

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistre

Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهروميكانيك

Département d'automatique et électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Licence professionnelle

Domaine : Sciences et technologies,

Filière : Energies renouvelables

Spécialité : Energies renouvelables et environnement

Thème

Evaluation des performances thermiques des éco-
matériaux isolants issus de l'écosystème oasien

Présenté par : MOHAMEDI Walid

Soutenue publiquement le : 20/05/2025

Devant le jury composé de :

CHERIF SALAH
BOUSDIRA KHALIDA
BOUKHARI HAMED

Maitre-assistant B
Maitre de recherche A
Maitre-assistant B

Université de Ghardaïa
URAER – Ghardaïa
Université de Ghardaïa

Président
Encadreur
Examinateur

Année universitaire 2024/2025

Remerciements

Avant toute chose, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui m'ont accompagné et soutenu tout au long de la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Je remercie tout particulièrement mon directeur de mémoire, **Dr. BOUSDIRA Khalida**, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, et l'encadrement bienveillant dont j'ai bénéficié tout au long de ce travail. Son expertise et ses remarques pertinentes m'ont été d'une grande aide.

Je tiens également à remercier l'ensemble des enseignants et membres du corps pédagogique de ***l'Unité de recherche appliquée en énergie renouvelables URAER (Ghardaïa)*** pour la qualité de leur enseignement et leur engagement tout au long de ma formation.

Je remercie également les professionnels et intervenants rencontrés dans le cadre de ce travail, pour le temps qu'ils m'ont consacré et pour la richesse de nos échanges.

Un grand merci à mes camarades de promotion pour leur soutien, leurs encouragements, et les moments de partage qui ont enrichi cette expérience universitaire.

Enfin, je souhaite adresser toute ma reconnaissance à ma famille et à mes proches pour leur soutien inconditionnel, leur patience, et leurs encouragements constants tout au long de ces années d'études.

Résumé

Le secteur du bâtiment est le plus grand consommateur d'énergie et constitue une source majeure d'impacts environnementaux. Cela est particulièrement vrai dans le système oasien, caractérisé par l'aridité, la rareté de ses ressources, mais aussi par une richesse en énergies renouvelables (solaire, thermique et biomasse), qui peuvent être exploitées pour l'isolation écologique afin de réduire l'utilisation des énergies fossiles et les émissions polluantes.

L'étude repose sur une approche expérimentale inspirée d'une méthode thermique, et elle a pour objectif de montrer l'effet de la biomasse sur la performance de l'isolation, de vérifier l'efficacité du modèle utilisé dans les mesures, d'analyser les corrélations entre les propriétés thermo-physiques des matériaux et enfin comparer ces matériaux par rapport aux isolants existants.

Mots clé : Matériaux écologiques isolants, déphasage thermique, pouvoir isolant

ملخص:

يعد قطاع البناء أكبر مستهلك للطاقة ومصدرًا رئيسيًا للتأثيرات البيئية. وهذا ينطبق بشكل خاص على نظام الواحات الذي يتميز بالجفاف وندرة موارده، ولكن أيضًا بثروة من الطاقات المتجددة (الشمسية والحرارية والكتلة الحيوية)، والتي يمكن استغلالها للعزل البيئي من أجل تقليل استخدام الوقود الأحفوري والانبعاثات الملوثة.

تعتمد الدراسة على نهج تجريبي مستوحى من طريقة حرارية، وأهدافها هي إظهار تأثير الكتلة الحيوية على أداء العزل، والتحقق من فعالية النموذج المستخدم في القياسات، وتحليل الارتباطات بين الخصائص الحرارية الفيزيائية للمواد وأخيرًا مقارنة هذه المواد مع العوازل الموجودة.

الكلمات المفتاحية: مواد عازلة بيئية، تحول الطور الحراري، قوة العزل

Abstract:

The construction sector is the largest consumer of energy and a major source of environmental impacts. This is particularly true in the oasis system, characterized by aridity and scarce resources, but also by a wealth of renewable energies (solar, thermal, and biomass), which can be used for ecological insulation to reduce the use of fossil fuels and pollutant emissions.

The study is based on an experimental approach inspired by the flash box method. Its objectives are to demonstrate the effect of biomass on insulation performance, verify the effectiveness of the model used in the measurements, analyse correlations between the thermophysical properties of the materials, and finally, compare these materials with existing insulation materials.

Keywords: Ecological insulating materials, thermal phase shift, insulating power

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Abstract:.....	ii
Table des matières	iii
Liste des figures.....	v
Liste des tableaux	Erreur ! Signet non défini.
Liste des abréviations	vi
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Transfert de chaleur	4
1. Introduction :.....	4
2. Les modes de transfert de chaleur :.....	4
2.1. Conduction :	4
2.1.1. Régime Permanent :	5
2.1.2. Loi de la conduction :.....	5
2.2. Convection :	5
2.2.1. Loi de la convection :.....	5
2.2.2. Convection naturelle et Convection forcée :.....	6
2.2.3. Régime d'écoulement :	6
2.2.4. Concept de la couche limite dynamique et thermique :	7
2.2.5. Calcul du coefficient d'échange par convection :.....	8
2.3. Rayonnement :.....	9
2.3.1. La Loi de Rayonnement :.....	9
2.3.2. Corps noir et non noir :	9

2.3.3. Puissance échangée entre deux corps :	10
3. Conclusion :	11
4. Références bibliographiques :	11
Chapitre 2 : Isolation thermique	13
1. Introduction :	13
2. Définition de l'isolation thermique :	13
3. Historique de l'isolation thermique :	13
4. Le Rôle d'isolation thermique :	14
5. Les différents types d'isolation thermique :	14
5.1 Isolants traditionnels :	15
5.1.1 Isolants végétaux :	15
5.1.2. Isolants d'origine animale :	16
5.1.3. Isolants minéraux :	17
5.1.4. Isolants synthétiques :	17
5.2. Nouveaux Isolants :	17
5.2.1. Isolants sous vide (PIV) :	17
5.2.2. L'aérogel :	17
5.3.3. Matériaux à changement de phase (MCP) :	18
6. Avantages et inconvénients des matériaux :	18
7. La solution pour une isolation idéale :	19
8. Conclusion :	19
9. Références bibliographiques :	19
Chapitre 3 : Propriétés thermiques des matériaux isolants	22
1. Introduction :	22
2. Conductivité thermique λ :	22
3. Résistance thermique R :	22

4.	Diffusivité thermique α :.....	23
5.	Effusivité thermique b :.....	23
6.	Capacité thermique C :.....	23
7.	Chaleur Spécifique Cp :	23
8.	Déphasage :.....	24
9.	Stockage thermique :.....	24
10.	Confort thermique :.....	24
11.	Méthode Flash :.....	24
12.	Principe de méthode flash :.....	25
13.	Références bibliographiques :.....	25
	Conclusion générale	37

Liste des abréviations

D	Déphasage
DTR	Document Technique Réglementaire
T1	Température ambiante à l'intérieur de la boîte (°C)
T2	Température de la face d'échantillon non irradiée par la source de chaleur (°C)
T3	Température de la face d'échantillon irradiée par la source de chaleur (°C)
ΔT	Différence entre la température maximale atteinte et la température de départ
d2	Temps enregistré pour atteindre la température maximale au niveau de la face de l'échantillon non irradiée par la source de chaleur
d3	Temps enregistré pour atteindre la température maximale au niveau de la face de l'échantillon irradiée par la source de chaleur
Q	La quantité de chaleur échangée à travers la surface (S)
K	Le facteur de proportionnalité appelé conductivité thermique qui est une caractéristique du matériau, son unité de mesure est [W/m.K] ou [kcal/h.m.C]
S	La surface considérée [m ²]
e	Epaisseur considérée [m]
δ	Représente l'épaisseur d'un film mince du fluide adhérent à la paroi solide [m]
K_{fluide}	La conductivité thermique du fluide [W/m.K] ou [kcal/h.m.C]
h	Représente le coefficient du transfert de chaleur par convection [W/m ² .K] ou [kcal/h.m ² .C]
σ	Constante de Stefan-Boltzmann
T	Température de la surface (°K)
F_{12}	Facteur de forme entre les surfaces S1 et S2.
S	Aire de la surface (m ²)
Φ	Flux de rayonnement à grande longueur d'onde entre les surfaces S ₁ et S ₂ (W)
Nu	Nombre de Nusselt
Pr	Nombre de Prandtl
Re	Nombre de Reynolds
R	Résistance thermique (m ² . K/W)
e	Epaisseur du matériau (m)
λ	Conductivité thermique (W. m ⁻¹ .K ⁻¹)
C	Capacité thermique du matériau [J/k]
C_p	Chaleur spécifique du matériau [J/g.K]
m	Masse du matériau [Kg]
α	Diffusivité thermique du matériau (m ² /h)

