

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université BLIDA 1

Faculté de Technologie



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : Gestion Durable des Déchets et Procédés de Traitement

Intitulé du mémoire

**Etude d'un matériau isolant à base de déchets textiles pour
l'isolation thermique des capteurs solaires**

Encadré par :

Encadreur : M.BENAOUDA Nour-Eddine

Co-Encadreur: M.BOURAS Omar

Présentée par :

KIDOUH Nour El Houda

MOHAMED CHNEIDRA Aicha

Promotion : 2024 / 2025

Remerciements

[Mohamed chneidra Aicha] & [Kidouh Nour Elhouda]

"Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Nos vifs remerciements s'adressent à notre encadreur académique M. BENAOUA Nour-Eddine Maître de recherche au CDER pour son accueil, son expertise, sa disponibilité et ses conseils avisés tout au long de ce projet. Ses orientations précieuses ont grandement enrichi notre réflexion sur les enjeux de valorisation énergétique.

Nous sommes très reconnaissantes aux membres du jury pour le temps consacré à la lecture et l'évaluation de ce mémoire.

Un merci particulier à nos collaborateurs du Centre de Développement des Energies Renouvelables pour leur accueil, le partage d'expériences et pour l'acquisition des données essentielles fournies dans le cadre de notre étude. Leur contribution a été déterminante pour ancrer notre travail dans une réalité opérationnelle.

À notre université, [université blida1],

Merci pour tous nos enseignants de l'université Blida1 pour les connaissances théoriques et techniques transmises tout au long de notre parcours du Master G2DPT, qui ont constitué le socle indispensable à la réalisation de ce mémoire.

À nos familles et proches, pour leurs soutiens indéfectibles, leurs encouragements et leurs patiences qui ont été nos moteurs durant ces mois de recherche intensive. Merci de nous avoir toujours porté vers l'excellence.

Enfin, ce projet a renforcé notre conviction que l'innovation dans la gestion des déchets reste un levier clé pour un avenir durable. Nous sommes fières d'y avoir contribué, ensemble.

[Mohamed chneidra Aicha] & [kidouh Nour El Houda]

ملخص

هذا العمل جزء من نهج الحفاظ على الطاقة المطبق على أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية، من خلال استخدام عناصر عازلة مصنوعة من نفايات النسيج.

تتضمن المنهجية التجريبية اختيار مادة رابطة، حيث اختير الجبس كمادة أساسية في تصنيع عينات من نفايات النسيج المعاد تدويرها. أجريت اختبارات حرارية في فرن تدفق قسري مع نفخ الهواء عند درجة حرارة تقارب 50 درجة مئوية. يتكون جهاز القياس من ثلاث أسطوانات مجوفة (بسمك 3 و 4 و 6 سم). يعتمد الجهاز على بطاقة استشعار متصلة بجهاز كمبيوتر محمول، تسجل درجات الحرارة في عدة نقاط، بما في ذلك المركز، وكذلك على الجدران الداخلية والخارجية للأسطوانة المجوفة.

خللت النتائج التجريبية باستخدام برنامج حاسوبي مُطور باستخدام برنامج إكسل، واستُخدمت لتحديد الموصلية الحرارية، والمقاومة الحرارية، والنفاذية الحرارية للمادة المدروسة. تتراوح الموصلية الحرارية للعزل المقترح، المصنوع من نفايات النسيج، بين 0.030 و 0.040 واط/م³، بينما تتراوح كثافته بين 160 و 260 كجم/م³.

الكلمات المفتاحية: العزل الحراري، النفايات النسيجية، إعادة التدوير، المجمع الشمسي، التوصيل الحراري، النقل الحراري.

Summary

This work falls within the framework of energy efficiency applied to solar thermal systems, through the use of insulating materials made from textile waste

The experimental methodology involves selecting a binding agent, for which plaster was chosen to fabricate test samples using recycled textile waste. Tests were then conducted in a forced convection oven, with blown air heated to approximately 50°C. The measurement setup, based on a data acquisition card connected to a laptop, records temperatures at multiple points, particularly at the center, as well as on the inner and outer walls of a hollow cylinder. Three hollow cylinders of different thicknesses—3 cm, 4 cm, and 6 cm—were tested under these conditions.

The experimental results were analyzed using a calculation code developed in Excel, allowing for the determination of the thermal conductivity, thermal resistance, and thermal transmission coefficient of the studied material. The thermal conductivity of the proposed textile waste-based insulation ranges between 0.030 and 0.040 W/m·K, while its density varies between 160 and 260 kg/m³.

Keywords: Thermal insulation, textile waste, recycling, solar collector, thermal conductivity, heat transmission

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'économie d'énergie appliquée aux systèmes solaires thermiques, par l'utilisation d'éléments isolants fabriqués à partir de déchets textiles.

La méthodologie expérimentale comprend la sélection d'un agglomérant, pour lequel le plâtre a été retenu en tant que matériau de base dans la fabrication d'éprouvettes à base de déchets textiles recyclés. Des essais thermiques ont été menés dans un four à écoulement forcé, avec un air soufflé à une température d'environ 50 °C. Le dispositif de mesure qui est constitué de trois cylindres creux (épaisseurs 3, 4 et 6 cm). Il est basé sur une carte d'acquisition connectée à un micro-ordinateur portable qui permet d'enregistrer des températures en plusieurs points, notamment au centre, ainsi que sur les parois interne et externe du cylindre creux.

Les résultats expérimentaux ont été analysés à l'aide d'un code de calcul développé à l'aide du logiciel Excel et ont permis de déterminer la conductivité thermique, la résistance thermique et le coefficient de transmission thermique du matériau étudié. La conductivité thermique de l'isolant proposé, issu de déchets textiles, se situe entre 0,030 et 0,040 W/m K, tandis que sa masse volumique varie entre 160 et 260 kg/m³.

Mots clés : Isolation thermique, déchets textiles, recyclage, capteur solaire, conductivité thermique, transmission thermique.

Liste des Abréviations

Abréviation	Signification
apr. J.-C.	Après Jésus-Christ
CDER	Centre de Développement des Énergies Renouvelables
ECS	Eau Chaude Sanitaire
GES	Gaz à Effet de Serre
IANOR	Institut Algérien de Normalisation
NA	Norme Algérienne
PIR	Polyisocyanurate
PSE	Polystyrène Expansé
PUR	Polyuréthane
R	Résistance thermique
RT	Résistance thermique totale
XPS	Polystyrène Extrudé

Liste des Figures

Figure I 1:Panneaux d'isolation thermique bio-composite à base de carton et de fibres de palmier dattier [28].	14
Figure I 2:Panneau isolant à partir de bois et de chaux [29].	15
Figure I 3:Photographie montrant les capteurs solaires plan.	19
Figure I 4 Un chauffage solaire à base de bouteilles	20
Figure I 5Un chauffage solaire à base de canettes de soda usagées [41].	20
Figure I 6:Flux de chaleur à travers $T_2 > T_1$	21
Figure I 7:Modèle de transfert de chaleur.	22
Figure II 1:Photographies numériques montrant les moules de différentes dimensions	26
Figure II 2:liant utilisé	26
Figure II 3:déchets textiles	26
Figure II 4:mélange de produits.	26
Figure II 5:Remplissage des moules.	27
Figure II 6:Lissage de la surface.	27
Figure II 7:Photographie montrant le lissage des échantillons 48 h à température ambiante.	28
Figure II 8:Photographies montrant l'installation des sondes.	28
Figure II 9:Traitement thermique des échantillons à 60 °C.	29
Figure II 10:Photographie montrant la chambre de chauffage constituée de panneaux sandwich isolés	30
Figure II 11:Fenêtre de saisie des données	31
Figure II 12:Fenêtre des résultats.	32
Figure III 1:Disposition des sondes de température au sein d'un cylindre creux constitué d'un matériau isolant à base de textiles recyclés et d'agglomérant.	36
Figure III 2:Evolution de la température en fonction du temps (épaisseur d'isolation 6 cm).	36
Figure III 3:Evolution des températures (T_1 , T_2 , T_3 et T_4) en fonction du temps (épaisseur d'isolation 4 cm).	37
Figure III 4:Evolution des températures (T_1 , T_2 , T_3 et T_4) en fonction du temps (épaisseur d'isolation 3 cm)	38
Figure III 5:Comparaison de T_3 en fonction de T_2 de l'épaisseur de 6cm.	39
Figure III 6:Comparaison de T_3 en fonction de T_2 de l'épaisseur de 6cm.	39
Figure III 7:Comparaison de T_3 en fonction de T_2 de l'épaisseur de 6cm.	40

Listes des Tableaux

Tableau I 1:présente les Principales Initiatives et Pratiques de l'Économie Circulaire en Algérie [10].	7
Tableau I 2Présente quelques statistiques de Déchets Textiles en Algérie [12].	8
Tableau I 3Tableau comparatif des matériaux : prix, épaisseur, valeur (λ) [27].	13
Tableau I 4Quelques Valeurs de conductivité thermique	21
Tableau I 5Valeurs typiques du coefficient de convection	23
Tableau II 1Paramètres adimensionnels	33
Tableau II 1Paramètres adimensionnels	33
Tableau III 1Données relatives à chaque cylindre	41
Tableau III 2 :Résultats de simulation	42
Tableau III 3Principales Initiatives et Pratiques de l'Economie Circulaire en Algérie	42
Tableau III 4Tableau des Valeurs de Résistance Thermique et de Transmission pour les Compositions Textiles-Plâtre.	44

Liste des Annexes

Annexe N 1 Données expérimentales	54
Annexe N 2 Représentation de la conduction transitoire unidimensionnelle d'un cylindre de rayon R_0	57

Sommaire

Table des matières

<i>Remerciements</i>	I
<i>ملخص</i>	II
<i>Liste des Abréviations</i>	IV
<i>Liste des Figures</i>	V
<i>Listes des Tableaux</i>	VI
<i>Liste des Annexes</i>	VI
<i>Sommaire</i>	VII
Introduction générale.....	B
Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique.....	2
Introduction	2
I.1 Les déchets textiles en Algérie.....	2
I.1.1 Les Déchets Industriels Textiles.....	3
I.1.2. Historique de l'industrie textile en Algérie	3
I.1.3. Sources des Déchets Industriels de Textiles	4
I.1.4. Types de Déchets Industriels de Textile	4
I.1.5. Contexte des déchets textiles en Algérie.....	5
I.1.6. Stratégies de Gestion des Déchets Textiles.....	5
I.1.7. Gestion et Recyclage des Déchets Textiles.....	6
I.1.8 Rôle de l'économie circulaire dans la gestion des déchets textiles.....	7
I.1.9. Importance du recyclage dans la réduction des déchets en Algérie	8
I.1.10 Impact Environnemental des Déchets Industriels de Textiles	9
I.2 Isolation Thermique	11
Introduction	11
I.2.1. Définition de l'isolation thermique	11
I.2.2. Types d'isolants thermiques	11
I.2.3. Propriétés des isolants thermiques	12
I.2.4. Réglementations et normes des matériaux isolants en Algérie	15
I.2.5. Capteurs solaires et leur efficacité énergétique.....	16

I.2.6. Description générale d'un capteur solaire plan.....	18
CONCLUSION	23
Chapitre II : Matériel et méthodes expérimentales	25
Introduction	25
II.1. Matériel utilisé.....	25
II.2. Préparation des échantillons.....	25
II.3. Mise en place du four à écoulement forcé.....	29
II.4. Programme Excel pour le calcul de la conduction thermique transitoire unidimensionnelle 31	
Chapitre III : Résultats & discussion.....	35
Introduction	35
III.1. Disposition des sondes de température au sein d'un cylindre creux.....	35
III.2. Mesure des températures dans les cylindres creux des essais pour différents épaisseurs d'isolation 3,4 et 6 cm	36
III.3. Evolution comparative des températures T3 en fonction de T2 selon l'épaisseur	38
III.4. Calcul de la conductivité thermique.....	41
III.5. Résultats de la détermination de la conductivité thermique.....	41
Conclusion Générale	46
Références bibliographiques	48
Les Annexes	53



Introduction générale



Introduction générale

La population mondiale est en forte croissance, donc la consommation d'énergie a augmenté à un rythme plus rapide, ce qui entraîne une demande d'énergie.

Le défi environnemental est imminent et les objectifs climatiques pour y faire face nécessitent une réduction drastique des émissions de GES. Pour ce faire, la transition énergétique implique une refonte importante des systèmes énergétiques, c'est-à-dire l'électrification et un transfert massif de la production vers les énergies renouvelables.

Dans la quête de solutions durables pour notre planète, l'efficacité énergétique se pose en pilier essentiel. Au cœur de cette démarche, l'isolation thermique émerge comme une stratégie clé, offrant un potentiel remarquable pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et alléger les factures d'énergie [1].

L'utilisation de l'énergie solaire a été l'un des principaux centres d'intérêt de nombreux ingénieurs et chercheurs au cours des derniers siècles en raison de ses nombreuses applications notamment la production d'électricité et la production d'eau chaude sanitaire.

En effet, l'Algérie se distingue par une activité industrielle textile importante, génératrice d'un volume considérable de déchets ainsi de nombreux vêtements usagés sont souvent jetés dans l'environnement. La valorisation de ces déchets textiles en tant que matériau isolant constitue donc une solution à la fois durable et innovante [2].

Parmi les 92 mégatonnes de déchets textiles produits par an, une grande partie est brûlée ou envoyée dans les décharges. Seulement 14% de ces déchets sont réutilisés ou recyclés.

Le développement d'une nouvelle méthode de recyclage des déchets textiles est indispensable à une transition vers des modèles économiques circulaires et plus durable [3].

Ce projet vise à exploiter les déchets textiles et développer un matériau isolant à partir de déchets textiles recyclés, de caractériser ses propriétés thermiques et mécaniques afin d'évaluer son efficacité, et de tester son intégration dans un capteur solaire thermique en comparant ses performances avec celles d'autres isolants conventionnels, offrant ainsi une double solution aux enjeux environnementaux et énergétiques.

Ce manuscrit est scindé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique sur le traitement thermique des textiles recyclés et les techniques d'isolation des capteurs solaires.

Le deuxième chapitre est dédié à la partie pratique sous forme 'Matériels et méthodes utilisées.

Le troisième chapitre présentera la discussion des résultats obtenus relatifs à la résistance thermique totale et de la transmission thermique des isolants textiles.



Chapitre I

Synthèse Bibliographique



Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique

Introduction

Le gouvernement algérien a pris certaines mesures pour améliorer la gestion des déchets en général, mais les initiatives concernant spécifiquement les déchets textiles sont encore rares. Néanmoins, l'Algérie a engagé des projets dans le cadre de son plan national pour la gestion des déchets et de la transition énergétique. La loi 01-19 relative à la gestion des déchets, promulguée en 2001, constitue le cadre législatif de base.

