

FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE  
N° :PhENR15/2019.....



DOMAINE : Sciences de la matière  
FILIERE : Physique  
OPTION : Physique Energétique  
et Energies Renouvelables

Physique Energétique et Energies Renouvelables

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Réalisé par:

SAFI Noureddine

MEGUIRECHE Hamza

Intitulé

Valorisation de matériaux géo- et bio-sourcés pour la  
construction durable

Soutenu le 01 /07 /2019 devant le jury composé de:

Dr : R.BENDERRADJI	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Président
Dr : N.BENMANSOUR	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Rapporteur
Dr : F.TAHROUR	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Examinateur

Année universitaire : 2018/2019

## ***DÉDICACES***

*JE DÉDIE CE TRAVAIL:*

*À MA MÈRE ET MON PÈRE QUI ME SONT  
LES PLUS CHERS AU MONDE*

*À MES FRÈRES ET SŒURS, À MA FAMILLE  
À TOUS MES AMIS ET COLLÈGUES*

*À TOUS MES ENSEIGNANTS QUI M'ONT ÉCLAIRÉ SUR CE CHEMIN  
DU SAVOIR.*

*À TOUS CEUX QUI M'ONT AIDÉ À FINIR CE  
MÉMOIRE.*

***SAFI NOUREDDINE.***

# أهدى

أهدى ثمرة جهدي هذه إلى بلد المليون ونصف المليون شهيد....  
جزائرنا الغالية  
إلى أبي...إلى أمي.....حفظهما الله اللذان هما سبب وجودي  
إلى اخوتي .....عماد و صلاح اللذان هما سندي  
إلى اخواتي.....نور و عبير  
.....نورا عيني  
إلى من سعتهم ذاكرتي.....ولم تسعهم مذكرتي  
إلى هؤلاء جميعا اهدى عملي المتواضع هذا.

حمزة مقبرش

# ***Remerciements***

*Nous remercions notre ALLAH de nous avoir aidé pour atteindre ce but, de nous avoir donné la force et la patience afin d'accomplir ce travail.*

*Nous tenons aussi à présenter nos remerciements à notre encadreur Dr : **Nadia BENMANSOUR**. Pour sa précieuse collaboration à la réalisation de ce modeste mémoire de fin d'étude.*

*Nos remerciements également les membres du jury, **Dr:R.BENDERRADJ** et **Dr:F.TAHROUR**. pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail.*

*Nos remerciements sont, également adressés au chef de faculté **Dr : Tayeb BENSACI**, et chef de notre département **Dr : Nadjib BAADJI**, et aux enseignants de département de physique, qui nous ont dirigé durant ce parcours de formation afin de construire et les transmettre après.*

*A tous nos collègues de cette particulier ceux qui ont nous aidé vers le succès et à tous qui ont contribué de réaliser ce travail ou de loin.*

# Table des matières

<b>Dédicace</b>	
<b>Remerciement</b>	
<b>Table de matières</b>	
<b>Nomenclature</b>	
<b>Introduction</b>	

## Chapitre I : Construction durable et Matériaux d'isolation Thermique

<b>I. Construction durable</b>	<b>1</b>
<b>II. Rappel de l'habitat écologique</b>	<b>1</b>
<b>III. Isolation thermique et matériaux isolations</b>	<b>2</b>
III.1. ISOLATION THERMIQUE :	2
III.1.1. Fondamentaux de la thermique	2
III.1.2. Avantages d'isolation thermique	3
III.2. MATÉRIAUX ISOLANTS	4
III.2.1. Matériaux geosourcés	4
III.2.2. Matériaux Bio-sourcés	5

## Chapitre II : Matériaux composite à base des matériaux biosourcés

<b>I. Matériaux composites</b>	<b>13</b>
I.1. DÉFINITION	13
I.2. COMPOSITE À BASE DE MORTIER ET DE FIBRES DE PALMIER DATTIER, MORTIER :	14
<b>II. CARACTÉRISTIQUES THERMOPHYSIQUES ET MÉCANIQUES DES FIBRES DE BOIS DE PALMIER DATTIER</b>	<b>16</b>
II.1. PROPRIÉTÉS THERMOPHYSIQUES	16
II.2. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES.	17
<b>III. SYNTHÈSE SUR LES COMPORTEMENTS THERMOPHYSIQUES DE QUELQUES MATÉRIAUX COMPOSITES À BASE DE FIBRES NATURELLES</b>	<b>18</b>