Introduction Général

Introduction générale

À l'échelle mondiale, le secteur du bâtiment représente l'un des plus grands consommateurs d'énergie, avec une part estimée entre 30 % et 40 % de la consommation énergétique totale. Ce secteur est également l'un des principaux contributeurs aux impacts environnementaux d'origine anthropique, en raison notamment de l'usage intensif des ressources naturelles, de la production massive de déchets, et des émissions de gaz à effet de serre issues de l'exploitation des bâtiments.

Cette situation confère au secteur du bâtiment un potentiel de transformation majeur. En effet, des améliorations substantielles peuvent y être apportées tant sur le plan énergétique, en réduisant les consommations et en optimisant les systèmes de chauffage, de refroidissement et d'éclairage, que sur le plan environnemental, en diminuant les émissions polluantes et en favorisant des matériaux et pratiques durables.

L'un des objectifs fondamentaux de la construction d'un bâtiment est de garantir aux usagers un confort thermique satisfaisant, en les protégeant efficacement contre les conditions climatiques extérieures, telles que les fortes chaleurs estivales, les basses températures hivernales, la pluie, le vent, ou encore les rayonnements solaires et thermiques.

Pour cela, l'isolation thermique joue un rôle central. Elle vise à assurer une barrière passive mais performante contre les transferts de chaleur indésirables à travers les différentes parois du bâtiment (murs, toiture, planchers), permettant ainsi de maintenir un microclimat intérieur agréable tout au long de l'année.

C'est dans cette logique que les innovations technologiques et l'émergence de nouveaux matériaux de construction apportent des réponses concrètes, en améliorant sensiblement la performance énergétique globale et le confort thermique des bâtiments.

De plus, certains matériaux naturels, encore peu étudiés ou sous-utilisés, offrent un fort potentiel en matière d'isolation thermique. Grâce à leurs propriétés intrinsèques (faible conductivité thermique, durabilité, capacité à réguler l'humidité, etc.), ces matériaux peuvent contribuer à réduire significativement la demande énergétique, tout en s'inscrivant dans une démarche de construction écologique et durable.

Avec l'évolution constante des réglementations en matière d'efficacité énergétique et de performance environnementale, les travaux de recherche se sont multipliés, en particulier dans

le domaine de la thermique du bâtiment. L'isolation de l'enveloppe – c'est-à-dire l'ensemble des éléments qui séparent l'intérieur de l'extérieur (murs, toiture, sols) – est désormais reconnue comme un facteur clé pour limiter les déperditions énergétiques. Les études ont montré que la majorité des pertes thermiques dans un bâtiment mal isolé proviennent des murs extérieurs, des toitures et des dalles sur sol, d'où l'intérêt croissant pour l'optimisation des matériaux isolants et l'innovation dans les techniques de mise en œuvre.

Les expériences et études menées sur des bâtiments à haute performance ont confirmé que la réduction de la consommation énergétique dépend avant tout d'une conception architecturale intelligente.

En Algérie, la plupart des logements modernes manquent de considérations sérieuses en matière d'isolation thermique, ce qui entraîne d'importantes pertes d'énergie. Les bâtiments perdent facilement de la chaleur en hiver et la récupèrent rapidement en été, ce qui entraîne une consommation d'énergie excessive. La situation est d'autant plus préoccupante que ces logements sont, pour la plupart, chauffés par des énergies fossiles (gaz naturel, fioul), ce qui accentue leur empreinte carbone et les rend fortement contributeurs aux émissions de gaz à effet de serre, aggravant ainsi le phénomène du changement climatique.

Face à l'augmentation des températures à l'échelle mondiale et à la croissance continue de la demande énergétique, il devient indispensable d'adopter des concepts architecturaux et techniques innovants, fondés sur une efficacité énergétique élevée. Ces concepts doivent désormais constituer la base des pratiques de construction, pour assurer un avenir durable et résilient au secteur du bâtiment.

L'isolation thermique est un domaine à la fois complexe et vaste, dont les retombées économiques varient en fonction de la qualité des matériaux utilisés et de la nature des espaces à isoler dans le bâtiment. Ce type d'isolation joue un rôle fondamental dans l'amélioration de la qualité de vie à l'intérieur du logement, en remplissant trois fonctions principales :

- Premièrement, il améliore le confort thermique en réduisant l'effet des murs froids en hiver et des murs chauds en été, créant ainsi un environnement intérieur stable et agréable.
- Deuxièmement, il contribue à la réduction de la consommation d'énergie nécessaire au chauffage ou à la climatisation, ce qui entraîne une baisse directe des coûts d'exploitation.

- Enfin, cette diminution de la consommation énergétique permet de réduire les émissions issues de la combustion de carburants, rendant ainsi le logement plus respectueux de l'environnement et participant à la lutte contre la pollution et le réchauffement climatique.

Nous allons mener une étude expérimentale et montrer que l'énergie thermique d'un bâtiment ou d'un logement en milieu Saharien se combine souvent avec l'isolation thermique des parois comme facteur de confort.

L'objectif primordial dans ce mémoire est de faire une comparaison entre l'isolation thermique avec des matériaux écologiques à base de biomasse animale et végétale.

Le plan de notre mémoire s'articule comme suit :

- Chapitre 1 : comprend des notions fondamentales sur les modes de transfert thermique (conduction, convection et rayonnement)
- Chapitre 2 : comprend notions fondamentales sur l'isolation thermique qui comprend son importance, les types d'isolants leurs avantages et inconvénients...
- Chapitres 3 : présente les propriétés thermiques des isolants et leurs méthodes de mesures.

Chapitre 1 : Transfert de chaleur

Chapitre 1 : Transfert de chaleur

1. Introduction :

L'étude de la thermodynamique nous apprend que de l'énergie peut être transférée par interaction d'un système avec son environnement. Mais elle ne nous dit pas "ce qui est transféré" et "comment est-ce transféré".

2. Les modes de transfert de chaleur :

Il y a trois modes de transfert principaux :

- La conduction quand il existe un gradient de température au sein d'un médium.
- La convection quand on étudie les transferts entre une surface et un fluide en mouvement.
- Le rayonnement quand deux surfaces à des températures différentes sont en vue[1].