Il est également essentiel de mentionner les entreprises privées et les initiatives communautaires qui se sont lancées dans la collecte et le recyclage des déchets textiles, bien que ces efforts restent à une échelle modeste.

I.1 Les déchets textiles en Algérie

Les déchets textiles en Algérie représentent une fraction notable des déchets solides générés, bien que leur gestion et leur valorisation demeurent insuffisantes. Selon une étude menée les déchets textiles constituent environ 3 % des déchets ménagers, soit 0,03 kg par habitant et par jour.

Le décret exécutif n° 06-104 du 28 février 2006, fixant la nomenclature des déchets, classe les déchets issus de l'industrie textile comme suit :

- ✓ Matériaux composites (textile imprégné élastomère, plastomère)
- ✓ Matières organiques issues de produits naturels (par exemple, graisse, cire)
- ✓ Déchets spéciaux.
- ✓ Déchets provenant des finitions contenant des solvants organiques
- ✓ Déchets spéciaux dangereux (inflammables).

Cette classification souligne la nécessité d'une gestion appropriée de ces déchets pour éviter des risques environnementaux.

En Algérie, la valorisation des déchets textiles est encore embryonnaire. Les initiatives locales, comme le tri sélectif à la source, sont envisagées pour améliorer la gestion des déchets et favoriser le recyclage.

La gestion des déchets textiles en Algérie est un enjeu environnemental et économique majeur. En attendant que des initiatives aient été entreprises pour améliorer cette gestion, des défis subsistent [4].

I.1.1 Les Déchets Industriels Textiles

Les déchets industriels textiles constituent une catégorie de déchets générés lors de la fabrication, du traitement, du recyclage et de la distribution des produits textiles. Ces déchets représentent une part importante de la pollution industrielle dans le secteur textile et présentent des défis importants en matière de gestion, de recyclage et de durabilité.

I.1.2. Historique de l'industrie textile en Algérie

L'industrie textile algérienne a été fondée en 1966 avec la création de la société SONAC, marquant le début de la production textile nationale.

- ✓ Situation actuelle du secteur textile

Le secteur textile en Algérie est confronté à plusieurs défis majeurs :

- ✓ Importations massives : Les entreprises algériennes du textile et du cuir détiennent moins de 10 % du marché national, tandis que le reste est dominé par les importations.
- ✓ Capacité de production insuffisante : La production nationale de textile ne couvre que 5 % de la demande locale, avec 150 millions d'articles de vêtements achetés chaque année.
- ✓ Manque d'infrastructures modernes : Le secteur souffre d'un déficit en infrastructures modernes et en technologies de pointe, limitant ainsi sa compétitivité.
- ✓ Initiatives récentes et perspectives d'avenir

Les efforts sont en cours pour revitaliser l'industrie textile algérienne :

- ✓ Partenariats internationaux : Les collaborations avec des entreprises étrangères, notamment italiennes et turques, sont envisagées pour le transfert de technologies et de savoir-faire.
- ✓ Projets d'envergure : Le complexe industriel Tayal à Sidi Khattab, Relizane, est l'une des plus grandes usines de textile en Afrique, avec une capacité de production de 60 millions de mètres de tissu et 30 millions de jeans, créant ainsi 25 000 emplois.
- ✓ Objectifs d'exportation : Le secteur vise à atteindre 2 milliards d'euros d'exportations de textile et d'habillement d'ici 2022, selon les plans d'action proposés par les experts de la filière [5].

I.1.3. Sources des Déchets Industriels de Textiles

Les déchets industriels textiles proviennent de diverses étapes du processus de fabrication textile :

- Production de fibres : La première étape de la production textile génère des déchets comme les chutes de fibres, les fils cassés ou les défauts de production.
- Tissage et tricotage : La fabrication de tissus par tissage ou tricotage génère des déchets tels que les fils inutilisés, les erreurs de tricotage, les fils non conformes, et les chutes de tissu.
- Teinture et finition : Ces processus peuvent créer des déchets chimiques, des teintures résiduelles, des produits de nettoyage et des déchets solides comme les chutes de tissus non utilisés.
- Confection : La découpe des tissus pour fabriquer des vêtements ou des produits en textile génère des chutes de tissu et des erreurs de production.
- Recyclage et traitement des textiles usagés : Lors de la récupération des vêtements usagés, des fibres et matériaux sont récupérés, mais une partie reste non utilisable et devient un déchet.

I.1.4. Types de Déchets Industriels de Textile

Les déchets industriels textiles peuvent être classés selon leurs natures et leurs traitements :

- Chutes de tissu : Ce sont les morceaux de tissu qui ne sont pas utilisés pendant la coupe ou le traitement du textile. Ces chutes peuvent être réutilisées, mais une grande partie finit dans les décharges si elles ne sont pas triées ou recyclées.
- Fibres inutilisées : Ces déchets proviennent de la production de fibres, telles que les morceaux de fibres non utilisées ou les fibres coupées.
- Déchets de teinture et finition : Ce sont des restes de teintures chimiques, des solvants ou des produits chimiques utilisés pour traiter les tissus.
- Déchets de matières synthétiques : Ils proviennent de l'utilisation de fibres synthétiques, comme le polyester, le nylon, ou l'acrylique, qui peuvent être difficiles à recycler en raison de leur nature chimique.
- Déchets de production : Ce type de déchet inclut les erreurs de fabrication, les défauts de tissus, et les produits rejetés dans les lignes de production.

I.1.5. Contexte des déchets textiles en Algérie

I.1.5.1. Situation actuelle et défis

En Algérie, la gestion des déchets textiles n'est pas encore optimisée. Bien que la croissance de la consommation textile ait augmenté au cours des dernières décennies, le pays reste confronté à une faible prise en charge de ces déchets. Les principaux défis comprennent :

- Manque d'infrastructures : L'Algérie souffre d'un manque d'infrastructures dédiées à la collecte et au recyclage des déchets textiles. Il existe des entreprises spécialisées dans le recyclage des déchets industriels, mais le recyclage textile reste limité à une petite échelle.
- Absence de système de collecte structuré : La collecte des déchets textiles est encore informelle, ce qui rend difficile leur recyclage. La plupart des déchets textiles finissent dans les décharges ou sont incinérés.
- Manque de sensibilisation : La population n'est pas suffisamment sensibilisée à l'importance du tri et du recyclage des textiles, ce qui contribue à une gestion inefficace de ces déchets.
- Manque de données : Il existe un déficit dans les données relatives à la production et à la gestion des déchets textiles, ce qui empêche de mettre en place des politiques adaptées [6].

I.1.5.2. Solutions proposées et perspectives

L'Algérie pourrait adopter une approche plus systématique de la gestion des déchets textiles en favorisant la création d'infrastructures spécialisées pour leur collecte et recyclage.

Des campagnes de sensibilisation, notamment dans les écoles et les quartiers, sont essentielles pour encourager les citoyens à trier leurs déchets textiles.

De plus, l'implémentation de pratiques d'économie circulaire pourrait offrir une solution durable en favorisant le recyclage des textiles et la valorisation de ce secteur

L'industrie textile en Algérie est un secteur stratégique qui a connu diverses évolutions depuis sa création.

I.1.6. Stratégies de Gestion des Déchets Textiles

Plusieurs stratégies ont été proposées pour améliorer la gestion des déchets textiles industriels :

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

- ✓ Optimisation des processus de fabrication : Elle comprend la réduction des déchets en améliorant l'efficacité des processus de production et en minimisant les défauts de fabrication.
- ✓ Économie circulaire : L'adoption de modèles économiques circulaires permet de favoriser le recyclage, la réutilisation et la réduction des déchets textiles, contribuant ainsi à la durabilité du secteur.
- ✓ Infrastructures de recyclage : Le développement d'infrastructures modernes et l'adoption de technologies avancées pour le recyclage des textiles peuvent aider à réduire les déchets et à extraire de la valeur des matériaux usagés.
- ✓ Politiques publiques : L'adoption de politiques de gestion des déchets industriels textiles par les gouvernements, incluant des normes et des incitations fiscales, est essentielle pour encourager les pratiques de recyclage et de gestion responsable des déchets.

I.1.7. Gestion et Recyclage des Déchets Textiles

Les déchets textiles proviennent principalement des ménages, des industries du textile et de l'habillement, ainsi que des commerces de détail. La collecte, le tri et le recyclage de ces déchets sont essentiels pour réduire leur impact environnemental.

Le contexte des déchets textiles en Algérie est marqué par plusieurs défis environnementaux, sociaux et économiques [7].

Le recyclage des déchets textiles industriels est une solution clé pour réduire l'impact environnemental du secteur. Toutefois, la gestion des déchets textiles industriels pose plusieurs défis :

- Séparation des matériaux : Le recyclage des textiles nécessite de séparer les différentes fibres, notamment les fibres naturelles des fibres synthétiques. Cela demande des technologies spécifiques et coûteuses.
- Recyclage mécanique : Certains déchets de textile peuvent être recyclés mécaniquement en fibres réutilisables, utilisées pour la production de nouveaux produits textiles ou d'isolants.
- Recyclage chimique : Des techniques de recyclage chimique permettent de récupérer les fibres des textiles en dégradant chimiquement les matériaux. Ce processus est encore en développement et coûteux, mais il offre un grand potentiel pour le recyclage des fibres synthétiques.
- Réutilisation et valorisation : Certains déchets peuvent être réutilisés dans d'autres applications, comme la fabrication de produits non textiles (par exemple, des matériaux d'isolation ou des composants automobile).

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I.1.8 Rôle de l'économie circulaire dans la gestion des déchets textiles

Le recyclage des déchets textiles s'inscrit dans une démarche de développement durable, visant à préserver les ressources naturelles, réduire la pollution et favoriser l'économie circulaire [8].

Modèle économique qui vise à prolonger la durée de vie des produits, à réutiliser, réparer, recycler, et réduire les déchets afin de limiter la consommation de ressources naturelles.

L'Algérie produit environ 400 000 tonnes de déchets textiles par an (dont une grande partie provient de l'industrie du prêt-à-porter et des déchets ménagers). Cependant, le pays n'a pas encore de système structuré de recyclage textile, ce qui entraîne :

- Une forte dépendance aux importations de textiles neufs (peu de valorisation locale).
- Une accumulation des déchets dans les décharges (faible taux de collecte organisée).
- Un gaspillage de ressources (coton, polyester) alors que l'Algérie pourrait développer une filière de recyclage [9].

I.1.8.1 Initiatives et Pratiques de l'Économie Circulaire

Tableau I 1:présente les Principales Initiatives et Pratiques de l'Économie Circulaire en Algérie [10].

Axe d'action	Situation en Algérie	Exemples/ Acteurs
Réemploi/ Seconde main	Marché informel important (friperies, dons familiaux). Peu de plateformes structurées.	Souks aux vêtements d'occasion (ex : Bab El Oued).
Recyclage textile	Très limité (manque d'infrastructures). Quelques PME dans le tri et l'export des chiffons.	Entreprise EcoTex (projet pilote à Oran).
Upcycling/ Artisanat	Pratique informelle (transformation en tapis, chiffons). Potentiel inexploité.	Artisans à Tlemcen (revalorisation des tissus).
Réglementation	Aucune loi spécifique sur les déchets textiles. Seule la Loi 01-19 (2001) sur la gestion des déchets existe.	Projets en discussion dans le cadre de la transition écologique.

I.1.8.2 Opportunités et Recommandations

Elles s'inscrivent sur les points suivants :

- Création des partenariats public-privé pour développer des centres de tri/textile.
- Intégration des coopératives artisanales dans une chaîne de valeur circulaire.
- Inspiration des modèles marocains/ tunisiens (ex : recyclage vers l'Europe).

I.1.8.3 Perspectives de Gestion Durable des Déchets Textiles

Les autorités algériennes, en collaboration avec les industries textiles, travaillent à la mise en place de filières et de recyclage des déchets textiles dans le cadre de l'économie circulaire.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Il existe également des initiatives visant à encourager l'écoconception dans la production de textiles, ce qui permettrait de réduire la production de déchets dès la conception [11].

Tableau I 2Présente quelques statistiques de Déchets Textiles en Algérie [12].

Catégorie	Quantité Estimée	Sources
Production totale de déchets industriels (tous secteurs)	300 000 tonnes / an	Ministère de l'Environnement, 2020 (calec-dz.org)
Part des déchets textiles dans les déchets ménagers	4,54% du total des déchets ménagers	Étude de l'Agence Nationale de la Gestion des Déchets (AND) (asjp.cerist.dz)
Déchets textiles générés par l'industrie textile	Non spécifié mais estimé à plusieurs milliers de tonnes/an	Estimation basée sur les tendances du marché de gestion des déchets textiles
Projections de croissance annuelle des déchets textiles (2020-2026)	2,5% par an	6Wresearch (6wresearch.com)
Déchets textiles recyclés (en % des déchets textiles)	Estimation : moins de 5% recyclé	Observations basées sur le manque d'infrastructures de recyclage spécialisées en Algérie

I.1.9. Importance du recyclage dans la réduction des déchets en Algérie

L'Algérie produit environ 13 millions de tonnes de déchets par an, dont seulement 10% sont recyclés (Agence Nationale des Déchets, 2022). La majorité des déchets est enfouie dans des décharges, souvent non contrôlées, ce qui engendre des problèmes de pollution des sols, de l'air et des nappes phréatiques [13].

I.1.9.1. Impacts environnementaux des déchets non recyclés

L'accumulation des déchets dans les décharges sauvages contribue à :

- L'émission de méthane, un gaz à effet de serre 25 fois plus puissant que le CO₂ [14] .
- La contamination des sols et des eaux par les lixiviats (liquides toxiques issus des décharges) [14].

I.1.9.2. Recyclage comme solution pour réduire les déchets

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Le recyclage permet de :

- Réduire la pression sur les ressources naturelles (ex. : recycler 1 tonne de papier sauve 17 arbres).
- Diminuer les émissions de CO₂ (le recyclage du plastique émet 70% moins de CO₂ que sa production neuve).

Le secteur du recyclage pourrait générer plus de 50 000 emplois en Algérie (CNES, 2023). Des initiatives comme Eco-Jem (recyclage des plastiques) montrent que le modèle est viable économiquement [15].

I.1.9.3. Défis et perspectives pour le développement du recyclage en Algérie

- 1) Obstacles actuels
 - Manque d'infrastructures (peu de centres de tri).
 - Faible sensibilisation du public (seulement 30% des Algériens trient leurs déchets).
- 2) Recommandations pour améliorer le recyclage
 - Renforcer les lois sur le tri sélectif (comme la loi 01-19 sur la gestion des déchets).
 - Encourager les partenariats public-privé pour développer des unités de recyclage [16].