## Chapitre III: Modélisation numérique du transfert de chaleur dans les composites

<b>I. MODÉLISATION NUMÉRIQUE ET MÉTHODES DE CALCULE</b>	<b>21</b>
I.1. MODÉLISATION NUMÉRIQUE	21
I.2. PROPRIÉTÉS DES FIBRES ET DE LA MATRICE	22
I.3. ÉTAPES DE MODÉLISATION :	22
I.4. MÉTHODES DE CALCULE	27
<b>II. RÉSULTATS ET DISCUSSION</b>	<b>27</b>
II.1. CONDUCTIVITÉ THERMIQUE	27
II.2. DIFFUSIVITÉ THERMIQUE	29
II.2.1. Comparaison entre les résultats numériques, résultats expérimentaux	30
II.3. RÉSISTANCE THERMIQUE	34
II.4. COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE	36
II.5. LE DÉPHASAGE THERMIQUE.	38
<b>CONCLUSION.</b>	<b>40</b>

## Nomenclature

Symbol	Definition	Unite
k	Conductivité thermique	$(w.m^{-1}.k^{-1})$
R	Résistance thermique	$(m^2.k/w)$
U	Coefficient de transmission calorifique	$(w/ m^2.k)$
$D_f$	Déphasage thermique	$(s/ m)$
a	Diffusivité thermique	$(m^2/s)$
q	Flux thermique	w
T	Température	(c)
$\varphi$	Concentration de fibre de bois	(%)
e	Epaisseur	(m)
C	Capacité thermique	$kWh/m^3.°C$
$\rho$	Masse volumique	$Kg/m^3$
FPD	Fibres de palmier dattier	-
M	Mortier	-

# Introduction générale

---

## **Introduction**

La durabilité des constructions est devenue un enjeu majeur de notre époque jusqu'à une époque récente, il ne s'agissait que de juxtaposer différents matériaux, chacun obéissant à un cahier des charges particulier. Aujourd'hui, les coûts et l'encombrement deviennent des préoccupations essentielles tout comme les contraintes liées à l'environnement et à l'analyse du cycle de vie. La tendance actuelle dans la construction individuelle est donc de favoriser des produits composites capables de remplir plusieurs usages.

Le professionnel de la construction ne cherche plus seulement la performance mécanique mais il tente également d'améliorer les qualités thermiques des matériaux. Ce changement de point de vue explique le développement récent de bétons allégés, capables de jouer un rôle en tant qu'isolants, tout en maintenant des niveaux de performances suffisants [1].

La plupart des bâtiments, d'habitation ou industriels, constituent des systèmes dont la consommation d'énergie est importante si l'on désire assurer un confort thermique acceptable par leurs occupants. De ce fait, la mise en œuvre d'un programme d'économie d'énergie dans les bâtiments devrait être une des actions prioritaires à entreprendre [2].

A l'heure actuelle, on retrouve un intérêt dans l'utilisation de matériaux d'origine naturelle tels que le bois, la paille, le chanvre, le lin, la brique de terre cuite, la laine de mouton. Les matériaux naturels peuvent contribuer à limiter de manière non négligeable les émissions de gaz à effet de serre grâce à leur capacité d'emprisonnement du CO<sub>2</sub>. De plus, l'utilisation de matériaux naturels avec des constructions innovantes permet également de réduire le coût de construction [3].

En effet, l'utilisation des matériaux composites à base de matériaux naturelles est une bonne réponse dans le souci de préserver la santé de l'homme, de répondre à ses besoins de bien-être et de confort et de réduire les impacts environnementaux [4].

C'est dans ce contexte que le présent travail s'intéresse à la valorisation de matériaux géo-sourcés et surtout bio-sourcés pour la construction durable, spécialement, pour l'isolation thermique dans l'habitat. Dans ce travail, les propriétés thermiques de deux biocomposites sont déterminées numériquement.

Ce mémoire est scindé en trois chapitres:

Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique sur la construction durable et les matériaux d'isolation thermique dans l'habitat.

Le deuxième chapitre présente une généralité sur les composites à base des matériaux biosourcés, notamment les fibres végétales de palmier dattier.