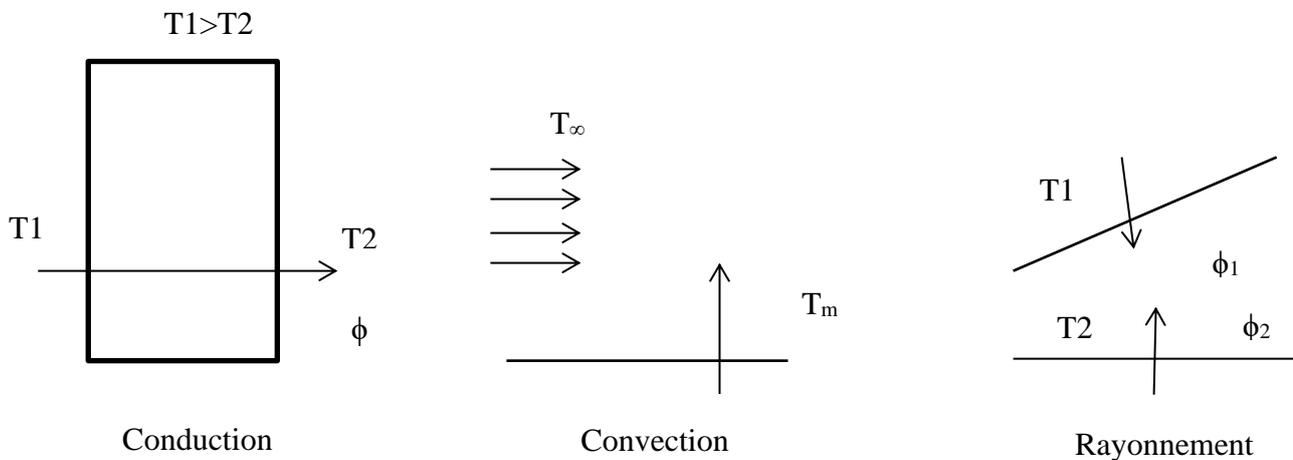


Figure 1.1: Les modes de transfert thermique [1]

2.1. Conduction :

Ce mode de transfert de chaleur se produit au sein d'une même phase – au repos ou mobile, mais tranquille (absence de remous) – en présence d'un gradient de température. Le transfert de chaleur résulte d'un transfert d'énergie cinétique d'une molécule à une autre molécule adjacente. Ce mode de transfert est le seul à exister dans un solide opaque. Pour les solides transparents,

une partie de l'énergie peut être transmise par rayonnement. Avec les fluides que sont les gaz et les liquides, la convection et le rayonnement peuvent se superposer à la conduction [2].

2.1.1. Régime Permanent :

Dans ce régime, la température est constante en fonction du temps en tout point de l'espace considéré [3].

2.1.2. Loi de la conduction :

La loi fondamentale de la transmission de la chaleur par conduction, a été proposée par le mathématicien et physicien Français, *Jean Baptiste Joseph Fourier* en 1822, elle est donnée par la formule suivante :

$$Q=K.\frac{S}{e}.(T1 - T2) \rightarrow \{1.1\}$$

Tels que ;

Q : la quantité de chaleur échangée à travers la surface (S)

K : le facteur de proportionnalité appelé conductivité thermique qui est une caractéristique du matériau, son unité de mesure est [W/m.K] ou [kcal/h.m.C]

S : la surface considérée [m²]

e : épaisseur considérée[m]

2.2. Convection :

Le phénomène de convection se réfère au transfert thermique qui a eu lieu dans les fluides liquides ou gaz en mouvement. La convection est le processus de transfert thermique déterminé par le mouvement des particules élémentaires d'un fluide entre des zones ayant des températures différentes. Ce mouvement entraîne un mélange intense des particules fluides, qui échangent de l'énergie (chaleur) et de la quantité de mouvement entre elles [4].

2.2.1. Loi de la convection :

La loi fondamentale de la convection est la loi d'*Isaac Newton (1643-1727)*, traduite par la relation expérimentale de flux de chaleur échangé par convection entre un fluide et une paroi solide. Elle est donnée par la formule suivante :

$$\Phi= h.S.(T_{chaud}-T_{froid}) \rightarrow \{1.2\}$$

$$h= K_{fluid}/\delta \rightarrow \{1.3\}$$

Tels que ;

- δ : représente l'épaisseur d'un film mince du fluide adhérent à la paroi solide [m]
- K_{fluide} : la conductivité thermique du fluide [W/m.K] ou [kcal/h.m.C]
- h : représente le coefficient du transfert de chaleur par convection [W/m².K] ou [kcal/h.m².C]

2.2.2. Convection naturelle et Convection forcée :

Selon la nature du mécanisme qui provoque le mouvement du fluide ; on distingue :

- La convection forcée dans laquelle le mouvement est provoquée par un procédé mécanique indépendant des phénomènes thermiques ; c'est donc un gradient de pression extérieur qui provoque les déplacements des particules du fluide. L'étude de la transmission de chaleur par convection est donc étroitement liée à celle de l'écoulement des fluides. La convection est dite forcée quand il existe une cause du mouvement autre que les variations de températures du fluide, cette cause étant la seule à prendre en compte en raison de son importance relative [5].
- La convection naturelle dans laquelle le mouvement du fluide est créé par des différences de densité, dues à des différences de température existant dans le fluide. Dans la convection naturelle également, le mouvement résulte de la variation de la masse volumique du fluide avec la température ; cette variation crée un champ de forces gravitationnelles qui conditionne les déplacements des particules fluide. La convection naturelle est due au contact du fluide avec une paroi plus chaude ou plus froide et qui crée des différences de masse volumique, génératrice du mouvement au sein du fluide. On retrouve dans plusieurs applications industrielles ce mode de transfert de chaleur, Par exemple, dans les échangeurs de chaleur où deux fluides en mouvement, séparés par une paroi solide s'échange de l'énergie [6].

2.2.3. Régime d'écoulement :

Compte tenu du lien entre le transfert de masse et le transfert de chaleur, il est nécessaire de considérer le régime d'écoulement.

Considérons à titre d'exemple l'écoulement d'un fluide dans une conduite :

- En régime laminaire, l'écoulement s'effectue par couches pratiquement indépendantes. Entre deux filets fluides adjacents les échanges de chaleur s'effectuent donc : par conduction uniquement si l'on considère une direction normale aux filets fluides ; par convection et conduction (négligeable) si l'on considère une direction non normale aux filets fluides (cf. figure 1.2) [7].

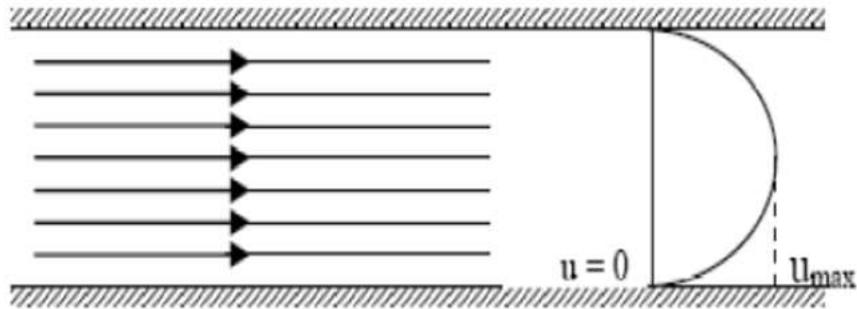


Figure 1.2: Régime d'écoulement laminaire [8]

- En régime turbulent, l'écoulement n'est pas unidirectionnel : L'échange de chaleur dans la zone turbulente s'effectue par convection et conduction dans toutes les directions. On vérifie que la conduction est généralement négligeable par rapport à la convection (cf. figure 1.3) [7].

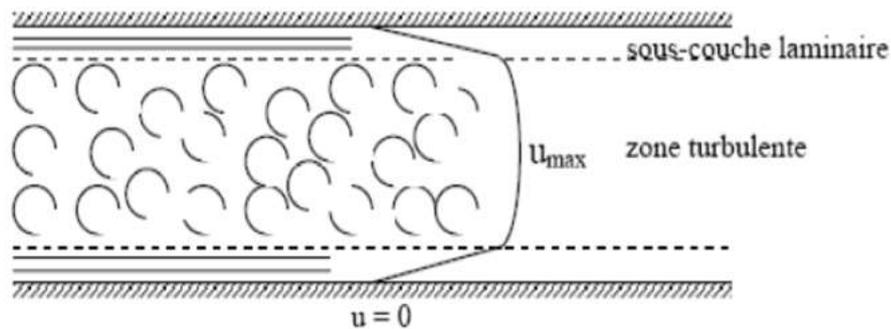


Figure 1.3: Régime d'écoulement turbulent [9]

2.2.4. Concept de la couche limite dynamique et thermique :

Le concept de la théorie de la couche limite a été introduit par Prandtl en 1904, qui a conçu et qui a donné l'idée d'une couche caractéristique des fluides dans la région juste près d'une frontière solide. Il a proposé que même pour une très faible viscosité, la condition d'adhérence devait être satisfaite à la limite solide (ce qui implique que la vitesse du fluide à une frontière solide soit la même que celle de la frontière elle-même). Ce concept donne naissance à la mécanique des fluides moderne. Un phénomène identique appelé couche limite thermique peut être également observée dans le cas d'un transfert de chaleur entre le fluide et le solide [10].