I.1.10 Impact Environnemental des Déchets Industriels de Textiles

Les déchets industriels de textile ont un fort impact environnemental sur les compartiments suivants :

- Pollution de l'eau : Les processus de teinture et de finition des tissus libèrent des produits chimiques toxiques, y compris des teintures, des produits de nettoyage, et des métaux lourds, qui peuvent polluer les cours d'eau si non traités.
- Pollution de l'air : Certains procédés industriels, comme le séchage des tissus, génèrent des émissions de gaz à effet de serre (GES) et d'autres polluants atmosphériques.
- Encombrement des décharges : Une grande partie des déchets textiles industriels finit dans les décharges, où les textiles synthétiques peuvent prendre des centaines d'années à se décomposer, libérant des microplastiques et des substances chimiques dans l'environnement.
- Consommation des ressources naturelles : La fabrication de textiles nécessite l'utilisation de grandes quantités d'énergie, d'eau, et de ressources naturelles. Le recyclage insuffisant de ces déchets signifie qu'une grande quantité de ces ressources est gaspillée.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I.1.10.1 Réduction de l'impact environnemental

- Economie d'énergie : La production d'isolants à base de textiles recyclés consomme jusqu'à 70 % moins d'énergie que celle des isolants synthétiques comme le polystyrène expansé [16].
- Diminution des déchets : Valoriser 1 tonne de textiles évite l'émission d'environ 3,8 tonnes de CO₂ par rapport à l'incinération [17].

I.1.10.2 Applications alternatives des déchets textiles

- ❖ Les déchets textiles recyclés peuvent être transformés en matériaux de construction écologiques. En effet, les fibres textiles sont incorporées dans des bétons légers ou des panneaux isolants, améliorant ainsi leurs propriétés mécaniques et thermiques. Une étude de Singh et al. (2019) démontre que les fibres de coton recyclé renforcent la résistance des matériaux tout en réduisant leur poids [18].
- ❖ Les déchets textiles, notamment les fibres synthétiques et naturelles, sont utilisés comme isolants thermiques et acoustiques dans les bâtiments., les non-tissés à base de laine recyclée offrent des performances comparables aux isolants traditionnels comme la laine de verre, avec un bilan carbone nettement inférieur [19]
- ❖ Les fibres textiles recyclées sont intégrées dans des matrices polymères pour produire des composites légers utilisés dans l'aéronautique et l'automobile. Ces matériaux combinent résistance mécanique et durabilité, tout en réduisant l'utilisation de ressources vierges [20].
- ❖ Les constructeurs automobiles intègrent de plus en plus des textiles recyclés dans les panneaux de porte, les revêtements intérieurs et les moquettes. Cette approche s'inscrit dans une logique d'économie circulaire, réduisant l'empreinte environnementale du secteur [21].

I.1.10.3 Réutilisation des textiles usagés comme matériau isolant

Le textile recyclé est une solution d'isolation efficace, utilisée pour ses performances thermiques et acoustiques remarquables, permettant de maintenir la chaleur en hiver et la fraîcheur en été. Cette méthode favorise la transition vers des bâtiments plus écoénergétiques et s'aligne avec les exigences d'un avenir durable.

Transformer des textiles recyclés en matériaux isolants représente une approche novatrice et écoresponsable dans le domaine de la rénovation. En choisissant ces matériaux, on contribue à la réduction des déchets et à la limitation de l'empreinte carbone.

Ce procédé novateur permet d'utiliser des déchets textiles inexploitable pour en faire des matériaux performants qui répondent aux standards actuels d'isolation. En recyclant ces

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

fibres, on préserve les ressources naturelles et on limite les effets néfastes de la production textile traditionnelle. Cette approche offre également une deuxième vie aux vêtements usagés, qui seraient autrement voués à être jetés [22].

I.2 Isolation Thermique

Introduction

Les isolants thermiques des capteurs solaires jouent un rôle essentiel dans la réduction des pertes de chaleur vers l'extérieur, un facteur déterminant pour optimiser leur rendement. Divers matériaux peuvent être utilisés pour l'isolation arrière et latérale, tels que l'air, la mousse de polyuréthane, la laine de verre, le bois de pin, ou encore le vide dans le cas des capteurs à tubes sous vide. Ce type d'isolation contribue à la transition énergétique en limitant les émissions de gaz à effet de serre [23].

I.2.1. Définition de l'isolation thermique

L'isolation thermique est l'application de matériaux qui maintiennent la température interne régulée et indépendante de la température externe. Ce résultat est obtenu en empêchant la transmission de la chaleur d'un endroit à l'autre.

La loi de la thermodynamique nous apprend que la chaleur se déplace vers les endroits où la température est plus basse. Cette barrière isolante a donc pour fonction de réduire le passage de la chaleur, soit en la retenant, soit en l'empêchant [24].

I.2.2. Types d'isolants thermiques

L'isolation thermique est un élément clé pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Elle permet de réduire les déperditions de chaleur en hiver et de limiter les surchauffes en été. Les matériaux isolants se classent en trois grandes catégories :

Les isolants synthétiques, les isolants minéraux et les isolants naturels. Il existe différents types d'isolants thermiques, ayant chacun leurs propriétés.

Voici les cinq familles d'isolants les plus connues :

1. Isolants en laines minérales : laine de verre ou laine de roche. Ces isolants sont les plus utilisés pour isoler un logement, de par leur efficacité aussi bien thermique qu'acoustique, le tout à un prix compétitif. De plus, la laine minérale est incombustible.
2. Isolants en laines végétales : liège, paille, laine de chanvre, ouate de cellulose ou laine de bois. Les isolants naturels sont biosourcés et plus souples. Il faut donc souvent les associer aux matières synthétiques pour disposer d'un isolant rigide et résistant au feu et à l'humidité.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

3. Isolants en laines animales : laine de mouton ou laine de plumes de canard. Ces isolants nécessitent souvent des traitements supplémentaires pour offrir une meilleure performance thermique et être plus durables.
4. Isolants polystyrènes PSE, XPS, PUR : ces isolants sont d'origine organique et existent sous plusieurs formes, notamment polystyrène expansé PSE, polystyrène extrudé XPS, polyuréthane PUR ou PU, polyisocyanurate PIR, phénoliques.
5. Isolants sous vide : c'est la dernière génération des isolants, offrant une performance thermique très efficace pour une isolation par l'intérieur. Ils présentent l'avantage d'être peu épais, pour ne pas perdre trop de surface habitable.
6. Isolants minces : ils existent sous plusieurs appellations, notamment PMR (produits minces réfléchissants), IMR (isolants minces réfléchissants), isolants minces multicouches, films thermo-réfecteurs, etc. Ces produits doivent être associés à un autre matériau isolant pour offrir une très bonne isolation thermique [25].

I.2.3. Propriétés des isolants thermiques

Les isolants thermiques sont destinés à réduire le taux de transfert de chaleur par conduction, convection et rayonnement.

Les méthodes standard par lesquelles les transferts de chaleur. Cela peut être pour empêcher la perte de chaleur ou pour empêcher la chaleur de pénétrer. Pour ce faire, tous les isolateurs partagent certaines propriétés

I.2.3.1. Conductivité thermique

Les meilleurs isolants thermiques ont la conductivité thermique la plus faible ; c'est la propriété d'un matériau qui mesure dans quelle mesure il peut conduire la chaleur à travers sa masse. Plus la mesure de conductivité est faible, moins un matériau est capable de conduire la chaleur, lui permettant ainsi de piéger la chaleur ou de protéger le contenu de la chaleur extérieure.

I.2.3.2. Résistance à la chaleur

Les isolants thermiques devraient également être résistants à la chaleur, car ils seront probablement soumis à la chaleur sur leurs surfaces en raison de l'incapacité de la chaleur à se déplacer à travers eux. Un isolant thermique sans quotient de résistance thermique élevé risque de fondre ou de brûler [26].

I.2.3.3. Perméabilité à l'air

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

La perméabilité à l'air est la propriété d'un matériau permettant à l'air de traverser son tissage ou ses pores. Elle est souvent attribuée à des matériaux tels que ceux utilisés dans la fabrication de vêtements. Une perméabilité à l'air élevée signifie un niveau inférieur de conductivité thermique.

I.2.3.4. Matériaux thermo-isolants

Basé principalement sur la conductivité thermique, certains des matériaux d'isolation thermique les meilleurs et les plus courants incluent la fibre de verre, qui est constituée de fils filés de verre fondu et pelucheux, et la mousse, qui a des poches de gaz qui ne conduisent pas bien la chaleur [26].

Tableau I 3 Tableau comparatif des matériaux : prix, épaisseur, valeur (λ) [27].

	Valeur (λ) en W/m.k	Épaisseur en cm pour un R=5	Prix moyen TTC
Isolants Minéraux			
Laine de verre	0.032 à 0.042	16 à 21	3 à 10€/m ² pour 10 cm d'épaisseur
Laine de roche	0.034 à 0.044	17 à 22	6 à 11€/m ² pour 10 cm d'épaisseur
Verre cellulaire	0.037 à 0.060	18 à 30	20 à 50€/m ² selon l'épaisseur
Mousse minérale	0.040	23	29€/m ² pour 8 cm d'épaisseur
Perlite expansée	0.045 à 0.060	23 à 30	15€ / 100L
Vermicule expansée	0.046 à 0.08	23 à 40	15 à 20€ / 100L
Isolants synthétiques			
PSE	0.033 à 0.042	16 à 19	15€/m ² pour 6 cm d'épaisseur
PXE	0.029 à 0.038	15 à 18	10.4€/m ² pour 10 cm d'épaisseur
PUR	0.023 à 0.032	12 à 15	16€/m ² pour 8 cm d'épaisseur
Isolants végétaux et d'origine animale			
Fibre de bois	0.037 à 0.040	19	11 à 13€/m ² pour 8 cm d'épaisseur
Liège	0.038 à 0.040	17 à 21	19€/m ² pour 1cm

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

			d'épaisseur
Chanvre	0.040 à 0.042	19 à 21	15 à 20€/m ² pour 10 cm d'épaisseur
Lin	0.038	18 à 23	18€/m ² pour 10 cm d'épaisseur
Paille	0.045 à 0.050	20 à 25	5 à 7€/m ² la botte
Laine de mouton	0.040	17 à 21	20 à 25€/m ² pour 6 cm d'épaisseur
Isolants issus du recyclage			
Ouate de cellulose	0.038 à 0.040	19 à 22	14 à 20€/m ² pour 20 cm d'épaisseur
Textile recyclé	0.039	20	25€/m ²

Quelques exemples d'isolation thermique réalisés à partir de matériaux recyclés sont présentés de la manière suivante :



Figure I 1: Panneaux d'isolation thermique bio-composite à base de carton et de fibres de palmier dattier [28].



Figure I 2: Panneau isolant à partir de bois et de chaux [29].

I.2.4. Réglementations et normes des matériaux isolants en Algérie

I.2.4.1. Cadre réglementaire algérien pour les matériaux isolants

- Lois et décrets encadrant l'isolation thermique

En Algérie, la réglementation thermique est principalement définie par :

- Le décret exécutif n° 13-03 du 20 janvier 2013 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments neufs, imposant des exigences minimales en matière d'isolation [30].
- La loi n° 04-09 du 14 août 2004 sur la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable, encourageant l'utilisation de matériaux isolants performants [31]

- Rôle de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE)

L'APRUE supervise l'application des normes d'isolation et promeut les bonnes pratiques en matière d'efficacité énergétique [32].

I.2.4.2. Normes techniques applicables aux matériaux isolants

- a) Normes algériennes (IANOR) :

L'Institut Algérien de Normalisation (IANOR) a établi plusieurs normes pour les isolants, notamment :

- NA 17401 : Exigences générales pour les isolants thermiques dans le bâtiment.
- NA 17402 : Méthodes d'essai des propriétés thermiques des matériaux isolants [33].

- b) Normes internationales adoptées :

L'Algérie s'appuie également sur des normes internationales telles que :

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

- ISO 6946 : Calcul de la résistance thermique des parois.
- EN 13162 : Spécifications pour les laines minérales [34].

I.2.4.3. Certification et contrôle de qualité

1. Obligation de certification (DGC) :

La Direction Générale de la Certification (DGC) impose une certification obligatoire pour les isolants commercialisés en Algérie, conformément au décret n° 10-236 du 11 octobre 2010 [35].

2. Essais en laboratoire agréé :

Les matériaux isolants doivent subir des tests en laboratoire pour vérifier :

- La conductivité thermique (λ) selon NA 17403.
- La réaction au feu selon NA 17405 [37].

I.2.5. Capteurs solaires et leur efficacité énergétique

L'Algérie encourage progressivement l'utilisation d'isolants biosourcés, conformément aux engagements internationaux sur le développement durable [38].

I.2.5.1. Types de capteurs solaires

1. Capteurs photovoltaïques :

Les panneaux photovoltaïques servent à produire de l'électricité. Elle peut être utilisée en autoconsommation (totale ou avec revente de surplus) ou en revente totale. En autoconsommation, et selon le nombre de capteurs solaires, l'installation peut couvrir une partie des besoins en électricité pour gagner en autonomie. Elle sera moins soumise aux fluctuations des prix de l'énergie sur le marché. Si une panne de courant se produit du fait d'un problème sur le réseau, le logement pourra toujours être alimenté en électricité (à condition que les panneaux produisent à ce moment-là, selon l'ensoleillement) [39].

a) Fonctionnement d'un capteur solaire photovoltaïque :

Les étapes de fonctionnement d'un capteur solaire photovoltaïque sont les suivantes :

La capture du rayonnement solaire est possible grâce aux cellules photovoltaïques. Lorsque la lumière du soleil frappe ces cellules, elle est absorbée par un semi-conducteur (généralement

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

du silicium) et libère des électrons ; la génération d'énergie électrique est permise grâce à la mise en mouvement des électrons à l'intérieur des cellules photovoltaïques.

Pour cela, la cellule doit présenter une face négative et une autre positive. Le silicium qui se trouve en surface est donc chargé négativement avec du phosphore, et la face qui se trouve au dos de la cellule est « dopée » positivement avec du bore.

Les électrons sont ainsi attirés d'un côté ou de l'autre, ce qui permet de générer leur mouvement et une énergie électrique ; la conversion en électricité utilisable à l'aide d'un onduleur.

Du courant alternatif est alors prêt à être utilisé pour alimenter les appareils électriques dans le logement [39].

