- On a utilisé comme déchets et pas comme poudre pour raison de la qualité de l'isolant (si on utilise la poudre, on risque d'avoir juste un petit changement avec les autres précédents comme les palmiers ou bien les grignons d'olives selon Ma co-promotrice)
- De La colle :il existe plusieurs possibilites :
  - Le riz comme colle biosourcée. Le riz, a servi autrefois, sous sa forme gluante, pour la construction en chine de remparts et pour reboucher les failles des murs de certaines vieilles bâtisses. La pâte de riz a également été utilisée dans la construction de la Grande muraille, il y a plus de 2 000 ans. Comme le montre des études d'une équipe de recherche qui travaille sur ce sujet
  - L'amidon de la pomme de terre comme colle naturelle

- 
- La fécule de pomme de terre est l'amidon (appelé dans ce cas « fécule »), extrait des tubercules de pomme de terre. L'extraction de la fécule donne lieu à une importante activité industrielle, la « féculerie ». Les pommes de terre sont écrasées, ce qui libère les grains d'amidons (amyloplastes). L'amidon est ensuite lavé et desséché sous forme d'une poudre blanche. La fécule de pomme de terre a de multiples applications dans l'industrie, en particulier pour le couchage du papier. Elle sert également dans les domaines du cosmétique, de l'industrie pharmaceutique, ainsi que comme additif alimentaire (épaississant, texturant, ...etc).
  - D'autres sources d'amidon concurrencent la pomme de terre : l'amidon est en effet extrait industriellement également du maïs, du blé et des petits pois notamment.

La fécule de pomme de terre et ses dérivés ont de nombreuses applications alimentaires. On l'emploie également dans des applications techniques comme la colle à papier peint, les apprêts et enduits des tissus, le couchage et l'enduction du papier et comme adhésif dans la sacherie de papier et les rubans de papier gommé.

- C'était notre choix mais à cause du temps on a pas pu le faire alors on a utilisé juste une colle blanche pour le bois et papiers.

### **3.1 Confection des éprouvettes :**

Plusieurs éprouvettes ont été préparées pour déterminer les performances thermiques ainsi que mécaniques, ensuite le matériau a été intégré en faible pourcentage de la colle et grande quantité de l'eucalyptus à savoir :

#### **Groupe : 80% eucalyptus ; 20% colle :**

**Les éprouvettes ont été préparées selon les étapes suivantes :**

- **Mesure des quantités nécessaires de l'eucalyptus et de colle sachant que la quantité d'eau est nulle**
- **Malaxage de la pâte à l'eucalyptus et colle dans un malaxeur tout**
- **Moulage et compactage des éprouvettes.**

- 
- Passage des éprouvettes par l'appareil à choc pour éliminer les trous d'air.
  - Séchage des éprouvettes à 80C° pendant 24h.
  - Démoulage des éprouvettes

### 2.3 Matériels utilisé pour la préparation des éprouvettes :

#### - Le bécher :

Le bécher utilisé pour mesurer le volume de l'eucalyptus et la colle est un bécher en verre et a une capacité de 1000ml +-5.(voir la Figure X)



*Figure XI: Bécher*

#### - La balance :

La balance utilisée pour les mesures de la masse est une balance de contenance de 3Kg(*Figure XI*).



*Figure XII : Balance*

**- Le malaxeur :**

Composé d'un récipient en acier inoxydable d'une capacité de 5L, équipé de manière à pouvoir être fixé fermement au bâti du malaxeur pendant le malaxage, et tel que la hauteur du récipient par rapport au batteur, et dans une certaine mesure, le jeu entre le batteur et le récipient, puisse être ajusté et maintenue avec précision (Figure XII).



*Figure XIII: Le malaxeur.*

---

### - Le moule métallique :

Les moules en acier sont composés de 2 compartiments de 15\*8 et 15\*4 de section permettant la préparation simultanée de 2 échantillons l'un pour les essais thermiques et un autre pour les essais mécaniques.( Figure XIII).



*Figure XIV: Le moule métallique.*

### 3.2 Les essais effectués :

#### 3.2.1 Essais mécanique :

##### 3.2.1.1 Essai de résistance à la flexion :

L'essai de la résistance à la flexion s'est déroulé dans le laboratoire des essais mécaniques selon la norme : NF EN 196-1 permettant la détermination des résistances mécaniques des mortiers de ciment (annexe1) ainsi que la norme NBN-EN 13279-1 pour les enduits plâtre.