- Couche limite dynamique :

Dans cette couche on observe des forces de frottement qui freinent l'écoulement au voisinage de la paroi où la vitesse du fluide est nulle.

- **Couche limite thermique :**

Lorsqu'un fluide, de température T_∞ , s'écoule sur une paroi à température T_p , des échanges thermiques s'établissent. Les particules du fluide s'échauffent ou se refroidissent au contact de la paroi. Ces particules échangent de la chaleur de proche en proche avec leurs voisines et un gradient de température se forme (cf. figure 1.4) [11].

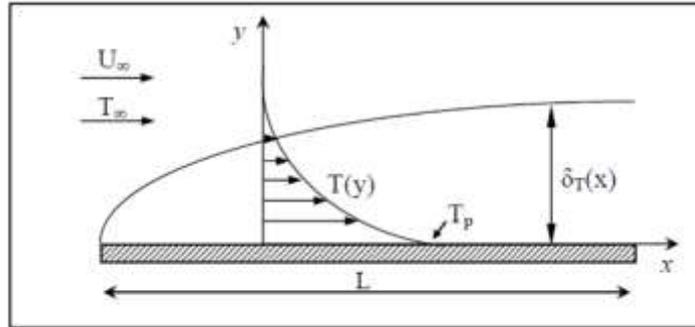


Figure 1.4: Variation de l'épaisseur et de la vitesse de la couche limite dynamique sur une paroi plane [12]

2.2.5. Calcul du coefficient d'échange par convection :

On définit les nombres sans dimension suivants :

Nombre de Nusselt

$$Nu = \frac{h.L}{\lambda} \rightarrow \{1.4\}$$

Nombre de Prandtl

$$Pr = \frac{\mu.C_p}{\rho} \rightarrow \{1.5\}$$

Nombre de Rerynolds

$$Re = \frac{\rho.U_m.L}{\mu} \rightarrow \{1.6\}$$

Les travaux expérimentaux étudiant le transfert de chaleur par convection dans une situation donnée fournissent leurs résultats sous forme de corrélations mathématiques pour les deux modes de convection (naturelle ou forcée).

Re : le nombre de Reynolds caractérise le régime d'écoulement du fluide.

Si $Re < 2000$: l'écoulement est laminaire.

Si $2000 < Re < 3000$: l'écoulement est intermédiaire.

Si $Re > 3000$: l'écoulement est turbulent.

2.3. Rayonnement :

Le rayonnement thermique est un phénomène se caractérisant par un échange d'énergie électromagnétique, sans que le milieu intermédiaire ne participe nécessairement à cet échange par exemple, le rayonnement solaire est capable d'échauffer la terre bien que le milieu traversé soit à une température plus basse que la terre [13].

2.3.1. La Loi de Rayonnement :

Le flux de chaleur rayonné par un milieu de surface (S) et de température (T) s'exprime grâce à la loi de *Joseph Stefan (1835-1893)* et *Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906)*.

$$\Phi_{\text{emis}} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot S \cdot T^4 \rightarrow \{1.7\}$$

2.3.2. Corps noir et non noir :

- Corps noir : Emission monochromatique :

$$M_{\text{O}\lambda\text{T}} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1} \rightarrow \{1.8\}$$

Tels que ;

$$C_1 = 3.742 \cdot 10^{-16} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$C_2 = 1.4385 \cdot 10^{-2} \text{ (m K)}$$

La loi de Planck permet de tracer les courbes isothermes représentant les variations de $M_{\text{O}\lambda\text{T}}$ en fonction de la longueur d'onde pour diverses températures (cf. figure 1.5) :

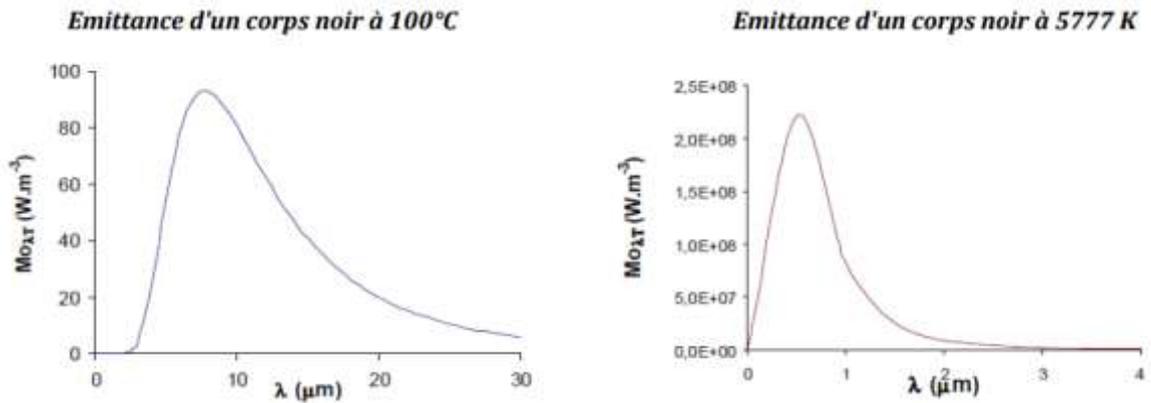


Figure 1.5: Emittance monochromatique d'un corps noir à deux températures différentes [14]

- Corps non noir : On définit les propriétés émissives des corps réels par rapport aux propriétés émissives du corps noir dans les mêmes conditions de température et de longueur d'onde et on les caractérise à l'aide de coefficients appelés facteurs d'émission ou émissivités. Ces coefficients monochromatiques ou totaux sont définis par :

$$\varepsilon_{\lambda T} = \frac{M_{\lambda T}}{M_{0\lambda T}} \quad \text{et} \quad \varepsilon_T = \frac{M_T}{M_{0T}} \quad \rightarrow \{1.9\}$$

2.3.3. Puissance échangée entre deux corps :

Entre deux corps noirs, l'un chaud (température T_1), l'autre froid (température T_2), en vis-à-vis total (c'est à dire que tout le flux émis par l'un des corps est reçu par l'autre), le flux net échangé s'écrit :

$$\Phi = \text{flux}_{\text{emis}} - \text{flux}_{\text{absorbe}} = S \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad \rightarrow \{1.10\}$$

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

Si les deux corps ne sont pas en vis-à-vis total, le flux net échangé entre deux corps s'écrit :

$$\Phi = S_1 \cdot F_{12} \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad \rightarrow \{1.11\}$$

T : température de la surface ($^{\circ}\text{K}$).

F_{12} : facteur de forme entre les surfaces S_1 et S_2 .

S : aire de la surface (m^2).

Φ : flux de rayonnement à grande longueur d'onde entre les surfaces S_1 et S_2 (W).

Où $F_{1,2}$ est un nombre appelé facteur de forme qui fait intervenir la géométrie considérée et les émissivités des deux corps.

L'évaluation des facteurs de forme, également appelés facteurs d'angle, qui sont liés aux transferts thermiques par rayonnement entre deux surfaces. Le facteur de forme F_{ij} est une quantité géométrique pure, indépendante de la nature et de la température des deux surfaces. On peut également le considérer comme la probabilité qu'un rayon provenant de la surface S_i soit intercepté par la surface S_j . Pour plusieurs surfaces, on définit le facteur de forme global entre deux surfaces S_i et S_j :

$$Q_{ij}=S_i F_{ij} \sigma (T_1^4 - T_2^4)=S_j F_{ji} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad \rightarrow \{1.12\}$$

Q_{ij} : flux de rayonnement à grande longueur d'onde entre les surfaces i et j . Si le coefficient d'émission ε du corps est différent du facteur F_{ij} , on peut admettre que :

$$F_{ij}=\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon}-1+\frac{1}{F_{ij}}+\frac{S_i(1)}{S_j(\varepsilon)}-1} \quad \rightarrow \{1.13\}$$

Les échanges par rayonnement entre deux surfaces quelconques d'un habitat mettent en jeu deux facteurs différents :

- L'angle sous lequel chaque surface est vue par l'autre.
- Leurs caractéristiques d'émission et d'absorption [15].