2. Capteurs solaires thermiques :

Le capteur solaire thermique constitue une technologie ingénieuse. Ces panneaux exploitent le rayonnement du soleil pour produire de la chaleur. Celle-ci peut ensuite être utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS), le chauffage du logement ou celui de l'eau d'une piscine [39].

a) Fonctionnement du capteur solaire thermique :

Le fonctionnement d'un capteur solaire thermique repose sur le principe de conversion de l'énergie lumineuse en énergie thermique. Les composants clés incluent :

- Absorbeur : Une surface qui capte la lumière solaire et la convertit en chaleur.
- Fluide caloporteur : Un liquide ou un gaz qui transporte la chaleur capturée jusqu'à l'endroit où elle sera utilisée.
- Isolation thermique : Réduit la perte de chaleur.

Lorsqu'un photon solaire frappe l'absorbeur, l'énergie est transférée au fluide caloporteur. Cette conversion peut être formulée comme suit :

Équation 1 $Q = m c \Delta T$

Où Q est la chaleur, m est la masse du fluide, c est la capacité calorifique et ΔT est le changement de température

b) Applications du capteur solaire thermique :

Les capteurs solaires thermiques ont de nombreuses applications, notamment :

- ❖ Chauffage de l'eau domestique : Utilisé pour fournir de l'eau chaude sanitaire.
- ❖ Systèmes de chauffage au sol : Pour chauffer les espaces résidentiels.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

- ❖ Procédés industriels : Chauffage de fluides dans les industries qui nécessitent de l'eau chaude pour leurs procédés.

Chaque application tire parti de la capacité des capteurs à absorber et à transférer la chaleur efficacement. Par exemple, dans un système de chauffage au sol, l'eau chauffée circule à travers des tuyaux sous le plancher, distribuant uniformément la chaleur [40].

c) Avantages des capteurs solaires thermiques

Les panneaux solaires thermiques affichent un rendement moyen de 80 %. Ce pourcentage représente l'efficacité avec laquelle le système convertit l'énergie solaire en chaleur. Le panneau solaire thermique présente un rendement nettement supérieur à celui du photovoltaïque qui se situe aux alentours de 16 à 24 %.

En utilisant des capteurs solaires thermiques, on aura la possibilité de réaliser jusqu'à 80 % d'économies sur votre facture énergétique. Cette donnée dépend bien entendu de divers facteurs parmi lesquels on peut notamment citer la localisation, l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires.

Ces économies sont le résultat de l'utilisation d'une source d'énergie renouvelable et gratuite, réduisant ainsi votre dépendance aux énergies traditionnelles plus coûteuses.

Une durée de vie d'en moyenne 30 ans. Les capteurs solaires thermiques sont conçus pour offrir une durée de vie moyenne d'environ 30 ans. Cette longévité garantit un investissement durable, avec des coûts d'exploitation réduits sur une période prolongée, renforçant ainsi l'attrait financier de cette solution énergétique [40].

I.2.6. Description générale d'un capteur solaire plan

Un capteur solaire est un dispositif conçu pour capter l'énergie rayonnée par le soleil et la convertir en énergie thermique. On distingue généralement deux grandes catégories de capteurs :

- Les capteurs à basse température, principalement utilisés pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (ECS) dans les applications domestiques,
- Et les capteurs à haute température, intégrant des systèmes à miroirs, généralement destinés à la production d'électricité.

Dans cette étude, nous nous limitons au capteur solaire plan, représenté à la figure I, qui utilise l'eau comme fluide caloporteur.

L'énergie solaire incidente traverse une couche de verre (ou un autre matériau transparent approprié) avant d'atteindre la plaque d'absorption noire, qui constitue l'élément central du capteur. Sur cette plaque, le rayonnement solaire est transformé en chaleur, laquelle est ensuite transmise par conduction au fluide caloporteur (généralement de l'eau ou de l'air). Ce fluide assure l'extraction de la chaleur produite et son transfert vers un réservoir de stockage thermique,

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Le vitrage, en plus de permettre la transmission du rayonnement vers la plaque absorbante, joue un rôle important dans la réduction des pertes thermiques par rayonnement et convection à travers la face supérieure du capteur.

Une isolation thermique, composée de mousse de polyuréthane, de polystyrène, de laine de verre (ou d'un matériau équivalent) est placée à l'arrière et sur les côtés pour limiter les pertes de chaleur par conduction vers l'environnement.

L'ensemble des composants est logé dans un boîtier assurant la structure du capteur, pouvant être fabriqué à partir de divers matériaux tels que la tôle, le bois ou le plastique. La conception d'un capteur solaire dépend essentiellement de l'application à laquelle il est destiné.

Les exigences thermiques diffèrent selon qu'il s'agit de chauffer l'effau d'une piscine (22 à 30 °C), de produire de l'eau chaude domestique (40 à 60 °C), ou de chauffer de l'air pour le conditionnement d'un bâtiment (90 à 100 °C).

Plusieurs paramètres doivent être pris en compte pour optimiser la conception et le fonctionnement du capteur : le type, le diamètre nominal, la longueur et l'espacement des tubes ou conduits ; les caractéristiques de la plaque ou des ailettes d'absorption (matériau, épaisseur, finition) ; le type et l'épaisseur du vitrage ; la nature et l'épaisseur de l'isolation ; le fluide caloporteur et son débit massique ; l'inclinaison et l'orientation du capteur ; ainsi que les conditions environnementales telles que la vitesse du vent, la température ambiante et bien sûr, l'intensité du rayonnement solaire.



Figure I 3: Photographie montrant les capteurs solaires plan.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Voici quelques exemples de capteurs solaires plans utilisés pour le chauffage de l'eau, réalisés à partir de matériaux recyclés :



Figure I 4 Un chauffage solaire à base de bouteilles en plastique [41].

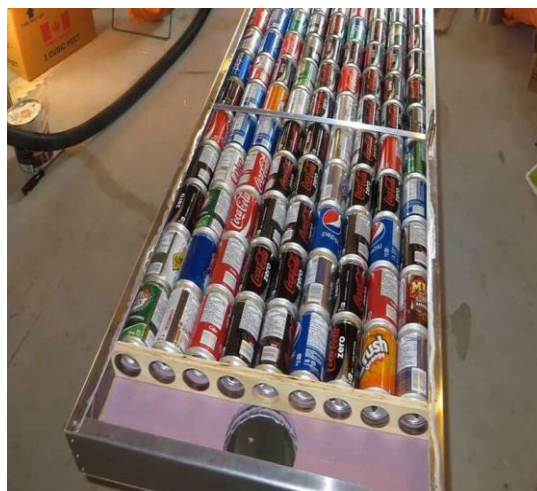


Figure I 5 Un chauffage solaire à base de canettes de soda usagées [41].

I.2.7. Mécanismes de transfert de chaleur : Conduction et Convection

La conduction est le mécanisme de transfert de chaleur à l'échelle atomique. Elle est produite par la collision de certaines molécules avec d'autres, où les particules les plus énergétiques donnent de l'énergie aux moins énergétiques.

Un flux de chaleur se produit des températures les plus élevées vers les températures les plus basses [42]. Les meilleurs conducteurs de chaleur sont les métaux. L'air est un mauvais conducteur de chaleur. Les objets qui sont de mauvais conducteurs, comme l'air ou les

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

plastiques, sont appelés isolants. La conduction thermique ne se produit que s'il existe des différences de température entre deux parties du milieu conducteur.

Pour un volume Δx , de section transversale A et dont les faces opposées sont à des T_1 et T_2 différents, avec $T_2 > T_1$, comme le montre la figure I-6, on constate que la chaleur ΔQ transférée en un temps Δt circule de l'extrémité chaude vers l'extrémité froide.

Le taux de transfert d'énergie sous forme de chaleur.

Loi de la conduction de chaleur (loi de Fourier)

Équation 2 : $q = -k \, dx / dT$

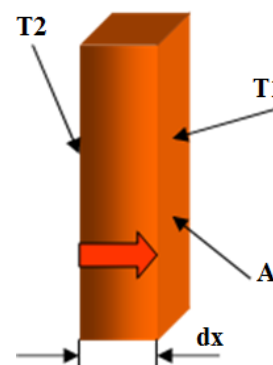


Figure I 6: Flux de chaleur à travers $T_2 > T_1$

K (en W/mK) est appelé la conductivité thermique du matériau,

Une grandeur qui représente la capacité avec laquelle la substance conduit la chaleur et produit la variation de température

dT/dx est le gradient de température.

Le signe moins indique que la conduction thermique se fait dans le sens d'une température décroissante.

Tableau I 4 Quelques Valeurs de conductivité thermique

Métaux, à 25 °C		Gaz, à 20 °C		Isolants	
Substance	k (W/mK)	Substance	K (W/mK)	Substance	K (W/mK)
Aluminium	238	Air	0.0234	Amiante	0.08
Cuivre	397	Hélium	0.138	Béton	0.8
Or	314	Hydrogène	0.172	Verre	0.84
Fer	79.5	Azote	0.0234	Caoutchouc	0.2
Plomb	34.7	Oxygène	0.0238	Bois	0.08 à 0.18
Argent	427			Tissus humains	0.2
Laiton	110			Liège	0.42

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

				Eau	0.58
				Glace	2

La convection est le mécanisme de transfert de chaleur par mouvement ou circulation de masse au sein de la substance.

Elle ne peut être produite naturellement que par des différences de densités de matière ; ou forcé, lorsque la matière est forcée de se déplacer d'un endroit à un autre, par exemple l'air avec un ventilateur ou l'eau avec une pompe.

Cela se produit uniquement dans les liquides et les gaz où les atomes et les molécules sont libres de se déplacer dans le milieu.

- le transfert de chaleur par convection h , appelé loi de Newton.

Équation 3 : $q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)$

- Où q est appelé coefficient de convection, dans $W/(m^2K)$

A est la surface qui délivre de la chaleur avec une température T_∞ au fluide adjacent, qui est à une température T_s .

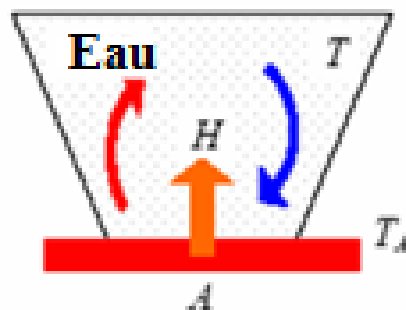


Figure I 7:Modèle de transfert de chaleur

Le flux de chaleur est positif ($H > 0$) si la chaleur est transférée de la surface de la zone A au fluide ($T_A > T$) et négatif si la chaleur est transférée du fluide à la surface ($T_A < T$).

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

Tableau I 5 Valeurs typiques du coefficient de convection

Processus	H (W/ m ² K)
Convection naturelle	
Gaz	2-25
Liquides	50-1000
Convection forcée	
Gaz	25-250
Liquides	50-20000

CONCLUSION

Après avoir présenté dans ce premier chapitre les notions théoriques relatives aux capteurs solaires, aux matériaux isolants ainsi qu'aux propriétés thermiques des déchets textiles, il est désormais essentiel de passer à la phase expérimentale.

Cette étape vise à concevoir, caractériser et évaluer un matériau isolant issu de déchets textiles, afin d'étudier ses performances dans l'isolation thermique des capteurs solaires.

Le chapitre suivant décrira ainsi en détail la méthodologie adoptée, les matériaux utilisés que les dispositifs expérimentaux mis en œuvre pour atteindre les objectifs de cette étude.



Chapitre II

Matériel et méthodes expérimentales



Chapitre II : Matériel et méthodes expérimentales

Chapitre II : Matériel et méthodes expérimentales

Introduction

Dans le cadre de cette étude expérimentale, il a été nécessaire de concevoir un protocole rigoureux permettant de développer, caractériser et évaluer un matériau isolant thermique à base de déchets textiles.

Ce chapitre présente de manière structurée les matériaux utilisés, les étapes de préparation des échantillons, ainsi que les équipements et méthodes mis en œuvre pour les essais thermiques.

L'objectif principal de cette démarche expérimentale est de simuler les conditions réelles de transfert thermique afin de déterminer les performances isolantes du composite élaboré. Un soin particulier a été accordé au choix du liant, à la reproductibilité de la méthode de fabrication, et à la précision des mesures thermique.

II.1. Matériel utilisé

La réalisation des échantillons de matériau isolant thermique à base de déchets textiles nécessite l'utilisation du matériel suivant :

- 200 g Chaux, 100 g ciment blanc, 700 g plâtre (sulfate de calcium hémi hydraté) : utilisé comme liant pour assurer la cohésion des fibres.
- Déchets textiles : Fibres découpées de 1 à 3 cm ; Source de matériau grâce à leur faible conductivité thermique.
- Eau : nécessaire pour l'activation du liant et la formation de mélange.

II.2. Préparation des échantillons

Trois échantillons ont été à l'aide de moules cylindriques métalliques. Les choix des dimensions visent à évaluer le comportement thermique du matériau selon différentes épaisseurs.

Les dimensions des moules utilisés sont les suivantes :

Échantillon 1 : diamètre extérieur 25 cm, diamètre intérieur 13 cm ;

Échantillon 2 : diamètre extérieur 25 cm, diamètre intérieur 17 cm ;

Échantillon 3 : diamètre extérieur 25 cm, diamètre intérieur 16 cm ;



Figure II 1: Photographies numériques montrant les moules de différentes dimensions

1. Préparation du mélange : les déchets textiles sont découpés en fibres de 1 à 3 cm, puis mélangés avec 1kg du plâtre et chaux et ciment blanc et 3L de l'eau dans un rapport massique de 60% textile /40% (plâtre, chaux, ciment blanc).



Figure II 2: liant utilisé



Figure II 3: déchets textiles



Figure II 4: mélange de produits.

Chapitre II : Matériel et méthode

2. Remplissage des moules : le mélange est versé dans les moules cylindriques et tassé légèrement pour éviter les bulles d'air.



Figure II 5: Remplissage des moules.

3. Lissage de la surface : à l'aide d'une spatule, la surface est égalisée pour assurer une forme régulière.



Figure II 6: Lissage de la surface

4. Séchage : les échantillons sont laissés à température ambiante pendant 48 heures, puis placés dans un four à 60 °C pendant 4 heures pour éliminer l'humidité résiduel.



Figure II 7: Photographie montrant le lissage des échantillons 48 h à température ambiante.

5. L'installation des sondes de température : pour mesurer la température on a branché 4 sondes dans différentes surfaces et nous verrouillons de manière étanche.



Figure II 8: Photographies montrant l'installation des sondes.

6. Séchages de four : les échantillons sont placés dans un four à 60°C pendant 4 heures pour éliminer l'humidité résiduelle.