#### - Machine d'essai de résistance à la flexion :

La machine d'essai pour la détermination de la résistance à la flexion permet d'appliquer des charge jusqu'à 10 KN avec une erreur de justesse inférieure ou égale à  $\pm 1.0\%$  de la charge enregistrée , dans le 4/5 supérieurs de l'échelle des mesures et avec une vitesse de mise en charge de 50N/s $\pm 10$ . la machine est pourvue d'un dispositif de flexion comportant deux rouleaux d'appui en acier de 10.0mm $\pm 0.5$  de diamètre, distant l'un de l'autre de 100.0mm $\pm 0.5$  et un troisième rouleau, de chargement, en acier, de même diamètre, équidistant les deux premier. La longueur de ces rouleaux est comprise entre 45mm et 50mm. Les trois plans verticaux passant par les axes des trois rouleaux



---

sont parallèles, équidistant et perpendiculaires à la direction de l'éprouvette. Un des trois rouleaux d'appui et le rouleau de chargement peuvent basculer légèrement pour permettre une distribution uniforme de la charge sur la largeur de l'éprouvette en évitant toute contrainte de torsion.



*Figure XV: Machine d'essai de flexion.*



*Figure XVI: Dispositif de flexion.*

La valeur de la résistance à la flexion est déterminée selon la relation :

$$Rf = (1.5 * F * I) / (a^2 * b) ;$$

---

tel que :

**Rf : la résistance à la flexion (N/m<sup>2</sup>)**

**F : force de flexion (N)**

**I : section de l'éprouvette=80mm**

**a : largeur de l'éprouvette = 40mm**

**b : longueur de l'éprouvette = 150mm.**

### **2.5.1.2 Essai de la résistance à la compression :**

L'essai de la résistance à la compression s'est déroulé selon la norme : NF EN 196-1 permettant de déterminer les résistances mécaniques.

o Machine d'essai de la résistance à la compression :

La machine d'essai pour la détermination de la résistance à la flexion est munie d'un dispositif indicateur, qui est construit de telle façon que la valeur enregistrée lors de la rupture de l'éprouvette reste indiquée après le retour à zéro de la charge. Ceci peut être obtenu par l'utilisation d'un indicateur de maximum sur un contrôleur de pression ou d'une mémoire sur un dispositif numérique. La mise en charge de la machine utilisée est réglée manuellement donc elle est munie d'un dispositif de mesure contrôlant la vitesse de mise en charge. Une plaque inférieure est utilisée dans ce dispositif, plaque qui peut faire corps avec le plateau inférieur de la machine. Le plateau supérieur reçoit l'effort du plateau supérieur de la machine par l'intermédiaire d'une rotule sphérique. Cette rotule fait partie d'un ensemble qui doit pouvoir glisser verticalement sans frottement appréciable dans le dispositif qui sert de guide à son déplacement. Le dispositif de compression doit être maintenu parfaitement propre et la rotule sphérique doit avoir une liberté de rotation telle que le plateau puisse s'ajuster initialement par lui-même à la forme de l'éprouvette et demeurer fixe pendant l'essai.



*Figure XVII: Machine d'essai de compression.*



*Figure XVIII: Dispositif de compression.*

Les valeurs de la résistance à la compression sont déterminées à l'aide de la formule :  $R_c = F/S$  ; tel que :

F : force de compression (N)

---

S : section de l'éprouvette =  $40 \times 40 = 1600 \text{ mm}^2$ .

### **3.2.1.2 Essai de conductivité thermique :**

L'essai de conductivité thermique est effectué selon la norme ISO 8894-1 « Organisation International de Normalisation » avec un appareil appelé le CT mètre. Le CT-mètre est un dispositif qui permet de mesurer la conductivité thermique d'un matériau à partir de l'évolution de la température mesurée par un thermocouple placé à proximité d'un fil résistif. La sonde, constituée du fil résistif et du thermocouple dans un support isolant en kapton, est positionnée entre deux échantillons du matériau à caractériser. Le CT-mètre, développé au CSTB, utilise cette méthode avec les critères suivants :

- Conductivité de 0,02 à 5  $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  ;
- Température de mesure de 20 à 80 °C;
- Échantillons : au moins  $80 \times 40 \text{ mm}$ , de quelques millimètres d'épaisseur pour les isolants à quelques centimètres pour les conducteurs.