Le troisième chapitre est dédié à une étude numérique des propriétés de transports thermique de deux matériaux composites ; mortier/FPD, et polymère/FPD.

## **Références**

- [1] M. Tlijani, « Contribution à la caractérisation thermophysique de matériaux bio-isolants : valorisation des déchets de bois de palmier », THÈSE de Doctort. Université Paris est – Créteil, 2016.
- [2] P. Meukam, "Valorisation des briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiment," Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, 2004, pp. 157.
- [3] A. Kareche Abdelhak, « Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert. », Mémoire de Magister, Université Hadj Lakhdar Batna. Soutenu le 03 février 2014.
- [4] H. Khaldoune, "Modélisation numérique de comportement thermophysique de composite de mortier à base des fibres de palmier dattier", Mémoire de Master Académique. Université Mohamed Boudiaf - M'SILA. Soutenu le 25/05/2017.

# Chapitre I : Construction durable et Matériaux d'isolation Thermique

---

## **I. Construction durable**

La construction durable également dénommée Écoconstruction, ou encore “Green Building”, la Construction durable a pour objectif un haut niveau de performance en matière d’impact environnemental et sociétal des bâtiments concernés. Elle vise notamment à préserver les ressources (matières premières, énergie, eau), à lutter contre le réchauffement climatique (émission de gaz à effet de serre), à limiter les déchets et autres pollutions, ainsi qu’à privilégier le confort et la santé des occupants par l’usage de matériaux de haute qualité sanitaire et environnementale, tant pour la construction proprement dite que pour l’isolation (thermique et acoustique) [1].

Les bénéfices de la construction durable se déclinent sur deux plans : celui de l’environnement et celui de la qualité de vie des occupants.

Au plan environnemental, on notera particulièrement :

- La priorité donnée aux matériaux locaux, renouvelables, bio-sourcés et recyclables

Pour les occupants, les avantages principaux sont :

- Un environnement sain (qualité de l’air intérieur), dénué de tout polluant lié aux matériaux
- Un confort de vie amélioré (isolation acoustique et thermique, gestion optimisée des sources d’énergie et de la luminosité...)

## **II. Rappel de l’habitat Ecologique**

La maison écologique est conçue pour éviter toute déperdition thermique et profiter au maximum des apports thermiques du soleil. Sa conception est nommée l’architecture bioclimatique et sa réalisation une construction écologique. Sa forme est compacte pour réduire la surface d’échange et toute protubérance pouvant servir de ‘radiateur’ (comme les balcons liés à la structure) est prohibée.

Sa façade est tournée vers le soleil (façade Sud dans l’hémisphère Nord) et ses ouvertures sont majoritairement placées dans cette façade. Des ouvertures moins nombreuses et plus petites peuvent être pratiquées dans les façades Est et Ouest et la façade Nord n’en a pas ou très peu.

L’enveloppe (murs, toiture, dalle sur sol ou cave) est super isolée pour réduire les échanges thermiques avec l’extérieur. Les ponts thermiques (par exemple, les dalles de balcon si courantes

dans l'architecture actuelle) doivent être bannies et leur suppression doit être le souci à la fois du concepteur (architecte) et de tous les intervenants dans la réalisation de la maçonnerie, pose de l'isolation et des cloisons de doublage, des chapes et des plafonds [2].

En effet, dans le cadre du développement durable, les nouvelles réglementations en matière d'isolation thermique dans le secteur du bâtiment, incitent les scientifiques à la recherche de nouveaux matériaux pour constituer des systèmes économes en énergie tout en assurant le confort de l'habitat.

L'isolation est la clé du confort thermique. Selon l'Ademe (l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), la chaleur s'échappe d'une maison mal isolée à 30% par les combles et les toitures, à 25% par les murs, à 10% et 15% par les vitres et les fenêtres et 7% ou 10% par les sols. Le projet d'isolation thermique prendra donc en compte les différents éléments du bâtiment [3].

### **III. Isolation thermique et Matériaux isolations**

#### **III.1. Isolation thermique**

L'isolation thermique est la propriété que possède un matériau de construction pour diminuer le transfert de chaleur entre deux ambiances. Elle permet à la fois de réduire les consommations d'énergie de chauffage ou de climatisation (limite les déperditions en hiver et les apports en été), et d'accroître le confort (maintien des températures et l'hygrométrie aux niveaux de confort d'été comme d'hiver et règle le problème de parois froides en hiver et chaudes en été). Selon la littérature, l'isolation thermique est une technique ou un moyen matériel (un matériau ou combinaison de matériaux) de limiter les transferts de chaleur par conduction, convection et rayonnement entre l'extérieur et l'intérieur d'un logement. Il retarde le flux de chaleur à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment en raison de sa haute résistance thermique [4].