Figure II 9: Traitement thermique des échantillons à 60 °C.

II.3. Mise en place du four à écoulement forcé

II.3.1. Description du système de chauffage à convection forcée

Le chauffage par convection repose sur le principe de réchauffer l'air ambiant et de le maintenir à la température souhaitée. Ce prototype intègre un circuit d'eau chaude et un circuit d'air, où la chaleur est transférée via un échangeur tubulaire à ailettes plates.

➤ Le dispositif est composé des éléments suivants :

- Un chauffe-eau électrique de 50 litres avec une puissance de 1200 W.
- Un ventilateur centrifuge de 0,45 kW pour assurer un écoulement d'air efficace.
- Une pompe de circulation à trois vitesses de débit, permettant un contrôle optimal du flux d'eau.
- Un dispositif de purge pour éliminer les bulles d'air du circuit hydraulique.
- Une chambre de chauffage aux dimensions de 1,8 m x 0,6 m x 1,5 m, conçue pour optimiser l'échange thermique.

La chambre de chauffage est constituée de panneaux sandwich isolés, intégrant une couche de mousse polyuréthane de 5 cm d'épaisseur, garantissant une isolation thermique efficace et limitant les pertes énergétiques.



Figure II 10: Photographie montrant la chambre de chauffage constituée de panneaux sandwich isolés

II.3.2. Système de chauffage convectif à circulation d'air forcée.

Sondes de températures

Les sondes sont utilisées pour effectuer des relevés de température en quatre points distincts, comme illustré dans la Figure 2.2 : T1, T2, T3 et T4.

- Sonde T4 : Première à être installée, elle est placée au fond du tube à essai (à l'intérieur) et mesure la température de l'air à l'intérieur du cylindre.
- Sonde T3 : Positionnée horizontalement à l'intérieur de la paroi du cylindre, elle est chargée de mesurer la température interne de cette paroi.
- Sonde T2 : Fixée verticalement sur la paroi extérieure du cylindre à l'aide de deux élastiques, elle permet de mesurer la température de la paroi externe.
- Sonde T1 : Placée à l'intérieure de la chambre de chauffage, elle mesure la température ambiante de l'air.

2.1.3 Système d'acquisition des données

Nous avons utilisé une carte Arduino connectée aux quatre sondes de température. Un code approprié, programmé sur l'Arduino, permet de transmettre les données vers un ordinateur portable « Asus Laptop E410 MA, équipé d'un processeur Intel N4020, de 4 Go de RAM et d'un SSD de 128 Go ». Les données sont envoyées vers Excel avec un intervalle

II.4. Programme Excel pour le calcul de la conduction thermique transitoire unidimensionnelle

Le programme Excel développé pour simuler la conduction thermique transitoire unidimensionnelle, utilisé dans le cadre de l'obtention des résultats présentés, repose sur l'utilisation du nombre de Fourier.

Il met en œuvre une approche itérative visant à ajuster les valeurs de conductivité thermique et de capacité calorifique massique, de manière à reproduire les températures relevées par les sondes, connectées à un système d'acquisition de données.

Les calculs s'appuient principalement sur la méthode des volumes finis (FVM), appliquée à des configurations cylindriques, conformément à l'approche décrite par [43].

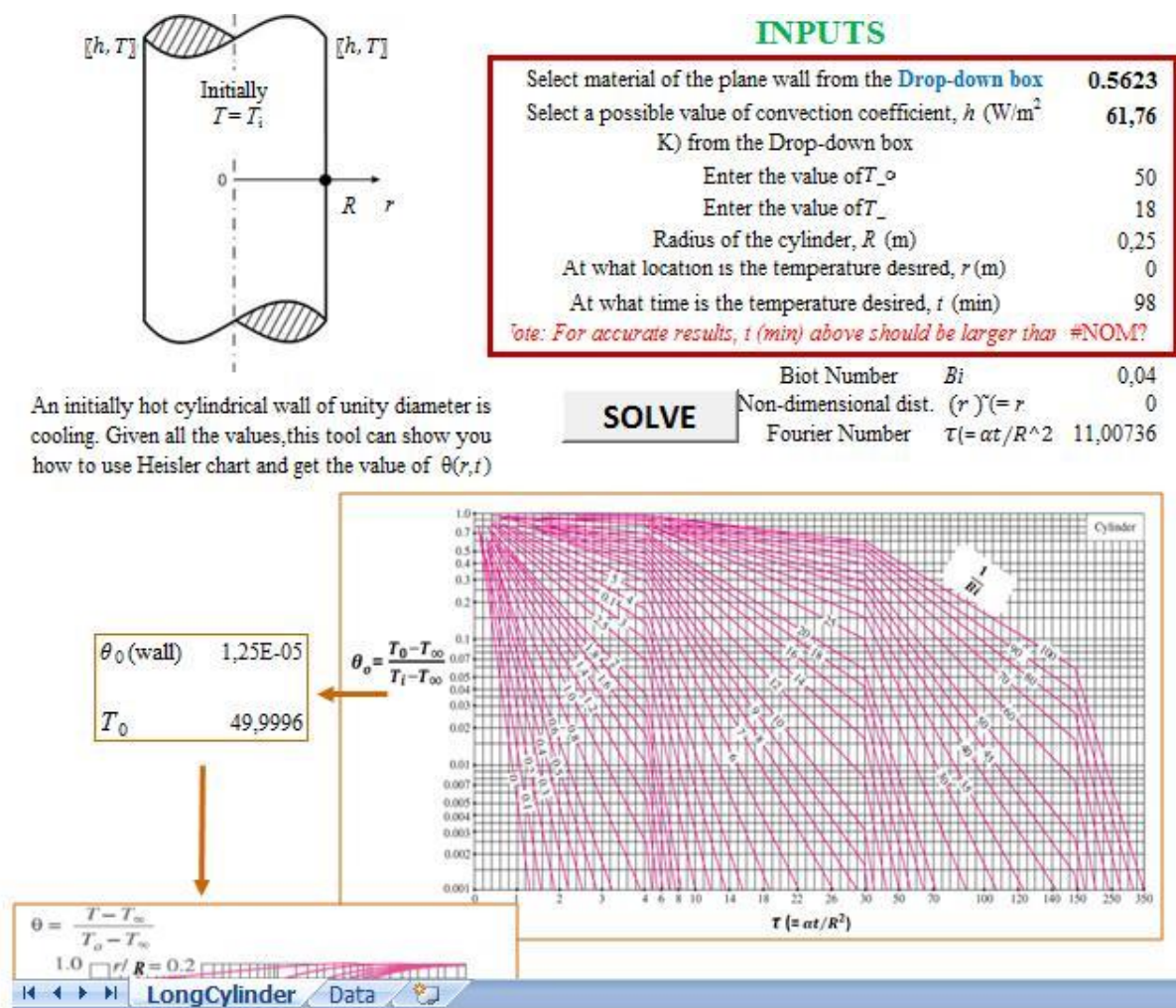


Figure II 11: Fenêtre de saisie des données

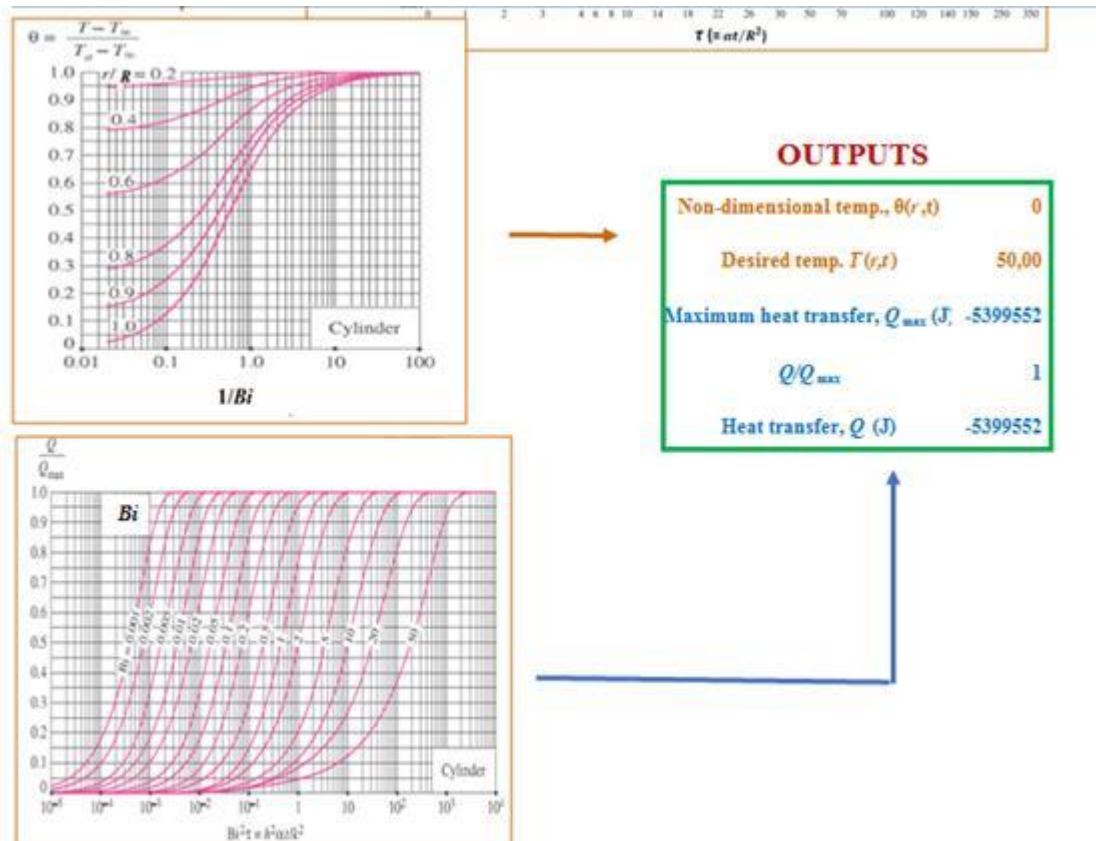
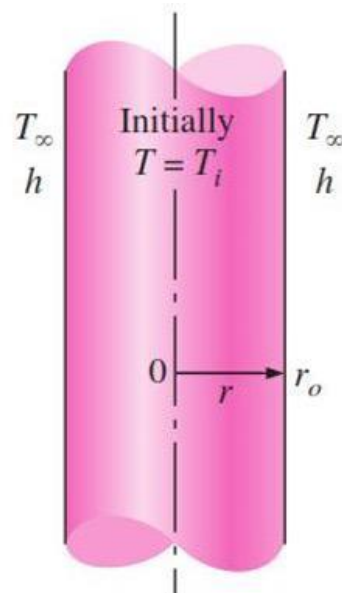


Figure II 12:Fenêtre des résultats

II.4.1. Formulation mathématique

Le transfert de chaleur s'effectue entre ces corps et leur environnement par convection, avec un coefficient de transfert thermique h uniforme et constant.

- Il existe une symétrie géométrique et thermique :



Chapitre II : Matériel et méthode

Afin de limiter le nombre de paramètres du problème, nous introduisons les grandeurs adimensionnelles suivantes :

Tableau II 1 Paramètres adimensionnels

Température	$\theta(x, t) = \frac{T(x, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}}$
Distance à partir du centre	$X = R/R_0$
Nombre de Biot	$Bi = \frac{hL}{k}$
Temps	$\tau = \frac{\alpha t}{L^2}$
$watt = \frac{J}{s}; \rho C_p = \left[\frac{J}{m^3 \cdot ^\circ C} \right]$	

Tableau II 2 Paramètres adimensionnels

Une valeur élevée du nombre de Fourier indique une propagation plus rapide de la chaleur à travers le cylindre.

Équation 4 : $\theta(r, t)_{cyl} = (T(r, t) - T_{\infty}) / (T_i - T_{\infty}) = A_1 \cdot e^{(-\lambda_1^2 \cdot \tau)} \cdot J_0(\lambda_1 \cdot r / r_0), \quad \tau > 0.2$

Au centre du cylindre

Équation 5 : $\theta_0, cyl = (T_0 - T_{\infty}) / (T_i - T_{\infty}) = A_1 \cdot e^{(-\lambda_1^2 \cdot \tau)}$

Où les constantes A et sont des fonctions du nombre Bi uniquement, La fonction J0 est la fonction de Bessel d'ordre zéro.

Pour ceux qui préfèrent lire des graphiques plutôt que d'interpoler, les relations ci-dessus sont tracées et les solutions d'approximation à un terme sont présentées sous forme graphique, appelées graphiques de température transitoire (voir Annexe 2)

Les constantes A et λ dépendent exclusivement du nombre de Biot.

La fonction J₀ correspond à la fonction de Bessel d'ordre zéro. Pour les utilisateurs privilégiant une lecture graphique à une interpolation numérique, les relations ci-dessus ont été représentées sous forme de courbes.

Ces représentations graphiques, connues sous le nom de diagrammes de température transitoire, fournissent des solutions approchées à un terme (voir Annexe 2)



Chapitre III

Résultats & discussion



Chapitre III : Résultats & discussion

Introduction

Cette section présente les résultats expérimentaux obtenus lors des essais thermiques réalisés sur des cylindres creux isolés par des matériaux textiles + agglomérant de différentes épaisseurs. L'analyse des courbes de température permet d'évaluer le comportement thermique des isolants, notamment à travers la conductivité, la résistance et le coefficient de transmission thermique. Ces données sont ensuite exploitées pour caractériser la performance globale des matériaux étudiés.