3. Conclusion :

Le transfert de chaleur décrit l'échange d'énergie thermique entre les systèmes physiques, en fonction de la température, en dissipant la chaleur. Ce chapitre nous a permis de faire le point sur les généralités de transfert de chaleur et les différents paramètres qui interviennent dans ce phénomène, afin de procéder et faciliter l'interprétation et la discussion des résultats.

4. Références bibliographiques :

- [1] O. Castets, « TRANSFERT DE CHALEUR », p. 47.
- [2] U. de technologie compiegne utc, « Transfert_de_chaleur », france, p. 32.
- [3] J. Fourier, « Théorie Analytique de la Chaleur », p. 30, 1822.
- [4] M. M. Benmrabet, « Modélisation et simulation des phénomènes de transfert thermique par convection assistés par le mouvement fluide », BADJI MOKHTAR ANNABA, Annaba, 2017.
- [5] Z. Aouissi, « Simulation numérique en CFD de la convection mixte autour des tubes à ailettes d'un échangeur de chaleur », Université de Biskra, Biskra, 2019.

- [6] fatma zohra KHIDER, « Amélioration de la convection mixte en utilisant des ailettes cylindriques avec des ouvertures au niveau de la base », Université de M'sila, M'sila, 2015.
- [7] S. BOUZINA, « Etude de l'effet de la géométrie des trous de brique sur le transfert thermique à travers des blocs commercialisés », Dr. YAHIA Fares de Médea, Médea, 2014.
- [8] « Statique et dynamique des fluides - Écoulement turbulent et pertes de charge ». Consulté le: 7 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: http://res-nlp.univ-le-mans.fr/NLP_C_M02_G02/co/Contenu_31.html
- [9] « Quelle est la différence entre l'écoulement laminaire et l'écoulement turbulent ? », Bronkhorst. Consulté le: 7 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.bronkhorst.com/fr-ch/blog-ch/quelle-est-la-difference-entre-le-debit-laminaire-et-le-debit-turbulent/>
- [10] K. SEGNI, « Couche limite laminaire sur une plaque plane avec aspiration et refoulement », Mohamed Khider de Biskra, Biskra, 2020.
- [11] H. BERKANE, « INFLUENCE DE L'EFFET THERMIQUE SUR LES CARACTERISTIQUES DE LA COUCHE LIMITE LAMINAIRE SUR UNE PAROI LISSE », Mohamed Khider Biskra, Biskra, 2005.
- [12] B. Lydia et B. Daoud, « Etude numérique de l'écoulement de couche limite induit par », p. 44, 06 2018.
- [13] M. Youcef, C. Mohammed, et K. Zakarya, « ÉTUDE NUMÉRIQUE ET EXPÉRIMENTALE DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UNE AILETTE CYLINDRIQUE », p. 58, juin 2021.
- [14] P. H. Mzad, « Simulation du transfert thermique lors d'un refroidissement sous buse d'injection d'une plaque hautement chauffée », BADJI MOKHTAR-ANNABA, Annaba, 2012.
- [15] M. GACEM, « Memoire-Magister_GACEM », ABOU-BEKR BELKAID-TLEMCEN, TLEMCEN, 2010.

Chapitre 2 : Isolation thermique

Chapitre 2 : Isolation thermique

1. Introduction :

L'isolation thermique permet à la fois de réduire les consommations d'énergie de chauffage et/ou de climatisation et d'accroître le confort thermique. Elle est également bénéfique pour l'environnement car, en réduisant les consommations, elle permet de préserver les ressources énergétiques et de limiter les émissions de gaz à effet de serre.

Ainsi, l'isolation thermique est intéressante en termes de protection de l'environnement, de confort et d'économies financières[1].

Dans ce chapitre, on va présenter des généralités sur l'isolation thermique des bâtiments, et quelques types d'isolants thermiques.

2. Définition de l'isolation thermique :

L'isolation thermique est l'utilisation de matériaux qui ont des propriétés qui permettent de limiter les fuites et les transferts de chaleur de l'extérieur du bâtiment vers son intérieur en été, et de l'intérieur vers l'extérieur en hiver.

- La chaleur qui pénètre les murs, les plafonds et les planchers.
- La chaleur qui pénètre les fenêtres, portes et autres ouvertures.
- La chaleur qui est transmise par les trous de ventilation.

La chaleur qui pénètre dans les murs et les plafonds pendant les jours d'été est estimée à 60-70% de la chaleur à déplacer par la climatisation. Le reste provient des fenêtres et des ouvertures de ventilation.

Le pourcentage d'énergie électrique consommée en été pour refroidir le bâtiment est estimé à environ 66 % de l'énergie électrique totale consommée. D'où l'importance de l'isolation thermique pour réduire la consommation d'énergie électrique utilisée à des fins de climatisation ; Il s'agit de réduire les fuites de chaleur à travers les murs et les plafonds pour atteindre l'objectif fonctionnel approprié pour le logement et réduire les coûts [2].

3. Historique de l'isolation thermique :

Le premier choc pétrolier en 1973 aboutit dans les climats froids et tempérés, et surtout dans les pays occidentaux, à un nouveau type de construction faisant un usage intensif de l'isolation

thermique. Sa mise en pratique impose de telles contraintes constructives que sa mise en œuvre ne se fait pas immédiatement de manière rigoureuse. Avec le Protocole de Kyoto en 1997, visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, les états s'arment d'une batterie de règlements visant à améliorer la performance énergétique des bâtiments ainsi que leur indépendance aux sources d'énergies fossiles. La conception des bâtiments prend en considération désormais les caractéristiques thermiques, et l'étanchéité à l'air du bâtiment, les équipements de chauffage et d'approvisionnement en eau chaude ; les installations de climatisation, la ventilation, ainsi que dans l'implantation la compacité et l'orientation du bâtiment, les systèmes solaires passifs et les protections solaires, l'éclairage naturel etc. La paroi devient un objet de haute technicité [3].

4. Le Rôle d'isolation thermique :

Un bâtiment mal isolé laisse s'échapper la chaleur en hiver et perd rapidement sa fraîcheur en été. Une mauvaise isolation thermique des murs peut faire perdre jusqu'à 25% de la chaleur du logement, ce chiffre atteignant 30% pour une isolation des combles faible ou inexistante. Grâce à une isolation performante, les factures de chauffage ou de climatisation liées à ces déperditions thermiques baissent drastiquement.

Ainsi, effectuer des travaux d'isolation thermique permet de réduire jusqu'à 80% les consommations d'énergie liées au chauffage. En limitant les besoins en énergie du logement, l'isolation thermique est l'accès principal aux économies d'énergie, bien avant le renouvellement des équipements de chauffage et/ou de refroidissement du logement[4].