##### **III.1.1. Fondamentaux de la thermique**

###### **➤ Conductivité thermique (K exprimée en W/m.°C)**

Cette valeur définit le flux de chaleur traversant 1 mètre de matière. C'est la capacité d'un matériau à transmettre ou à retenir la chaleur. Elle permet de comparer la capacité à isoler, de plusieurs matériaux de même épaisseur soumis à 1 degré d'écart entre ses 2 faces.

$$K = q (e / \Delta T) (W/m. K) \dots\dots\dots 1$$

Plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau est isolant.

➤ **Résistance thermique (R exprimée en m<sup>2</sup>. °C/W)**

La résistance thermique définit la capacité d'un matériau à isoler pour une épaisseur donnée. Cette valeur est dans la réglementation thermique actuelle, utilisée pour garantir des performances minimales. Pour le calcul de cette valeur, la méthode est simple, il faut diviser l'épaisseur du matériau (en mètre) par le coefficient de conductivité thermique  $\lambda$  (Elle est donnée par le certificat ACERMI ou la fiche technique du fabricant).

$$R = e/K \text{ ( m}^2 \cdot \text{°K/W )} \dots\dots\dots 2$$

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

➤ **Coefficient de transmission surfacique (U exprimée en W/m<sup>2</sup>.°C)**

Il est utilisé pour caractériser une paroi dans sa globalité avec l'ensemble des matériaux qui la compose. Il représente le flux de chaleur qui traverse 1m<sup>2</sup> de paroi pour une différence de température de 1°C entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment. Il s'agit simplement de l'inverse de la résistance thermique R.

$$U = 1/ R \text{ ( W/m}^2 \cdot \text{°K)} \dots\dots\dots 3$$

Plus le coefficient de transmission surfacique est faible plus la paroi est isolante.

➤ **Masse volumique ou la densité ( $\rho$  exprimée en Kg/m<sup>3</sup>)**

Cette valeur permet de connaître la masse d'un matériau par unité de volume. Cette notion permet d'évaluer le comportement d'un matériau face à la propagation de chaleur, car plus cette valeur est élevée plus le matériau sera capable d'emmagasiner la chaleur et donc de la retenir. Par ailleurs cette information permet d'adapter un matériau à un choix d'application. Pour garantir la durabilité d'un complexe d'isolation en accroche verticale ou en extérieur, il est préférable de choisir un isolant à haute densité pour une meilleure stabilité.

➤ **Capacité thermique (C exprimée en kWh/m<sup>3</sup>. °C)**

Elle représente la capacité du matériau à stocker la chaleur, autrement dit, de sa capacité d'inertie. Elle contribue au confort d'été en atténuant les variations de chaleur extérieure et en permettant un lissage de la température intérieure.

**III.1.2. Avantages d'isolation thermique**

L'intérêt principal de l'isolation thermique c'est qu'elle permet de réduire la dépendance sur les systèmes (mécanique/ électrique) pour exploiter le bâtiment confortablement et, par conséquent, conserve l'énergie et les ressources naturelles associées. En plus de confort thermique, il existe

également plusieurs autres avantages de l'utilisation d'isolation thermique dans le bâtiment qui peuvent être résumées comme suit [4].

✓ **Avantage économique**

Des économies d'énergie importantes peuvent être atteintes à l'aide d'utilisation d'isolation thermique, avec peu de dépenses en capital. Il réduit les coûts d'exploitation de l'énergie.

✓ **Avantage environnemental**

L'utilisation d'isolation thermique non seulement réduit les coûts d'exploitation de l'énergie, mais entraîne également des avantages environnementaux comme la valorisation des déchets rejetés qui causent des émissions polluantes.

✓ **Réduire le niveau de bruit**

L'isolation peut réduire le bruit nuisible et stressant des espaces voisins ou de l'extérieur. Cela améliore le confort acoustique des bâtiments isolés.