III.1. Disposition des sondes de température au sein d'un cylindre creux

Cylindre creux - Vue 3D

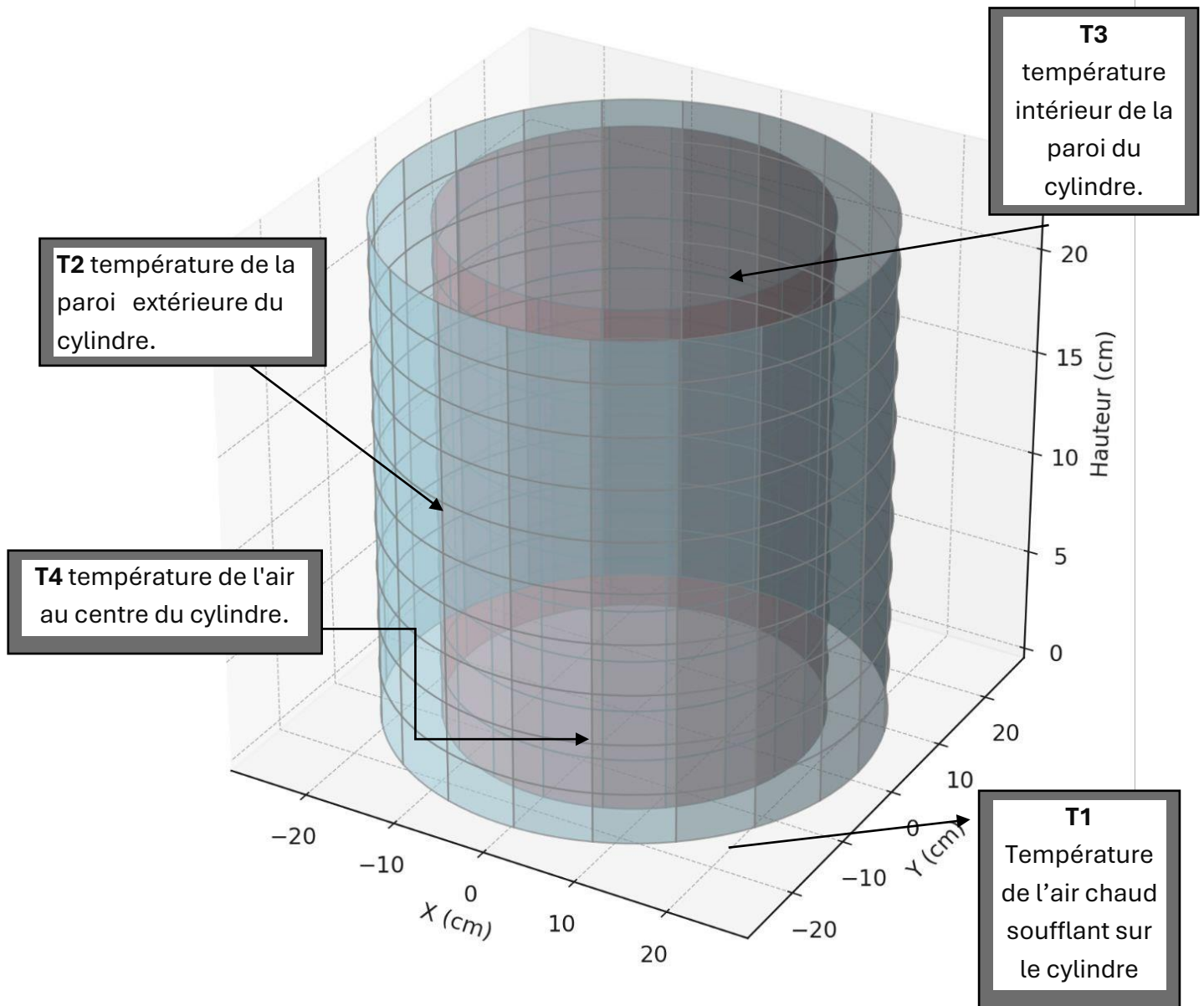


Figure III 1: Disposition des sondes de température au sein d'un cylindre creux constitué d'un matériau isolant à base de textiles recyclés et d'agglomérant

III.2. Mesure des températures dans les cylindres creux des essais pour différents épaisseurs d'isolation 3,4 et 6 cm

1. Épaisseur d'isolation 6 cm

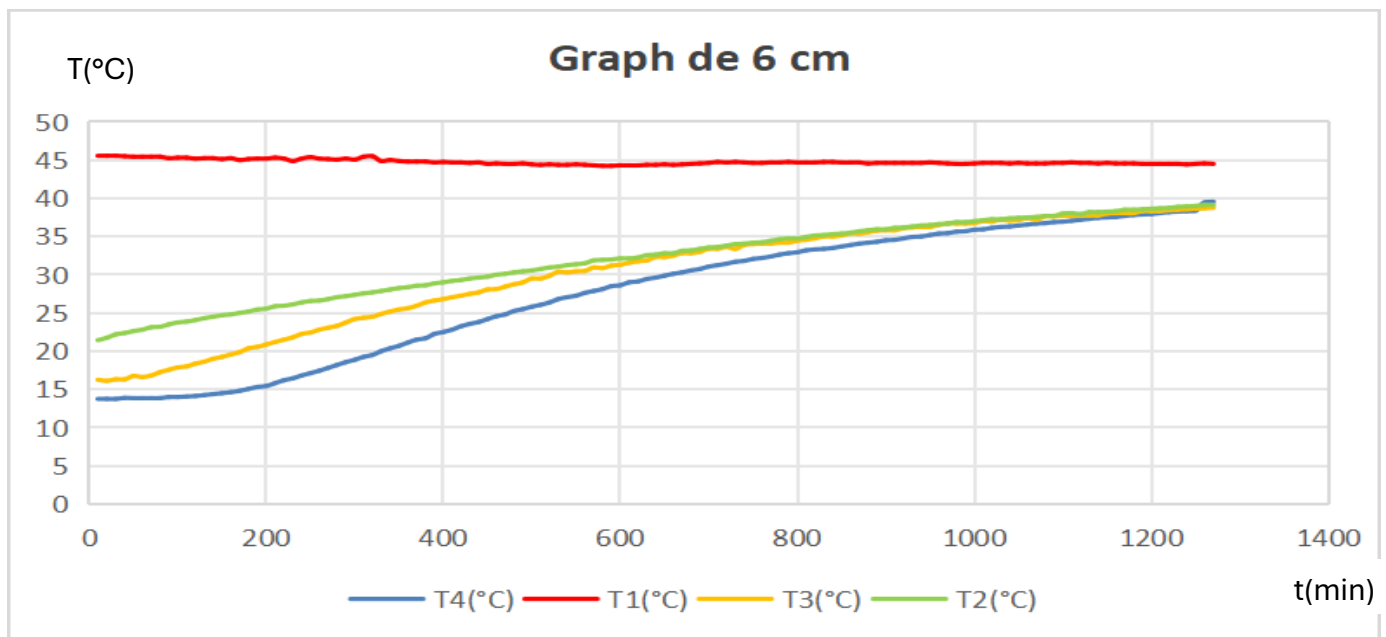


Figure III 2: Evolution de la température en fonction du temps (épaisseur d'isolation 6 cm)

- La Figure 3.2 présente l'évolution des température mesurées dans un cylindre creux isole avec une épaisseur de 6 cm à différents points soumis à un flux thermique
- La courbe T1 qui demeure stable autour de 45 °C correspond à la source chaude, tandis que T2, T3, T4 montrent une montée progressive de la température, illustrant le transfert thermique par conduction à travers l'isolant textile.
- Vers 1200 s, tous les courbes atteignent un régime quasi-stationnaire où les températures se stabilisent, et l'écart constant entre T1 et T4 reflète la résistance thermique du matériau sur cette épaisseur de 6 cm.

2. Épaisseur d'isolation 4cm

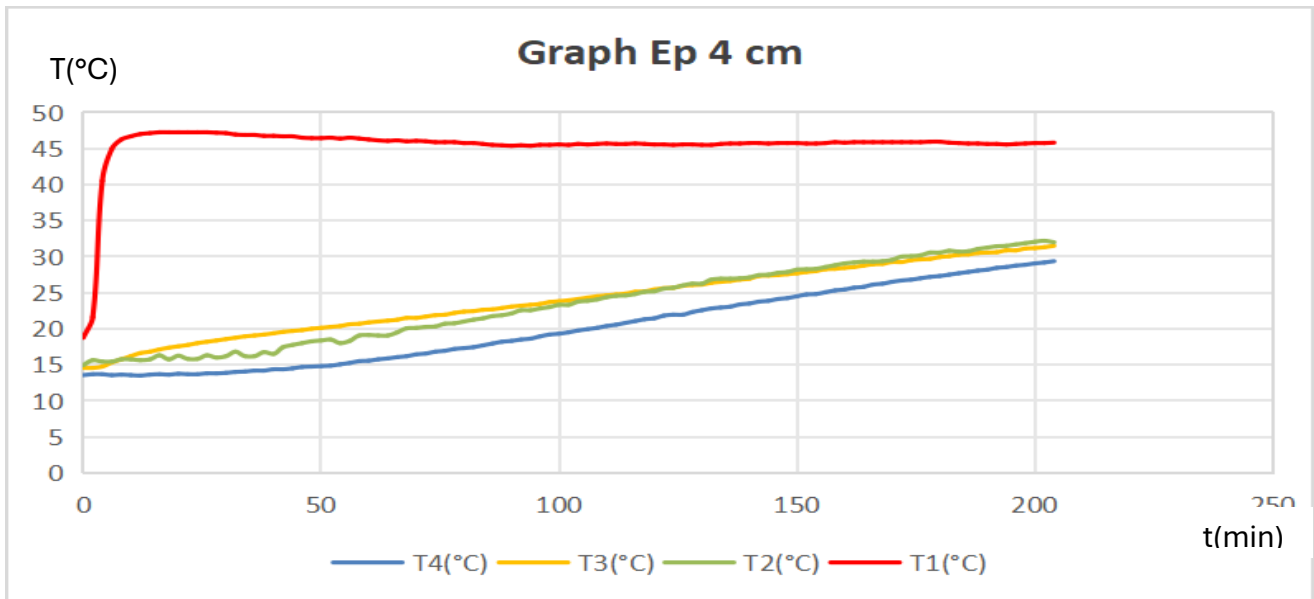


Figure III 3: Evolution des températures (T1, T2, T3 et T4) en fonction du temps (épaisseur d'isolation 4 cm)

- La Figure 3.3 présente l'évolution des températures mesurées dans un cylindre creux isolé avec une épaisseur de 4cm à différents points soumis à un flux thermique.
- Dans ce graphique représentant une épaisseur de 4cm, la température T1 monte rapidement au début, atteignant près de 47 °C, puis reste stable, indiquant une source chaude constante.
- Les courbes T2, T3 et T4 montrent une progression régulière des températures, marquant un transfert thermique par conduction à travers l'isolant textile.
- A la fin de l'essai (~210 secondes), les températures ne sont pas encore stabilisées, ce qui signifie que le régime stationnaire n'est pas totalement atteint.
- L'écart de températures entre T1 et T4 permet d'évaluer la résistance thermique du matériau à cette épaisseur intermédiaire de 4 cm.

3. Epaisseur d'isolation 3 cm

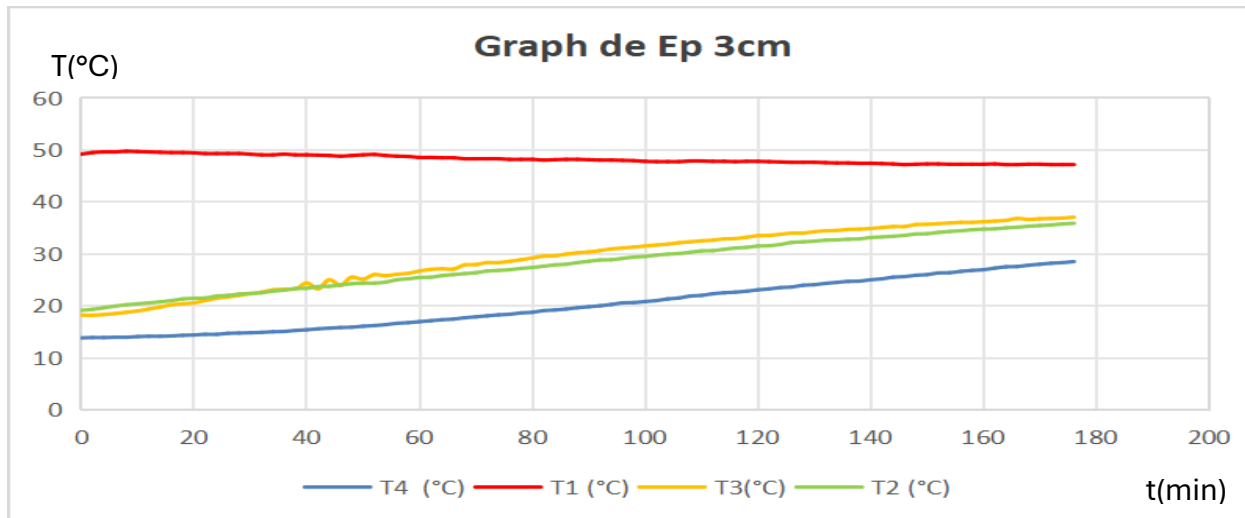


Figure III 4: Evolution des températures (T1, T2, T3 et T4) en fonction du temps (épaisseur d'isolation 3 cm)

- La figure 3.5 présente l'évolution des température mesurées dans un cylindre creux isolé avec une épaisseur de 3 cm à différents points soumis à un flux thermique, la température $T1$ reste constant autour de 50°C , représentant la source chaude.
- Les températures $T2$, $T3$ et $T4$ augmentent progressivement au fil du temps, traduisant un transfert de chaleur par conduction à travers un isolant textile plus mince.
- Contrairement au cas précédent (6 cm), le régime stationnaire n'est pas encore pleinement atteint à la fin de l'essai (~180 secondes), ce qui reflète une conductivité thermique plus rapide due à la réduction d'épaisseur.
- L'écart thermique entre $T1$ et $T4$ est moins prononcé.

III.3. Evolution comparative des températures T3 en fonction de T2 selon l'épaisseur

1. Épaisseur d'isolation 6 cm :

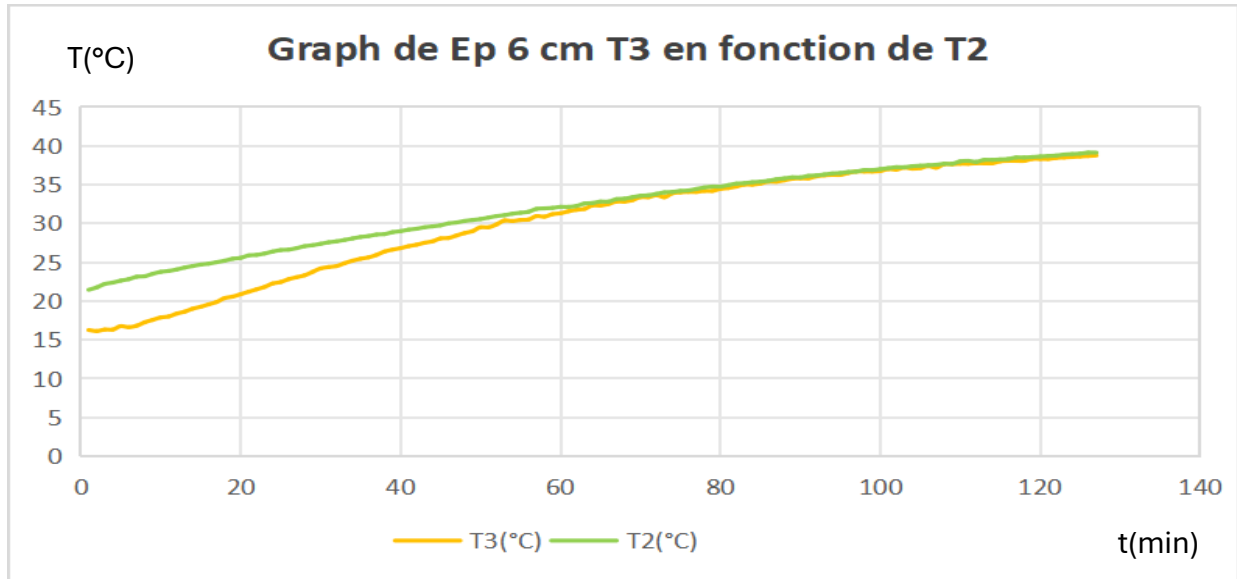


Figure III 5: Comparaison de T3 en fonction de T2 de l'épaisseur de 6cm.