*Figure XIX: Le ct-mètre.*





Figure XX: Mesure de la conductivité thermique.

Pour la stabilisation des résultats du test de conductivité thermique les éprouvettes ont été séchées dans un four jusqu'à une masse constante avant de passer au test.



Figure XXI : Le ct-mètre.

---

## *Chapitre 3 : Résultats et discussion*

---

### **4 Résultats de préparation :**

#### **4.1 Mesure de la masse :**

Tableau I: Mesure de masse et la masse volumique.

N° de l'éprouvette	Masse	Masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )
EP 01	221.5g	461.458
EP 02	230.8g	480.833
EP03	235.8g	491.250

- La relation entre le dosage et la densité (masse volumique) des éprouvettes est proportionnelle, tant qu'on augmente le dosage, la masse de l'éprouvette diminue cela implique une chute de densité.

- Il y a une éprouvette du dosage 5% a été endommagée lors du démoulage à cause de la faible quantité de colle qui joue le rôle d'un liant (Adjuvant).

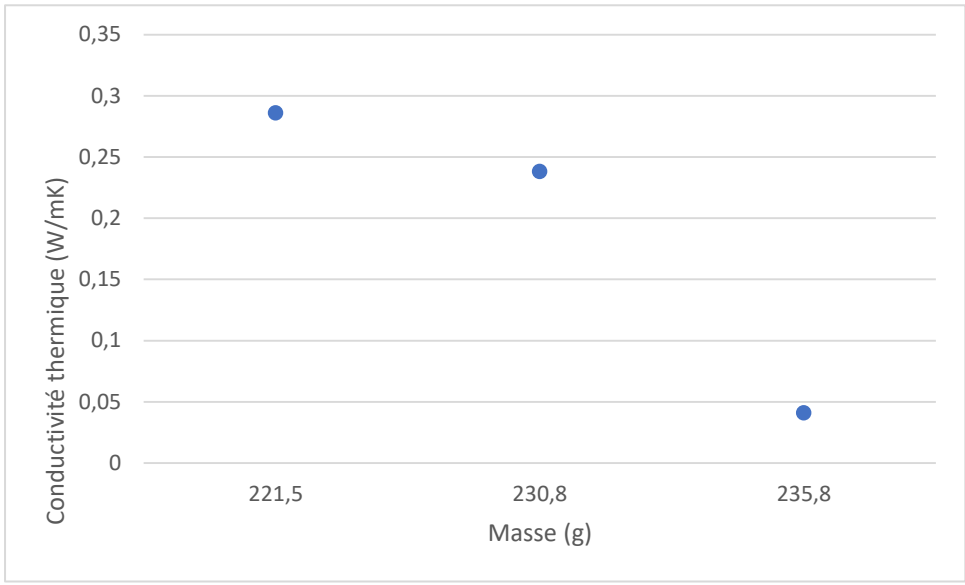
#### **4.1.1 Résultats d'essai de conductivité thermique :**

Pour assurer le bon déroulement de l'essai de conductivité thermique ainsi que la fiabilité des résultats, certains paramètres de configuration de l'appareil CT-mètre sont nécessaires :

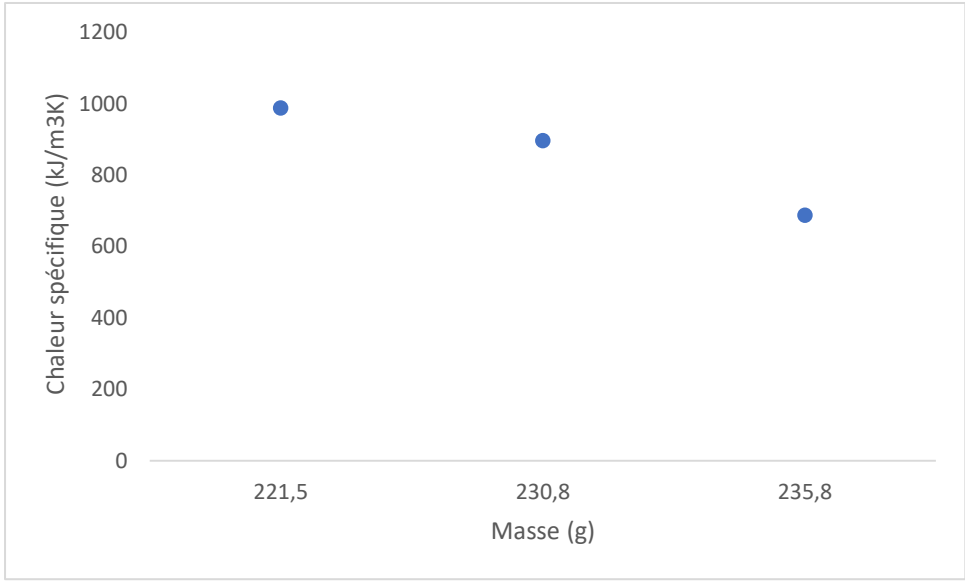
##### **° Essai de conductivité thermique :**