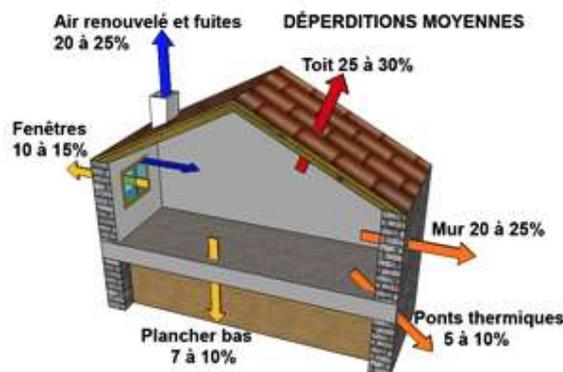


Figure 2.1:Postes de déperditions dans un bâtiment[5]

5. Les différents types d'isolation thermique :

La bibliographie a révélé deux types d'isolants : les isolants traditionnels et les nouveaux isolants comme l'indique la figure 2.2 :

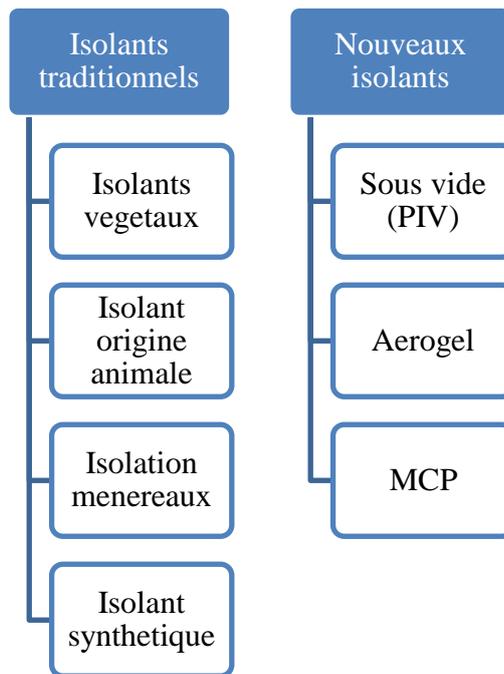


Figure 2.2: Types d'isolants

5.1 Isolants traditionnels :

5.1.1 Isolants végétaux :

a) Lin de bois :

Le bois comme isolant se présente également sous différentes formes : laine de bois (panneau Semi-rigide, en vrac...), panneau de fibres de bois rigides ou encore des fibres de bois avec enrobage de plâtre et ciment. Les déchets des scieries sont la matière première du panneau de bois. Les fibres sont pressées et séchées pour donner des produits à fibres tendres ou dures. La fabrication se fait naturellement. Ces panneaux peuvent être posés pour la toiture et les murs.

b) Liège expansé :

Le liège expansé ou « liège noir » est issu du chêne liège de méditerranée d'au moins 30 ans d'âge. Pour sa fabrication, seule l'écorce est utilisée. La récolte se fait tous les 7 ou 8 ans. Une fois l'écorce du chêne liège récoltée, elle est réduite en granules. Ces dernières sont chauffées à 300°C avec de la vapeur d'eau pour qu'elles se dilatent et s'agglomèrent entre elles. Les granules de l'écorce du liège se collent alors grâce à l'action de leur propre résine (la subérine). Il est utilisé depuis plus de 150 ans en isolation thermique.

c) Chanvre :

Le chanvre est une plante annuelle d'origine végétale utilisée depuis près de 1000 ans en France. Le chanvre est un matériau qui peut être mis en œuvre seul ou avec d'autres matériaux comme le lin, la chaux, le sable, la terre, le béton... La laine de chanvre est issue de la fibre contenue dans la tige.

La paille de chanvre est séchée et découpée, pour former des tranches de différentes tailles. Les fibres de chanvre sont ensuite défibrées mécaniquement, affinées, calibrées puis thermo-liées avec d'autres fibres servant de liant. La cuisson en four à 1300°C permet aux fibres naturelles et synthétiques de se coller entre elles. Les fibres de faible densité seront utilisées pour la confection de rouleaux, et les plus fortes pour la confection de panneaux.

5.1.2. Isolants d'origine animale :

a) Laine de mouton :

La laine de mouton est un matériau naturel, transformé. Elle possède des caractéristiques bénéfiques à l'isolation thermique et phonique des bâtiments. La laine de mouton est fabriquée à base de laine de moutons d'élevage. En effet, les moutons sauvages possèdent une laine de moindre qualité que les moutons d'élevage car celle-ci est plus courte. Après la tonte, la laine est lavée pour lui retirer toutes les impuretés. On procède ensuite au triage, au cardage (démêlage), puis on forme un matelas.

L'isolant en laine de mouton est composé de 80 % de fibres de laine, et de 20 % de fibres polyester thermo fusibles lorsqu'il est conditionné en panneaux ou en rouleaux.

b) Laine de plumes de canards :

La plume de canard est réputée pour ses excellentes propriétés thermiques, particulièrement dans le secteur de la literie. Sa remarquable capacité d'isolation en fait également un matériau intéressant pour le bâtiment, permettant ainsi de valoriser les sous-produits d'abattoir, notamment les plumes longues, inadaptées à la literie (Gallauziaux et Fedullo, 2011). L'isolant est élaboré à partir d'un mélange composé de 70 % de plumes de canard, 10 % de laine de mouton et 20 % de fibres de polyester. Pour préserver la qualité des plumes, leur transformation doit avoir lieu dans les 24 heures suivant l'abattage. Les plumes sont soigneusement lavées, désinfectées grâce à un traitement antifongique et antimite, séchées, puis associées aux fibres de polyester et à la laine de mouton. L'ensemble est ensuite nappé et thermo lié dans un four [6].

5.1.3. Isolants minéraux :

a) Laine de Roche :

Produit à partir de roche volcanique, elle offre une isolation thermique et acoustique supérieur[7].

b) Liane de verre :

La laine de verre est fabriquée essentiellement à partir de fragments de verre, et un complément de sable pur[8].

5.1.4. Isolants synthétiques :

a) Polystyrène expansé :

Le polystyrène expansé c'est un matériau alvéolaire rigide, peu dense, dont les principales utilisations sont l'isolation thermique des bâtiments et l'emballage des produits industriels ou alimentaires[9].

b) Polystyrène extrudé :

La résistance mécanique est élevée de ce matériau en panneaux le destine à être utilisé dans le cas des isolants enterrés sous forte charge (dalle, terrasse, toiture...)[10].

c) Polyuréthane :

Le polyuréthane est un polymère d'uréthane. Il se retrouve sous de multiples formes : élastomère ; thermoplastique ; mousse souple et rigide ; peintures.... Il est par conséquent utilisé dans des domaines très variés, allant des bâtiments à l'automobile en passant par les textiles, les revêtements sols ou encore l'électronique[11].

5.2. Nouveaux Isolants :

5.2.1. Isolants sous vide (PIV) :

Les Isolants sous vide (PIV) sont un assemblage de plusieurs composants et non pas un matériau homogène unique. Ils sont constitués d'un matériau de cœur maintenu sous vide dans une enveloppe aussi appelée Im ou complexe barrière[12].

5.2.2. L'aérogel :

Les aérogels sont des matériaux dérivés de gels pour lesquels la phase liquide a été remplacée par une phase gazeuse. Le gaz utilisé, généralement l'air, est introduit de manière à limiter au maximum les dégradations structurales. Ils ont une porosité très élevée (> 90 %), une faible

densité apparente et une grande surface spécifique. Ils forment une classe de matériaux présentant un fort potentiel pour une large gamme d'applications en raison de leurs bonnes propriétés mécaniques, optiques et thermiques[13].

5.3.3. Matériaux à changement de phase (MCP) :

Les MCP, appelés matériaux à changement de phase, sont des éléments de stockage de chaleur latente lors du processus de fusion et de sa restitution pendant la solidification en conservant une température constante[14].

6. Avantages et inconvénients des matériaux :

Chaque isolant possède des propriétés nocives et bénéfiques.

Tableau 2.1: Avantage et inconvénient des isolants [15]

	Avantages	Inconvénients
Isolants traditionnels	<ul style="list-style-type: none"> - Performance thermique éprouvée - Prix abordable - Facilité d'approvisionnement - Durabilité - Normes connues - Renouvelable. sauf (Minérale) - Adapté aux milieux humides 	<ul style="list-style-type: none"> - Impact environnemental élevé - Risques pour la santé - Difficulté de recyclage - Moins performants en été
Nouveaux isolants	<ul style="list-style-type: none"> - Impact environnemental réduit - Confort hygrothermique - Bonne performance thermique - Confort d'été - Moins nocifs pour la santé - Valorisation de déchets 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût souvent plus élevé - Disponibilité variable - Pose plus délicate - Sensibilité à l'humidité - Durabilité variable

7. La solution pour une isolation idéale :

Pour obtenir une isolation idéale, il faut donc allier plusieurs types de matériaux de façon complémentaire pour profiter des avantages de chacun et offrir un confort thermique optimal [16] :

- *En extérieur* : des matériaux à haute densité et haute capacité thermique qui gardent la fraîcheur en été.
- *En intérieur* : des matériaux isolants (faiblement conductifs) plus légers et moins denses pour maintenir la chaleur en hiver.