- La Figure 3.6 présente la relation entre les températures T3 et T2 au cours de l'essai réalisé avec une épaisseur de 6 cm.
- On observe une corrélation positive entre les deux courbes : à mesure que T2 augmente, T3 suit une évolution similaire, bien que légèrement en retrait.

2. Épaisseur d'isolation 4 cm :

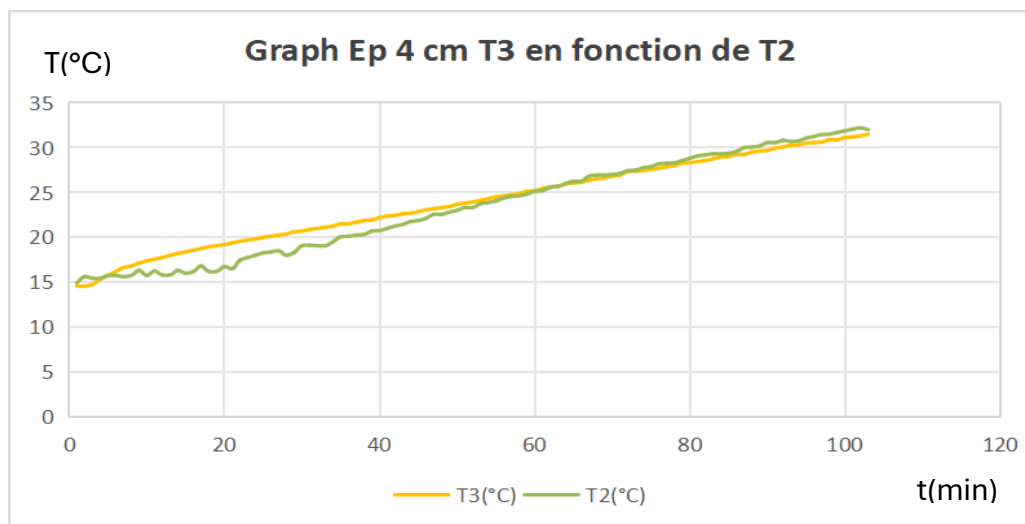


Figure III 6: Comparaison de T3 en fonction de T2 de l'épaisseur de 6cm.

3. Épaisseur d'isolation 3 cm :

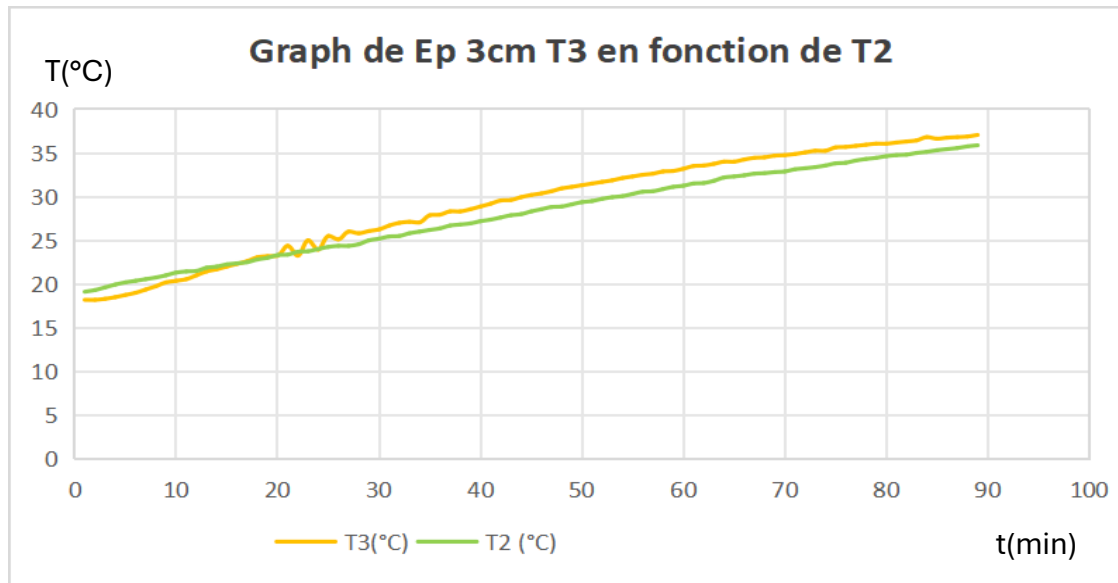


Figure III 7: Comparaison de T3 en fonction de T2 de l'épaisseur de 6cm.

- Les Figure 3.7 et 3.8 présentent l'évolution de la température T3 en fonction de T2 pour des épaisseurs de 4 et 3 cm.
- Dans les deux cas, les températures augmentent progressivement, suivant une tendance globalement croissante.
- On observe que T3 demeure légèrement supérieure à T2 tout au long de l'intervalle étudié, avec une différence plus marquée dans le cas de l'épaisseur de 3 cm, notamment au-delà de 30 °C.
- Cette élévation peut être attribuée à une réponse thermique plus rapide ou à une accumulation de chaleur dans une couche plus mince.
- Par ailleurs, de légères fluctuations observées sur la courbe T3 dans l'intervalle de 20 à 30 °C pourraient refléter une instabilité thermique transitoire.

Chapitre III : Résultats & discussion

Tableau III 1 Données relatives à chaque cylindre

Cylindre	Hauteur (cm)	Rayon extérieur /intérieur (cm)	Masse (kg)	Volume (m ³)	Masse volumique kg /m ³
Cylindre creux N*1 EP 6cm	Extérieur =22 Intérieur =18	Extérieur = 25 Intérieur = 19	<u>6.10</u>	<u>0.02278</u>	<u>267.78</u>
Cylindre creux N*2 EP 4cm	Extérieur =23 Intérieur = 19	Extérieur = 25 Intérieur = 17	<u>5.45</u>	<u>0.0279</u>	<u>195.34</u>
Cylindre creux N*3 EP 3cm	Extérieur =23 Intérieur = 19	Extérieur = 25 Intérieur =16	<u>4.75</u>	<u>0.02987</u>	<u>159.02</u>

III.4. Calcul de la conductivité thermique

III.4.1. Propriétés du matériau

- Conductivité = valeur de conductivité à itérer, comprise entre 0,1 et 1.
- Densité = masse volumique de chaque échantillon (voir tableau 3.1).
- Chaleur massique = valeur de chaleur massique à itérer, comprise entre 1 000 et 3 000. J/kg·K

Géométrie et surface = Cylindre

Longueur caractéristique = Correspond au rayon extérieur de chaque échantillon, en mètres (voir Tableau 3.1).

Coefficient de convection = Les valeurs du coefficient de convection varient de 25 à 250 W/m²K dans les fours à convection forcée. (Pour les trois échantillons, une valeur de 25 W/m²K a été utilisée.)

III.5. Résultats de la détermination de la conductivité thermique

Les résultats fournis par l'application du programme Excel sont indiqués dans le Tableau III-2 ci-dessous.

Chapitre III : Résultats & discussion

Tableau III 2 : Résultats de simulation

Cylindre	Epaisseur (cm)	Masse volumique kg/m^3	Conductivité thermique W/m K
1	6	267.78	0,5623
2	4	195.34	0,8012
3	3	159.02	0,8175

Comparaison de notre matériau isolant avec ceux couramment utilisés dans le domaine de l'énergie thermique solaire.

Tableau III 3 Principales Initiatives et Pratiques de l'Economie Circulaire en Algérie

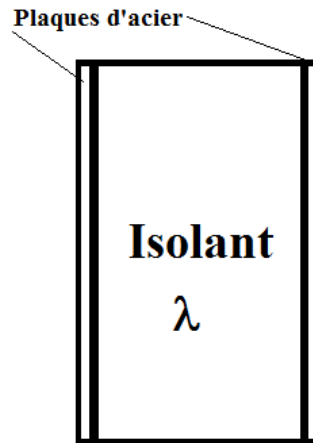
Matériau isolant		Masse volumique (kg/m^3)	Conductivité thermique W/m K
Polystyrène expansé		<u>10 à 30</u>	<u>0,0430 à 0,0361</u>
Laines minérales		<u>40 à 130</u>	<u>0,048 à 0,042</u>
Matériau proposé « textile avec agglomérant »		<u>160-260</u>	<u>0.5623-0.8175</u>

L'examen de ces résultats montre que le textile avec agglomérant (matériau proposé) présente une conductivité thermique sensiblement élevée, ce qui entraîne une perte de chaleur plus élevée. Le recours à une isolation composée de vêtements recyclés, bien qu'elle soit plus dense et plus lourde que des matériaux comme le polystyrène expansé ou la laine minérale, contribue à alourdir sensiblement l'ensemble du capteur solaire thermique.

En général, un panneau solaire thermique pèse entre 35 et 45 kg, soit environ 20 kg par mètre carré. Le poids varie en fonction du type de panneau, de la technologie utilisée et des matériaux constitutifs (comme l'isolation, le vitrage etc.).

IV.4.1. Détermination de la transmission thermique

Calcul de la résistance totale et de la transmission thermique pour l'isolation de textiles + agglomérant (isolant proposé).



Calcul de la résistance totale et de la transmission thermique pour l'isolation de textiles avec le plâtre.

a) Épaisseur de l'isolation : 60 mm

Résistance pour panneau textile d'une épaisseur de 60 mm et conductivité thermique de 0,5623

$R_t = (\text{épaisseur textile} / \lambda \text{ textile}) + \text{autres résistances}$

$$R_t = 60 \times 10^{-2} / 0.5623 + 0.233$$

Avec un panneau textile de 60 mm, calculons la résistance totale et la transmission thermique.

$$R_t = 0,34 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = 2.94 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \text{avec } U = 1/R_t$$

b) Épaisseur de l'isolation : 40 mm

Résistance pour panneau textile d'une épaisseur de 40 mm et conductivité thermique de 0,5623

$R_t = (\text{épaisseur textile} / \lambda \text{ textile}) + \text{autres résistances}$

$$R_t = 40 \times 10^{-2} / 0.5623 + 0.233 = 0.282$$

Avec un panneau textile de 40 mm, calculons la résistance totale et la transmission thermique.

$$R_t = 0.282$$

$$U = 1/R_t = 3,53 \text{ W/m}^2\text{K}$$

c) Épaisseur de l'isolation : 30 mm

Résistance pour panneau textile d'une épaisseur de 40 mm et conductivité thermique de 0,5623

Chapitre III : Résultats & discussion

$R_t = (\text{épaisseur textile} / \lambda \text{ textile}) + \text{autres résistances}$

$$R_t = 30 \times 10^{-2} / 0.5623 + 0.233 = 0,27$$

Avec un panneau textile de 30 mm, calculons la résistance totale et la transmission thermique.

$$R_t = 0,27$$

$$U = 1 / R_t = 3,707 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tableau III 4 Tableau des Valeurs de Résistance Thermique et de Transmission pour les Compositions Textiles-Plâtre

	Épaisseur (mm)			
	30	30	40	60
Matériau isolant	Polystyrène expansé	Textile + agglomérant	Textile + agglomérant	Textile + agglomérant
Densité (kg/m ³)	15	<u>159.02</u>	<u>195.34</u>	<u>267.78</u>
Conductivité thermique λ (W/mK)	0,0413	<u>0,8175</u>	<u>0,8012</u>	<u>0,5623</u>
Résistance totale R_t (m ² K/W)	0,95	<u>0,5336</u>	<u>0,7114</u>	<u>1,0671</u>
Transmission Thermique U (W/m ² K)	1,05	<u>1,874</u>	<u>1,40559</u>	<u>0,937</u>

La réglementation relative à la résistance thermique des capteurs solaires thermiques a pour objectif d'assurer la performance énergétique et la sécurité des systèmes en établissant des normes et des exigences spécifiques concernant leur conception, leur installation et leur fonctionnement.

La résistance thermique admissible d'un capteur solaire plan varie selon plusieurs paramètres. Toutefois, une résistance thermique élevée est généralement recherchée afin de limiter les pertes de chaleur.

Chapitre III : Résultats & discussion

A titre indicatif, une valeur d'au moins $1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ est souvent considérée comme un bon compromis pour garantir une efficacité thermique satisfaisante dans ce type de capteurs.



Conclusion Générale



Conclusion générale

Ce travail repose sur une méthodologie innovante visant à isoler la partie inférieure ainsi que les façades latérales d'un capteur solaire plan destiné au chauffage de l'air sanitaire, en utilisant des matériaux textiles recyclés.

Le plâtre a été utilisé comme agglomérant dans la fabrication d'éprouvettes en forme de cylindres creux, en raison de sa facilité de mise en œuvre, de son homogénéité, ainsi que de ses performances améliorées une fois l'échantillon finalisé.

Les températures ont été mesurées pour chaque éprouvette à l'aide d'un système d'acquisition de données basé sur Arduino. Les éprouvettes ont été soigneusement scellées, la sonde de température T₄ présentant la variation thermique la plus lente, comme prévu, ce qui confirme l'absence d'infiltration d'air chaud dans l'éprouvette.

La conductivité thermique a ensuite été déterminée avec succès à l'aide d'un programme Excel, selon une méthode itérative fondée sur les températures expérimentales relevées en différents points du chaque cylindre creux.

La conductivité thermique des matériaux isolants constitue un paramètre essentiel dans la performance des capteurs solaires plans. Un faible coefficient de conductivité thermique est recherché afin de limiter les pertes thermiques et d'optimiser le rendement du capteur.

A cette fin, nous avons comparé le matériau isolant issu du recyclage de textiles à la laine minérale et au polystyrène expansé, deux isolants couramment utilisés dans le domaine de l'isolation thermique.

Les résultats obtenus montrent que le matériau à base de déchets textiles présente une conductivité thermique relativement faible, une densité modérée et une résistance thermique satisfaisante. Ces caractéristiques en font une solution d'isolation thermique durable et économique, offrant un bon compromis entre performances thermiques et impact environnemental réduit.