Tableau II: Essai de conductivité thermique.

Essai	Conductivité thermique W/m.k	Chaleur spécifique KJ/m <sup>3</sup> .k
01	0.286	987.9
02	0.238	896.3
03	0.041	687.3
04	0.042	696.58
moyenne	0.151	817.02



Graph 1 : conductivité thermique en fonction de la masse, on remarque que cette variation est rapide.



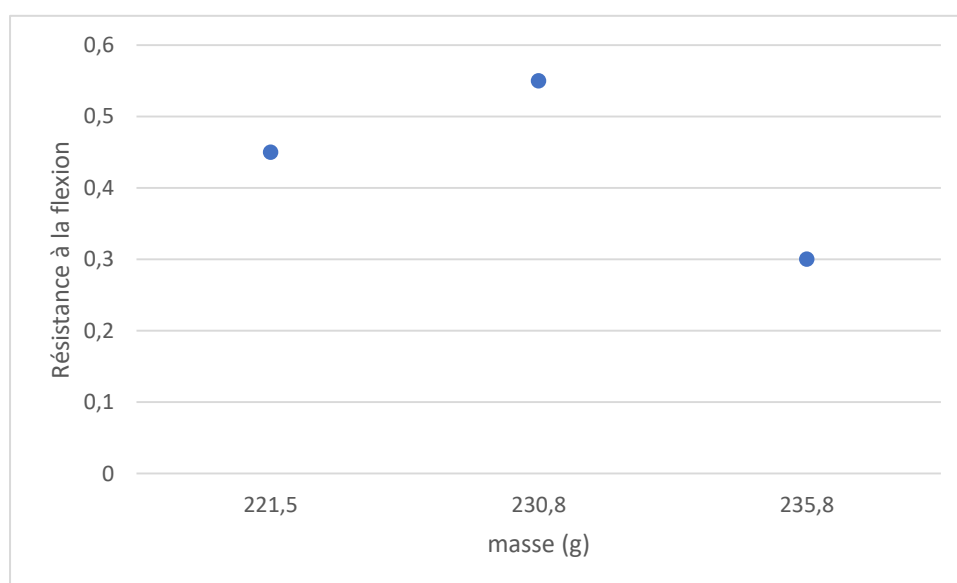
Graph 2 : chaleur spécifique en fonction de la masse, on remarque que cette variation est un peu lente par rapport à la conductivité

° **Essai de résistance à la flexion :**



Tableau III: Essai de résistance à la flexion.