8. Conclusion :

De nos jours, l'isolation thermique est utilisée pour éviter les périodes chaudes, ensoleillées et même froides. Des tests doivent donc être réalisés pour améliorer le confort thermique. Pour obtenir une bonne isolation, nous utilisons des isolants traditionnels. et Avec le développement, de nouveaux isolants sont apparus. Par conséquent, avant de construire une maison, il faut prendre en considération le modèle de construction afin d'améliorer le confort thermique.

9. Références bibliographiques :

- [1] C.-S. Amel-Zoulikha, « Filière : Électrotechnique Spécialité : Energie et environnement », p. 49, juin 2022.
- [2] M. Y. Mostefaoui, M. M. Ouail, et Y. Chiba, « MISE EN OEUVRE D'UN NOUVEAU MATERIAU DE L'ISOLATION THERMIQUE DU BATIMENT », p. 72, 2023 2022.
- [3] S. Widad et K. Aicha, « Thème : Une étude bibliographique sur optimisation thermique cas : un bâtiment réhabiliter R+2 », p. 122, juin 2015.
- [4] « PDF ». Consulté le: 21 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://enersens.eu/wp-content/uploads/2020/07/Lisolation-thermique-du-b%C3%A2timent-Enersens-2016.pdf>
- [5] energie info, « Guide_des_materiaux_isolants », n° 0 800 503 893, p. 30.
- [6] N. Mati-Baouche, « Conception d'isolants thermiques à base de broyats de tiges de tour- nesol et de liants polysaccharidiques », Blaise Pascal, 2015.

- [7] A. Zorgati et R. Gharbi, « Les Isolants Minéraux | PDF | Isolation thermique | Écomobilité », p. 9, Consulté le: 27 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.scribd.com/presentation/694758912/Les-Isolants-Mineraux>
- [8] INFO-FICHES ECO-CONSTRUCTION POUR PARTICULIERS, « ISOLATION THERMIQUE ET ACOUSTIQUE: OPTER POUR DES MATÉRIAUX SAINS PRÉSENTANT UN ÉCOBILAN FAVORABLE », p. 12, Consulté le: 27 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/IF_Eco_construction_MAT14_Part_FR.PDF
- [9] E. B. BENSEGHIRA, « Etude de l'isolation thermique d'un local situé dans la région de Ouargla (sud -est de l'Algérie) », KASDI MERBAH -Ouargla, Ouargla, 2014.
- [10] W. Ogodri, « Isolants Synthétiques | PDF | Isolation thermique | Polystyrène ».
- [11] N. Aouissi et H. Berrekai, « Elaboration et comportement thermique de composites a base de polyurethane commercial », 08 mai 45 Guelma, Guelma, 2017.
- [12] A. Batard, « Modélisation du comportement thermique à long terme des panneaux isolants sous vide: (PIV) », p. 115, févr. 2017.
- [13] C. J. Saelices, « Développement de matériaux super-isolants thermiques à partir de nanofibres de cellulose », Bretagne Sud, 2016.
- [14] N. Madjoudj et K. Imessad, « Matériau à changement de phase au service de la bioclimatique », *J. Ren. Energies*, vol. 19, n° 4, p. 647-662, oct. 2023, doi: 10.54966/jreen.v19i4.601.
- [15] A. Rhone, « Guide des matériaux isolants pour une isolation efficace et durable ». Info Energie.
- [16] « Qu'est ce que l'isolants thermique ». Ecologue Qualite Service.

Chapitre 3 : Propriétés thermiques des matériaux isolants

Chapitre 3 : Propriétés thermiques des matériaux isolants

1. Introduction :

L'évaluation des propriétés thermiques est essentielle pour sélectionner un isolant adapté. Elle inclut notamment la plage de températures supportée, la conductivité thermique (λ), la résistance thermique (R), la diffusivité thermique (α), l'effusivité thermique (b), la capacité thermique (C), la chaleur Spécifique (Cp), le déphasage (D), le stockage thermique, le confort thermique, qui ensemble déterminent la performance isolante d'un matériau. Pour faire quelque mesure nous utilisons la méthode de boîte[1].

2. Conductivité thermique λ :

La conductivité thermique λ , exprimée en W/m.°C ; indique la quantité de chaleur qui traverse 1 mètre d'épaisseur d'un matériau. Elle montre si le matériau laisse passer la chaleur facilement ou, au contraire, s'il l'empêche de passer. Cela permet de comparer l'efficacité de plusieurs matériaux ayant la même épaisseur, avec seulement 1 degré de différence de température entre les deux côtés [2].

3. Résistance thermique R :

La Résistance thermique R est utilisée pour quantifier le pouvoir isolant des matériaux pour une épaisseur donnée. La valeur de la résistance thermique d'un morceau de matériau peut se concevoir comme étant la différence de température nécessaire pour produire au travers du morceau une unité d'écoulement de chaleur par unité de surface [3]. La Résistance thermique R est donnée par l'équation :

$$R = \frac{e}{\lambda} \rightarrow \{1\}$$

Tels que ;

- R : Résistance thermique (m². K/W)
- e : Epaisseur du matériau (m)
- λ : Conductivité thermique (W. m⁻¹.K⁻¹)

4. Diffusivité thermique α :

La diffusivité thermique α exprimé en (m²/h) correspond à la vitesse d'avancement d'un front de chaleur à travers le matériau. La diffusivité thermique α est donnée par l'équation :

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho.C} \rightarrow \{2\}$$

5. Effusivité thermique b :

L'effusivité thermique b exprimée en (W/cm²)^{1/2}, représente la capacité d'un matériau à absorber un flux de chaleur instantané [4]. Elle est donnée par l'équation :

$$b = \sqrt{\lambda. \rho. C} \rightarrow \{3\}$$

6. Capacité thermique C :

La capacité thermique d'un matériau C est la quantité de chaleur mise en réserve lorsque sa température augmente de (1°C) ou (1K). C est une grandeur extensive, plus la quantité de matière est importante plus la capacité thermique est grande [5]. La capacité thermique d'un matériau C est donnée par l'équation :

$$C = C_p. m \rightarrow \{4\}$$

Tels que :

C : Capacité thermique du matériau [J/k]

C_p : Chaleur spécifique du matériau [J/g.K]

m : Masse du matériau [Kg].

7. Chaleur Spécifique C_p :

La chaleur spécifique C_p est déterminée par la quantité d'énergie à apporter par échange thermique pour élever d'un kelvin la température de l'unité de masse d'une substance. Cette quantité d'énergie est absorbée ou restituée par des réactions endothermiques ou exothermiques pour des transformations physiques et chimiques dans le matériau [6]. Elle est donnée par l'équation :

$$C_p = \frac{\lambda}{\rho.a} \rightarrow \{5\}$$

Tels que :

α : diffusivité thermique du matériau (m^2/h)

8. Déphasage :

Une des conséquences de l'inertie thermique, le déphasage (exprimé en heures) est le décalage entre le moment où le matériau est soumis à une source de chaleur et le moment où il restitue la chaleur de l'autre côté du matériau.

En faisant varier l'épaisseur du matériau, on fait varier le déphasage. Plus un matériau est isolant ou à inertie thermique importante, plus il déphase[7].

$$D = \frac{1.38e}{\sqrt{\alpha}} \rightarrow \{6\}$$

9. Stockage thermique :

Le stockage de l'énergie est l'action qui consiste à placer une énergie a un endroit donné par faciliter pour son exploitation immédiate on future. Par son importance dans notre civilisation grande consommatrice d'énergie, le stockage d'énergie est une priorité économique. Il concourt à l'Independence énergétique, c'est-à-dire à la capacité d'un pays à satisfaire par lui-même ses besoins énergétiques. De ce fait, le stockage d'énergie est souvent l'objet d'une attention particulière de la part des pouvoirs politique, surtout dans les pays fortement dépendant de l'étranger.