Cette étude contribue, à la fois, à l'innovation technologique dans le domaine de l'énergie solaire et à la réduction de l'impact environnemental du secteur textile. Elle ouvre également la voie à de futures recherches, notamment sur l'optimisation des procédés de recyclage, l'amélioration des performances thermiques et l'élargissement des applications possibles de ces matériaux écologiques.



Références bibliographiques



Bibliographie

- [1] «Radiateur Eternity. Disponible sur : <https://radiateur-eternity.com>,» [En ligne].
- [2] «Baudelot c. "Industrie de la mode : les effets très limités du recyclage des textiles". The Conversation. Disponible sur : <https://theconversation.com/industrie-de-la-mode-les-effets-tres-limites-du-recyclage-des-textiles-145363>,» [En ligne].
- [3] «Alami i. "Surcycler des déchets textiles : une piste pour mieux isoler les bâtiments". The Conversation. Disponible sur : <https://theconversation.com/surcycler-des-dechets-textiles-une-piste-pour-mieux-isoler-les-batiments-207268>,» [En ligne].
- [4] «Ministère de l'environnement et des énergies renouvelables. Classification chimique des déchets et impacts environnementaux des déchets en Algérie. Direction Générale de la Gestion des Déchets, 2023. Document réglementaire national.,» 2023. [En ligne].
- [5] «GIZ & Ministère de l'Environnement. (2019). Étude sur la valorisation des déchets en Algérie.,» algérie, 2019.
- [6] «Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. (2006). Décret exécutif n° 06-104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets. Journal Officiel de la République Algérienne.,» *Journal Officiel de la République Algérienne*, n° %106_104, 2006.
- [7] «Boukhemis, D. (2022). Gestion des déchets en Algérie : Enjeux et perspectives. Éditions ANEP.,» 2022.
- [8] «CNTPP (2021). Rapport sur l'industrie textile en Algérie. Ministère de l'Industrie.,» algérie, 2021.
- [9] Oriane Marignier, «Projet REFEDER (UE, 2021). Recyclage des textiles en Méditerranée. (Cas de l'Algérie).,» Caractère Social (MECS)., algérie, 2021.
- [10] l'institution (CNTPP), «CNTPP (2021). Rapport sur l'industrie textile en Algérie. Ministère de l'Industrie.,» Centre national des technologies de production plus propre (CNTPP),, algeirié, 2021.
- [11] «Cemda (Centre d'Etudes et de Management du Développement Durable). (2018). Les défis liés à la gestion des déchets textiles en Algérie.,» 2018. [En ligne].
- [12] «Agence Nationale des Déchets (AND). (2022). Rapport national sur la gestion des déchets en Algérie. Alger : Ministère de l'Environnement.,» ministère de l'environnement, algérie, 2022.

- [13] «Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). (2021). Waste Management Outlook for Algeria. Nairobi : PNUE. Rapports annuels du PNUE,» PNUE, Algérie, 2021.
- [14] «Belhadj, M. (2020). Économie circulaire et recyclage des déchets en Algérie. Oran : Éditions Dar El Gharb.,» 2020.
- [15] Boukhelkhal, Boukhelkhal, A. (2019). La gestion des déchets solides en Algérie : défis et solutions. *Revue Environnement & Développement*, 12(3), 45-60., algérie: *Revue Environnement Développement*, 2019.
- [16] "Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2020). Special Report on Climate Change and Land.," IPCC, 2020.
- [17] «Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). (2022). Bilan environnemental du recyclage des textiles,» ADEME, ALGÉRIE, 2022.
- [18] MuTHU.S.S, "(2020). Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain. Woodhead Publishing. Assessing the environmental impact of textiles: summary and conclusions Pages 180-186," Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain. Woodhead Publishing., 2020.
- [19] M. K. Singh et AL, « (2019). "Recycled textile waste as a sustainable material for construction applications". *Journal of Cleaner Production*, 215, 123-132.,» 2019.
- [20] . B. Ana and Briga-Sá, "(2013). "Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution". *Construction and Building Materials* ,38, 155-160., " *Construction and Building Materials*, 2013.
- [21] A. Pegoretti, ", (2018). "Recycled fibers as reinforcement in composite materials: A review". *Composites Part B: Engineering* ,143, 1-12., " *Composites Part B: Engineering* ,, 2018.
- [22] G. Sandin et Peters, G. M, «(2018). "Environmental impact of textile reuse and recycling – A review". *Journal of Cleaner Production*, 184, 353-365.,» *Journal of Cleaner Production* , , 2018.
- [23] «Textiles Réinventés : L'Isolation Écoresponsable à Portée de Main, Conseils pour réussir l'isolation de sa maison - Isolationthermique.org».
- [24] J. Duffie et Beckman, W.A. , «(2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons.},» 2013.
- [25] U. R. Osorio, "Isolation thermique : définition et types : 28 juillet 2023}".

- [26] «Isolant thermique : liste exhaustive des matériaux et rapport qualité / prix} Auteur de l'articlePar Hugo Le Follézou Rédacteur rénovation & solaire».
- [27] «Propriétés des isolants thermiques - Science 2025
<https://fr.lamscience.com/properties-thermal-insulator>,» 2025. [En ligne].
- [28] «Tableau comparatif : la performance des isolants thermiques}».
- [29] «<https://www.neozone.org/innovation>,» [En ligne].
- [30] «<https://wiki.lowtechlab.org/wiki>,» [En ligne].
- [31] «Journal Officiel de la République Algérienne, n° 30, 9 juin,» *Journal Officiel de la République Algérienne*, n° 130,9, 2013.
- [32] «(JO n° 51,),» 2004.
- [33] «Algeria_Energy Efficiency Program in Algeria-APRUE,» APRUE,, algérie, 2015.
- [34] «Séminaire sur : « ISO 50001:2018 Systèmes de Management de l'Energie – (Exigences et Recommandations pour la Mise en oeuvre) » du 25 au 27 Février 2025 à l'Hôtel Sabri Annaba – IANOR – Institut Algérien de Normalisation,» 2025.
- [35] «(ISO, 2017 ; CEN, .,» 2012.
- [36] «(JO n° 61,),» 2010.
- [37] «DECRET N° 2020-206 Fixant les attributions du Ministre de l'Environnement et du Développement Durable ainsi que l'Organisation Générale de son Ministère. (MEDD, 2020).,» 2020.
- [38] «Capteurs solaires : types, fonctionnement, prix et installation| Choisir.com. Publié le 20/06/2024 | mis à jour le 20/06/2024 | par L'équipe Choisir.com,» [En ligne].
- [39] «Capteur solaire : rôle, types, fonctionnement, performance.,» [En ligne].
- [40] «Solaire thermique : guide complet et avantages | énergiieverte,» [En ligne].
- [41] «Solaire thermique : guide complet et avantages | énergiieverte,» [En ligne].
- [42] J. Taine, Enguehard, F and Iacona, E., " (2021). Transferts thermiques - 6e éd.: Introduction aux transferts d'énergie. Dunod . Auteur(s) de l'ouvrage Jean Taine Professeur émérite à Centrale Supélec, université Paris-Saclay., " : Introduction aux transferts d'énergie. Dunod , 2021.
- [43] L. Langston, «, Int. J. Heat Mass Transfer, 25, 149–150,,» 1982.

Références bibliographiques

- [44] M., "Cengel, Y., & Heat, T. (2003). Heat Transfer A practical approach. Mc-Graw Hill Education, Columbus, GA, USA., pp. 216," USA, 2003.



Les Annexes



Annexe N 1

Epaisseur 6 cm.

T (minutes)	T4 °C	T2 °C	T3 °C	T1 °C	T (minutes)	T4 °C	T2 °C	T3 °C	T1 °C
0	13,75	21,44	16,25	45,56	50	17,44	26,62	22,81	45,19
2	13,75	21,75	16,12	45,56	52	17,81	26,81	23,06	45,13
4	13,75	22,19	16,31	45,56	54	18,19	27,06	23,31	45,06
6	13,88	22,37	16,31	45,5	56	18,56	27,19	23,75	45,19
8	13,85	22,62	16,75	45,44	58	18,87	27,37	24,19	45,06
10	13,85	22,81	16,62	45,44	60	19,25	27,56	24,37	45,44
12	13,85	23,12	16,81	45,44	62	19,5	27,69	24,5	45,5
14	13,86	23,19	17,25	45,44	64	20	27,87	24,87	44,88
16	13,99	23,5	17,56	45,25	66	20,37	28,06	25,19	45
18	14	23,75	17,87	45,31	68	20,69	28,25	25,44	44,88
20	14,06	23,87	18	45,31	70	21,12	28,37	25,62	44,81
22	14,13	24,06	18,37	45,19	72	21,5	28,56	25,94	44,81
24	14,25	24,31	18,62	45,25	74	21,69	28,62	26,37	44,81
26	14,38	24,5	19	45,25	76	22,25	28,87	26,62	44,69
28	14,5	24,69	19,25	45,13	78	22,5	29	26,81	44,75
30	14,63	24,81	19,56	45,25	80	22,81	29,19	27,06	44,69
32	14,81	25	19,87	45	82	23,25	29,31	27,25	44,69
34	15,06	25,19	20,37	45,13	84	23,56	29,5	27,5	44,63
36	15,31	25,44	20,56	45,19	86	23,81	29,62	27,69	44,69
38	15,44	25,56	20,87	45,19	88	24,19	29,75	28,06	44,5
40	15,81	25,87	21,19	45,31	90	24,56	30	28,12	44,56
42	16,19	25,94	21,5	45,19	92	24,81	30,12	28,44	44,5
44	16,44	26,12	21,81	44,88	94	25,25	30,31	28,75	44,5
46	16,81	26,37	22,25	45,19	96	25,5	30,44	29	44,56
48	17,12	26,56	22,44	45,38	98	25,81	30,56	29,5	44,44

Epaisseur 4 cm

T (minutes)	T4 °C	T2 °C	T3 °C	T1 °C	T (minutes)	T4 °C	T2 °C	T3 °C	T1 °C
0	13,56	14,56	14,94	18,75	50	14,81	20,12	18,37	46,44
2	13,69	14,56	15,63	21,62	52	14,88	20,25	18,5	46,5
4	13,69	14,75	15,44	40,5	54	15,06	20,37	18	46,38
6	13,56	15,31	15,44	44,94	56	15,25	20,62	18,31	46,5
8	13,63	15,75	15,75	46,25	58	15,5	20,69	19,06	46,38
10	13,56	16,19	15,75	46,69	60	15,56	20,87	19,12	46,25
12	13,5	16,62	15,63	47	62	15,75	21	19,06	46,13
14	13,63	16,81	15,75	47,13	64	15,88	21,12	19,06	46,06
16	13,69	17,12	16,31	47,25	66	16,06	21,25	19,5	46,13
18	13,63	17,37	15,75	47,25	68	16,19	21,5	20,06	46
20	13,75	17,56	16,25	47,25	70	16,44	21,5	20,12	46,06
22	13,69	17,75	15,81	47,25	72	16,56	21,69	20,25	46
24	13,69	18	15,81	47,25	74	16,81	21,87	20,31	45,88
26	13,81	18,19	16,31	47,25	76	16,94	21,94	20,69	45,88
28	13,81	18,37	16	47,19	78	17,19	22,19	20,75	45,88
30	13,88	18,56	16,19	47,13	80	17,31	22,37	21	45,75
32	14	18,75	16,81	46,94	82	17,44	22,44	21,25	45,75
34	14,06	18,94	16,19	46,88	84	17,69	22,62	21,44	45,63
36	14,19	19,06	16,19	46,88	86	17,94	22,69	21,75	45,5
38	14,19	19,19	16,75	46,75	88	18,19	22,87	21,87	45,44
40	14,38	19,37	16,5	46,75	90	18,31	23,06	22,12	45,38
42	14,38	19,56	17,44	46,69	92	18,5	23,19	22,56	45,44
44	14,5	19,69	17,75	46,69	94	18,62	23,31	22,56	45,38
46	14,69	19,81	18	46,5	96	18,94	23,44	22,81	45,5
48	14,75	20	18,25	46,44	98	19,19	23,69	23	45,5

Epaisseur 3 cm.

T (minutes)	T4 °C	T2 °C	T3 °C	T1 °C	T (minutes)	T4 °C	T2 °C	T3 °C	T1 °C
0	13,81	19,12	18,19	49,19	50	16,06	24,37	25,12	49,06
2	13,88	19,31	18,19	49,5	52	16,19	24,37	26	49,13
4	13,88	19,62	18,31	49,63	54	16,37	24,56	25,81	48,94
6	13,94	19,94	18,5	49,63	56	16,62	25	26,06	48,81
8	13,94	20,19	18,75	49,75	58	16,75	25,19	26,25	48,75
10	14,06	20,37	19	49,69	60	16,94	25,44	26,69	48,56
12	14,13	20,56	19,37	49,63	62	17,12	25,5	27	48,56
14	14,13	20,75	19,75	49,56	64	17,31	25,81	27,12	48,5
16	14,19	21	20,19	49,5	66	17,44	26	27,06	48,5
18	14,31	21,31	20,37	49,5	68	17,69	26,19	27,87	48,31
20	14,38	21,44	20,56	49,44	70	17,87	26,37	27,94	48,31
22	14,5	21,5	21	49,31	72	18,06	26,69	28,31	48,31
24	14,5	21,87	21,44	49,31	74	18,25	26,81	28,31	48,31
26	14,69	22	21,69	49,31	76	18,37	26,94	28,56	48,19
28	14,75	22,25	22	49,31	78	18,62	27,19	28,87	48,19
30	14,81	22,37	22,31	49,19	80	18,75	27,37	29,19	48,19
32	14,88	22,5	22,62	49,06	82	19,06	27,62	29,56	48,06
34	15	22,81	23,06	49,06	84	19,19	27,87	29,62	48,13
36	15,06	23	23,19	49,19	86	19,37	28	29,94	48,19
38	15,25	23,31	23,25	49,06	88	19,62	28,31	30,19	48,19
40	15,38	23,37	24,37	49,06	90	19,81	28,56	30,37	48,13
42	15,56	23,69	23,25	49	92	20	28,81	30,62	48,06
44	15,69	23,75	25	48,94	94	20,25	28,87	30,94	48,06
46	15,81	24	23,94	48,81	96	20,56	29,12	31,12	48
48	15,88	24,25	25,5	48,94	98	20,62	29,37	31,31	47,94

Annexe N 2

Représentation de la conduction transitoire unidimensionnelle d'un cylindre de rayon R_0

(Température en fonction du temps de la ligne du centre d'un cylindre infini de rayon R_0 [99])