Eprouvette	Force KN	Rf
01	0.09	0.45
02	0.11	0.55
03	0.06	0.30
moyenne	0.09	0.433

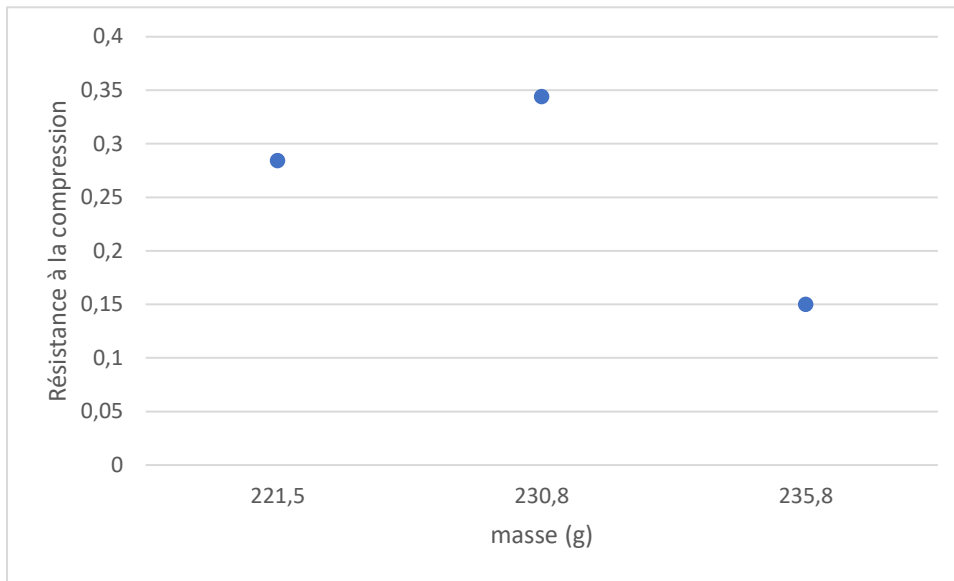


Graph 3 : résistance à la flexion en fonction de la masse, on remarque que a certain moment d'augmentation de la masse il ya un pic de la résistance .

° **Essai de la résistance à la compression :**

Tableau IV: Essai de la résistance à la compression.

Eprouvette	F1	F2	Rc
01	0.49	0.42	0.284
02	0.60	0.50	0.344
03	0.22	0.26	0.15
Moyenne	0.43	0.398	0.26



**Graph 4:** Résistance à la compression en fonction de la masse, il ya un petit changement de la résistance a la compression dans l'augmentation de la masse qu'on remarque .

#### **4.1.2 Interprétation des résultats :**

Les valeurs de résultats de conductivité thermique des différents dosages du matériau (eucalyptus+colle) montrent une relation inversement proportionnelle entre la masse volumique du matériau et sa conductivité , plus le matériau est léger plus sa conductivité est faible ce qui justifie la diminution de cette dernière allant de 0.151 W/m.C° , cette allure explique logiquement le phénomène de diminution de conductivité thermique qui est presque égale de la norme ISO 8894-1 qui exige une conductivité thermique inférieure ou égale à 0.1 pour qu'un matériau soit isolant. Plusieurs paramètres extérieurs indésirables (non traités) ont influé sur le comportement du matériau durant l'essai ce qui justifient les valeurs élevées de conductivité thermique, ces paramètres sont :

- Manque de la régulation de la température dans la salle où l'essai s'est effectué (l'augmentation ou la diminution de la température de la salle perturbe le comportement thermique du matériau et indique un changement de valeurs de conductivité des éprouvettes identiques.
- L'état de surface dégradé permet à la chaleur fournie par la sonde de se propagé irrégulièrement et à tendance à être en contact avec la température extérieure et puis une différence de température différente à celle induite par le matériau. (Voir figure XX)



*Figure XXII: mesure de la conductivité avec la méthode du fil chaud.*

- Pour ce type de matériau poreux, mesurer la chaleur avec un CT-metre ne peut pas être très précis, les méthodes de mesure de flux sont la solution pour obtenir des valeurs plus précises.
- Faute de temps, des éprouvettes de différentes dimensions pour un essai flux-métrique n'ont pas pu être réalisées.

## **5 Étude comparative :**

### **5.1 Conductivité thermique :**

Tableau V: Conductivité thermique des différents matériaux

Matériau	Masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	Conductivité thermique(W/m.k)	Capacité thermique(J/Kg.k)
Liège	80 - 240	0.03 - 0.04	1512
Polysterene	10 - 50	0.03 - 0.04	1404
Eucalyptus	200 - 500	0.06 - 0.15	817.02

La conductivité thermique mesure la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Des valeurs de conductivité thermique plus faibles indiquent une meilleure performance d'isolation. Le liège, avec sa structure cellulaire unique et sa composition naturelle, offre d'excellentes propriétés d'isolation thermique. Il emprisonne efficacement les poches d'air, entravant le transfert de chaleur et entraînant des valeurs de conductivité thermique plus faibles. Le polystyrène, en particulier le polystyrène expansé (EPS), est également connu pour ses bonnes capacités d'isolation, mais présente généralement une conductivité thermique plus élevée que le liège. L'eucalyptus, bien qu'il ne soit pas aussi largement utilisé pour l'isolation thermique, a des valeurs de conductivité thermique intermédiaires qui peuvent fournir des performances d'isolation raisonnables.