Par extension le terme « Stockage d'énergie » est souvent utilisé pour d'écrire le stockage de la matière qui produira cette énergie [8].

10. Confort thermique :

Tout d'abord, il est essentiel de limiter les apports thermiques, qu'ils soient solaires ou internes. Au-delà d'une bonne isolation de l'enveloppe du bâtiment, le zonage thermique ainsi que la conception géométrique de l'enveloppe jouent un rôle crucial dans la stabilisation de la température intérieure durant la saison chaude.

La stratégie estivale repose sur le principe de maintien du frais et s'articule autour de cinq actions fondamentales : éviter, protéger, minimiser, dissiper et refroidir. Pour cela, le concepteur doit exploiter au maximum les éléments favorisant le confort thermique à travers des stratégies adaptées et des principes de conception spécifiques à l'espace habité [9].

11. Méthode flash :

La méthode flash, est une méthode usuellement utilisée pour la mesure de la diffusivité thermique des matériaux. L'idée consiste à solliciter un échantillon, d'épaisseur L et semi-infinie

radialement, sur sa face avant par une excitation impulsionnelle $\delta(t)$, spatialement de forme gaussienne, de rayon R . On mesure ensuite sa réponse impulsionnelle en température sur la surface irradiée. L'échantillon est supposé être homogène, isotrope et opaque (cf. figure 3.1) [8].

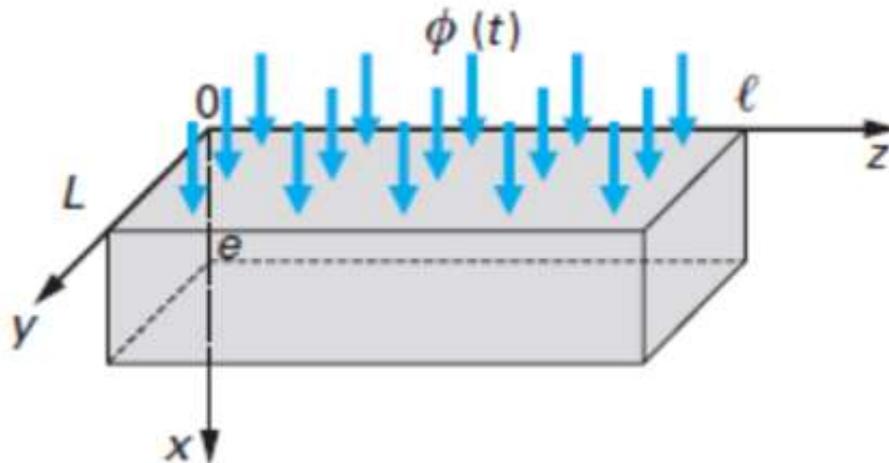


Figure 3.1: Principe de la méthode flash [10]

12. Principe de méthode flash :

Dans son principe, cette méthode impulsionnelle consiste à soumettre la face avant d'un échantillon plan à une impulsion de flux de chaleur de courte durée et à observer l'évolution temporelle de la température (appelée thermogramme) en un ou plusieurs points de l'échantillon [10].

13. Références bibliographiques :

- [1] Ar, *MATÉRIAUX-ET-PROPRIÉTÉS*. in TIAC Guide French 2013, no. Mp-0 / Mp-11. Microsoft word. Consulté le: 1 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://tiac.ca/wp-content/uploads/2015/12/MATE%CC%81RIAUX-ET-PROPRIE%CC%81TE%CC%81S.pdf>
- [2] energie info, « Guide_des_materiaux_isolants », n° 0 800 503 893, p. 30.
- [3] C. J. Shirliffe, « Résistance thermique de l'isolant de bâtiments », *Digeste de la construction au Canada*, vol. CBD-149F, janv. 1974, doi: 10.4224/40001024.
- [4] « CH 3_Quelques notions sur la thermique du bâtiment ».
- [5] N. Harch, « etude_comparative_sur... » 23 juin 2018.

- [6] van T. Nguyen, « Comportement des bétons ordinaire et à hautes performances soumis à haute température: application à des éprouvettes de grandes dimensions. », p. 171, juill. 2019.
- [7] S. M. E. A. Bekkouche, T. Benouaz, et A. Cheknane, « Etude par simulation de l'effet d'isolation thermique d'une pièce d'un habitat dans la région de Ghardaïa », *J. Ren. Energies*, vol. 10, n° 2, nov. 2023, doi: 10.54966/jreen.v10i2.791.
- [8] G. mr et A. Mer, « Etude d'un stockage thermique mixte (chaleur sensible et chaleur latente) », De Blida, Blida, 2013.
- [9] « Quelques notions sur la thermique du bâtiment », in *Quelques notions sur la thermique du bâtiment*, p. 67-83.
- [10] H. Bruno, « Mesure de la diffusivité thermique par la méthode flash », p. 19.

[1] S. M. E. A. Bekkouche, T. Benouaz, et A. Cheknane, « Etude par simulation de l'effet d'isolation thermique d'une pièce d'un habitat dans la région de Ghardaïa », *J. Ren. Energies*, vol. 10, n° 2, nov. 2023, doi: 10.54966/jreen.v10i2.791.

[2] « Document Technique Réglementaire (D.T.R. C 3-2) ».

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre mémoire a porté sur l'étude des performances thermiques d'éco matériaux isolants issus de l'écosystème oasien et nous permis de tirer les conclusions suivantes :

Contributions

- Etude des performances d'isolation thermique de différents matériaux locaux écologiques par l'utilisation d'un prototype conçu par l'unité de recherche appliquée en énergies renouvelables – Ghardaïa sur les matériaux écologiques par la détermination des déphasages thermiques
- Comparaison des propriétés isolantes des écomatériaux conçus avec les isolants conventionnels
- Etude des corrélations entre les différents paramètres thermophysiques des isolants écologiques.

Critique du travail

En raison de la limitation du temps imparti pour la réalisation de la partie expérimentale, les proportions de la biomasse et le nombre d'essais étaient insuffisants pour déterminer la composition optimale des isolants écologiques considérés.

Travaux futurs de recherche

Envisager d'autres travaux sur des matériaux locaux écologiques n'ayant pas encore fait l'objet d'étude sur leur pouvoir isolant thermique.

L'étude d'autres propriétés thermophysiques influant sur le pouvoir isolant

Perspective

L'étude des performances thermiques isolantes des écomatériaux développés dans différents systèmes énergétiques notamment dans les zones arides et semi arides.

Annexe

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Université de Ghardaïa
Faculté des Sciences et de la Technologie

جامعة غرداية
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم : الآلية والكهروميكانيك
شعبة : طاقات متجددة
تخصص : طاقات متجددة و بيئة

غرداية في : 2025/05/20

انا الأستاذة بوسديرة خليدة

بصفتي المشرف المسؤول عن تصحيح مذكرة تخرج (ليسانس/ماستر/دكتورا) المعنونة ب:

Evaluation des performances thermiques des éco-matériaux isolants issus de l'écosystème oasien

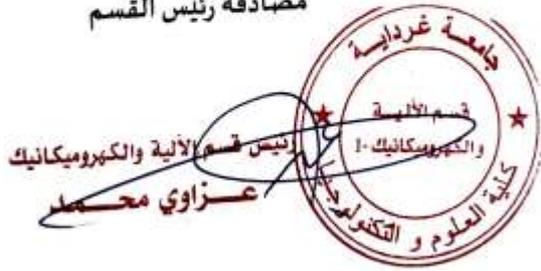
من انجاز الطالب :

محمد وليد

التي نوقشت/قويت بتاريخ : 20 ماي 2025

اشهد ان الطالب/الطالبة قد قام /قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة المناقشة وقد تم التحقق من ذلك من طرفنا وقد استوفت جميع الشروط المطلوبة .

مصادقة رئيس القسم



امضاء المسؤول عن التصحيح