## 5.2 Résistance à la Compression :

Tableau VI: Résistance des différent matériaux.

Matériau	Liège	Polysterene	Eucalyptus
Compression (MPa)	0.1 -15	0.2 - 0.7	40 - 90 MPa

La résistance à la compression fait référence à la capacité d'un matériau à résister à la pression sans réduction significative de l'épaisseur ni perte des propriétés isolantes. En termes de résistance à la compression, le polystyrène, en particulier le PSE, surpasse à la fois le liège et l'eucalyptus. Les panneaux isolants EPS ont une résistance élevée à la compression, ce qui les rend adaptés aux applications où le matériau isolant peut-être soumis à des charges importantes. Alors que le liège peut résister à des forces de compression modérées sans perte significative de propriétés isolantes, l'eucalyptus, étant un matériau naturel, peut présenter une résistance à la compression plus faible.

## 5.3 Résistance à la flexion :

Tableau VII: Résistance a la flexion des diffèrent matériaux.

Matériau	Liège	Polysterene	Eucalyptus
Rf (MPa)	2 - 20	20 - 60	60 - 100 .

La résistance à la flexion est une propriété mécanique cruciale qui détermine la capacité d'un matériau à résister aux charges appliquées sans ne se casser ni se déformer. Le polystyrène se distingue en termes de résistance à la flexion, car il est rigide et possède une grande intégrité structurelle. Les panneaux isolants en polystyrène expansé (EPS) offrent une excellente résistance à la flexion, ce qui les rend adaptés aux applications nécessitant des capacités de charge. D'autre part, le liège et l'eucalyptus ont une résistance à la flexion inférieure à celle du polystyrène. Alors que le liège présente un certain niveau de flexibilité et peut résister aux forces de flexion dans ses limites, l'eucalyptus, étant un matériau naturel, peut avoir une résistance à la flexion encore plus faible.

- En résumé, lorsque l'on compare des matériaux d'isolation thermique à base de liège et à base de polystyrène, plusieurs facteurs doivent être pris en compte. Le liège présente une conductivité thermique plus faible, ce qui en fait un isolant efficace. Cependant, le polystyrène a une résistance à la flexion et à la compression plus élevée, offrant un meilleur support structurel et une meilleure durabilité. Le choix entre le liège et le polystyrène dépend des exigences spécifiques du projet, en tenant compte de facteurs tels que les performances d'isolation souhaitées, la résistance mécanique et l'environnement dans lequel l'isolant sera utilisé.
- Il est important de noter que les deux matériaux ont leurs avantages et leurs applications. Le liège est une option durable et respectueuse de l'environnement, car il s'agit d'une ressource renouvelable. Le polystyrène, bien qu'il ne soit pas aussi écologique, offre d'excellentes performances d'isolation et de durabilité. En fin de compte, la sélection du matériau d'isolation thermique doit être basée sur une évaluation complète des besoins du projet, y compris l'efficacité thermique, les exigences mécaniques, l'impact environnemental et la rentabilité.

---

## **6 Amélioration et perspectives :**

### **6.1 Composition du matériau :**

**a. Liants naturels :** Incorporer des liants naturels tels que des résines biologiques ou de la lignine peut améliorer les propriétés de cohésion des fibres d'eucalyptus. Cela améliore la résistance globale et la stabilité du matériau isolant, lui permettant de résister aux forces de compression et de maintenir ses performances d'isolation au fil du temps.

**b. Additifs :** Introduire des additifs tels que des aérogels ou des charges nano-particulaires peut améliorer la résistance thermique de l'isolant à base d'eucalyptus. Ces additifs peuvent réduire les ponts thermiques et améliorer la capacité du matériau à emprisonner et à résister au transfert de chaleur, ce qui entraîne une conductivité thermique améliorée.

### **6.2 Optimisation de la densité :**

**a. Ajustement des paramètres de fabrication :** Adapter des facteurs tels que la pression de compactage, le temps de durcissement et la température lors du processus de fabrication peut contrôler la densité de l'isolant à base d'eucalyptus. Trouver la plage de densité optimale pour l'application spécifique peut améliorer ses performances d'isolation thermique.

**b. Analyse microstructurale :** Effectuer une analyse microstructurale, telle que la microscopie électronique à balayage, peut aider à comprendre la répartition de la densité au sein du matériau isolant. Cette analyse peut identifier les zones de faible densité ou les vides, permettant d'ajuster les processus de fabrication pour obtenir une répartition de densité plus uniforme.

### **6.3 Traitement de surface :**

**a. Revêtements :** Appliquer des revêtements à la surface de l'isolant à base d'eucalyptus peut fournir une protection supplémentaire contre l'humidité, le feu et les rayonnements UV. Ces revêtements peuvent améliorer la durabilité du matériau et sa résistance aux facteurs environnementaux, assurant des performances constantes au fil du temps.

**b. Stratifiés :** Incorporer des stratifiés, tels que des barrières d'humidité ou des feuilles réfléchissantes, à la surface du matériau isolant peut améliorer sa résistance à l'humidité et augmenter

---

sa réflectivité thermique. Cela peut améliorer les performances globales d'isolation thermique et l'efficacité énergétique du système.

#### **6.4 Techniques de fabrication améliorées :**

**a. Moulage par compression :** Utiliser des techniques de moulage par compression peut permettre d'obtenir une densité de matériau plus uniforme et de réduire la présence de vides ou de zones fragiles au sein de l'isolant à base d'eucalyptus. Cela garantit des performances d'isolation cohérentes et améliore sa résistance mécanique.

**b. Processus d'extrusion :** Mettre en œuvre des processus d'extrusion peut permettre la production de matériaux isolants à base d'eucalyptus sous différentes formes, telles que des feuilles ou des panneaux. Cela offre une plus grande polyvalence dans les applications et facilite l'installation.

#### **6.5 Optimisation de l'épaisseur :**

**a. Analyse de la conductivité thermique :** Effectuer une analyse de la conductivité thermique sur différentes épaisseurs de l'isolant à base d'eucalyptus peut aider à identifier l'épaisseur optimale qui offre le niveau souhaité de performances d'isolation thermique. Cette analyse garantit une utilisation efficace du matériau et maximise les avantages d'économie d'énergie.

**b. Analyse coûts-avantages :** Réaliser une analyse coûts-avantages en tenant compte de l'épaisseur de l'isolation peut aider à trouver un équilibre entre l'utilisation du matériau, les économies d'énergie et la rentabilité. Cette analyse peut guider le processus de prise de décision pour sélectionner l'épaisseur la plus adaptée à l'application spécifique.

#### **6.6 Conceptions en couches multiples ou composites :**

**a. Matériaux hybrides :** Développer des matériaux hybrides en combinant les fibres d'eucalyptus avec d'autres matériaux isolants tels que le polyester recyclé ou les fibres de cellulose peut créer un effet synergique et améliorer les performances d'isolation globales. Cette approche peut maximiser la résistance thermique et la résistance mécanique tout en utilisant des matériaux durables et respectueux de l'environnement.

---

**b.** Agencement des fibres orientées : Contrôler l'orientation des fibres d'eucalyptus au sein du matériau isolant peut influencer ses propriétés mécaniques. En alignant les fibres dans des directions spécifiques, par exemple dans une structure sandwich, on peut optimiser la résistance et la résistance aux forces de flexion du matériau.

### **6.7 Contrôle qualité et tests :**

**a.** Procédures de test standard : Mettre en œuvre des procédures de test standard, telles que les normes ASTM ou ISO, peut garantir une qualité et des performances cohérentes de l'isolant à base d'eucalyptus. Des tests réguliers des propriétés telles que la conductivité thermique, la résistance à la flexion et la résistance à la compression peuvent fournir des données précieuses pour le contrôle de la qualité et l'amélioration.

**b.** Évaluation des performances à long terme : Effectuer des évaluations des performances à long terme en surveillant les performances du matériau isolant sur une période prolongée peut valider sa durabilité et ses propriétés d'isolation. Ces données peuvent guider les améliorations futures des processus de fabrication ou des compositions de matériaux si nécessaire.

### **6.8 Recherche et développement :**

**a.** Exploration de nouvelles techniques de traitement : Investir dans la recherche et le développement pour explorer de nouvelles techniques de traitement, telles que l'impression 3D ou la nanotechnologie, peut ouvrir de nouvelles possibilités pour améliorer les performances de l'isolation à base d'eucalyptus. Ces techniques peuvent offrir un contrôle préc.



---

## **Conclusion générale :**

Notre étude était basée sur la prise d'un matériau vital qui est considéré comme un problème dans l'environnement et s'appuie sur lui pour créer et développer un matériau calorifuge, qui est les feuilles de l'arbre d'eucalyptus, et ceci après que nous l'avons combiné et mélangé avec un matériau adhésif en pourcentages variables pour étudier son effet du côté mécanique et thermique (pour renforcer l'isolation) Et la résistance à la flexion et la résistance à la compression, et les résultats des expériences que nous avons menées au niveau du laboratoire du Centre National pour les études et recherches intégrées du bâtiment a montré que ce matériau dans les pourcentages qui en dépendent en fait un matériau de base très important à prendre comme matériau d'isolation thermique, bien que les expériences doivent se poursuivre à travers plusieurs étapes dans cette recherche, mais les résultats sont venus d'une manière qui a prédit la naissance d'un nouveau matériau isolant qui aura un rôle majeur dans les domaines de l'industrie, de l'économie, des énergies renouvelables et de l'environnement.

En conclusion, cette étude nous a permis d'obtenir un aperçu préliminaire utile pour souligner la capacité de s'appuyer sur la calcite et de la prendre comme matériau de base en isolation thermique après les résultats qu'elle a montrés en termes de performances thermiques et mécaniques. Cependant, les résultats ne sont pas idéals pour dire que c'est un excellent isolant thermique, car la matière a encore besoin de plusieurs études et expérimentations, mais ces résultats restent prometteurs pour la suite.

Toutefois, les résultats obtenus, nous ont fourni des preuves convaincantes que l'eucalyptus peut servir de matériau de base viable pour un nouveau produit d'isolation thermique en Algérie. Nos résultats mettent en évidence les excellentes propriétés thermiques, le respect de l'environnement et l'efficacité globale de l'isolation à base d'eucalyptus. En adoptant cette innovation, l'Algérie a la possibilité de s'imposer comme un pionnier de la construction durable et des pratiques économes en énergie. Ensemble, saisissons le potentiel de l'eucalyptus et révolutionnons l'industrie de l'isolation thermique en Algérie et au-delà .

---

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1]:Marie VIEL, BAREAU, Isoler sa maison pour gagner en confort et dépenser moins, ADEME, ISBN 979-10-297-0573, 2018.
- [2]:DELAIRE, BOUCHIÉ et CORMIER, Performance énergétique : les matériaux et procédés d'isolation : Choix et mise en œuvre des matériaux et des procédés - Performances et références réglementaires , 2013
- [3] Nomadéis , Rebecca Buick , Audrey Rimbaud, «Étude sur le secteur et les filières de production des matériaux et produits bio-sourcés utilisés dans la construction (à l'exception du bois) - Partie 1 : État des lieux économique du secteur et des filières», Aout 2012 .
- [4] Marie VIEL . Le Développement de composites bio-sourcés destinés à l'isolation des bâtiments, l'Université de Rennes 1, Unité de recherche : Laboratoire de Génie Civil et de Génie Mécanique, 23 novembre 2018.
- [5]: MARIE VIEL , DUSSUD ..., «Bilan énergétique de la France pour 2016», rapport 2557-8138, Commissariat général au développement durable, Nancy , 2018.
- [6]:LIFANG LIU, HANGQIANG LI, ANDREA LAZZARETTO, GIOVANNI MANENTE, C. TONG, Q. LIU et N. LI, «The development history and prospects of biomass-based insulation materials for buildings», Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 69, p. 912–932, ISSN 1364-0321, 2017 .
- [7]:BRANCHU, M. et C. BRANCHU, Isolation thermique et acoustique : Rouleaux, panneaux, cloisons, murs et planchers, tuyauteries, survirages Ed. 1, Eyrolles, ISBN 978-2-212-13429-2. 2012
- [8]:BATARD Antoine , Modélisation du comportement thermique à long terme des panneaux isolants Sous vide : (PIV), thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes , 2017.
- [9]:SAELICES Clara Jimenez, Développement de matériaux super-isolants thermiques à partir de nanofibres de cellulose, thèse de doctorat, Université de Bretagne Sud, 2016.
- [10]:Marie VIEL, «Éco-matériaux et isolation», Techniques de l'Ingénieur, vol. TBA2125, p. 55 , 2012.
- [11] Amasyali, Kadir., Nora El-Gohar . Machine learning for occupant-behavior-sensitive cooling energy consumption prediction in office buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews ,

---

2017.