## **III.2. Matériaux isolants**

La construction durable utilise des matériaux de construction et d'isolation écologiques tels que les pierres, la brique de terre crue, le chanvre, la paille, la fibre de bois, la laine de mouton, les ouates de cellulose;...etc. On présente dans ce travail quelques matériaux.

### **III.2.1. Matériaux geosourcés**

➤ **La pierre naturelle**

La pierre naturelle est un matériau présent dans le domaine de la construction depuis toujours et qui se prête aux utilisations les plus diverses. En effet, ses couleurs variées, ses différentes finitions ainsi que la plage étendue de ses caractéristiques physico-chimiques font qu'elle s'intègre harmonieusement quel que soit le style.

La pierre naturelle possède de nombreux atouts qui font d'elle un matériau de construction et de décoration polyvalent. D'un point de vue esthétique, la pierre naturelle possède une palette de couleurs très étendue entre le blanc et le noir en passant par le vert, le rose, le beige, le gris, etc. La taille des grains plus ou moins fins ainsi que des textures originales font que chaque pierre est unique. En plus de son aspect, la pierre naturelle permet la réalisation d'éléments de construction de toutes formes grâce aux progrès dans le domaine de l'usinage [5].

## ➤ **La terre crue**

Un nouveau matériau pour la ville de demain 40 % des habitations dans le monde sont construites en terre crue. Pourtant cette matière brute est Aujourd'hui mal connue des professionnels de la construction français et Européens qui ne l'exploitent que très peu. Cette matière offre pourtant des réponses à certains défis environnementaux majeurs [6]. Les applications « terre crue » que l'on retrouve dans le bâtiment se font sous forme de plusieurs techniques : le pisé, la bauge, le torchis, les briques et de nombreux enduits à base de terre.

C'est un matériau 100% naturel A l'heure où certains matériaux de construction se font rares, la terre est disponible et abondante sous nos pieds partout dans le monde, ou presque. En tant que matériau géosourcé, la terre a un impact très faible sur l'environnement :

- **Crue** : la terre est transformée par des processus mécaniques uniquement.
- **Locale** : elle ne nécessite pratiquement pas de transports, la ressource étant sur le lieu des projets ou à proximité.
- **Recyclable à l'infini** : elle peut être réutilisée comme matière première ou retourner « à la Terre » sans générer de pollution lors de la démolition des bâtiments à partir du moment où le matériau n'est pas stabilisé au ciment ou à la chaux. Un matériau sain aux nombreuses vertus pour le confort intérieur. Les propriétés de la terre garantissent également un confort de vie au sein des bâtiments et contribuent au bien-être des usagers.
- **Qualité d'inertie thermique** : les murs de terre, en stockant ou en déstockant l'énergie captée avec un déphasage journalier favorable, agissent sur les températures intérieures et permettent de lisser leurs variations en été comme en hiver.
- **Régulateur hygrométrique** : la terre réagit rapidement aux variations d'humidité de son environnement et permet, en absorbant ou en relâchant celle-ci sous forme de vapeur d'eau, de réguler le taux d'humidité de l'air ambiant.
- **Matériau naturel** : la terre ne comporte aucun produit chimique et/ou polluants et une bonne quantité de vie intérieure. Elle garantit donc des constructions sans danger pour la santé des habitants [6].

### **III.2.2. Matériaux bio-sourcés**

#### ➤ **Les matériaux bio-sources, enjeux stratégiques de la bio-économie**

Afin de faire face aux enjeux du changement climatique et de la surexploitation des ressources naturelles, le Commissariat Général au Développement Durable du Ministère en charge de l'Écologie a identifié dès 2013 la valorisation des « matériaux bio-sources » (ou biomatériaux) et la « chimie verte » comme deux des 19 filières stratégiques de l'économie verte, porteuses de

croissance et d'emplois. Les filières de matériaux bio-sourcés ont connu un développement significatif ces dernières années. Grâce à un soutien financier continu à la R&D, les pouvoirs publics ont accompagné le développement de ces filières, qui représentent aujourd'hui une réalité économique. Les produits bio-sourcés peuvent se substituer aux matériaux conventionnels dans de nombreux secteurs d'application pour des usages déjà définis ou d'autres encore en développement.

Le contexte politique et réglementaire actuel offre de réelles perspectives de développement à l'utilisation des matériaux bio-sourcés, tant pour la construction neuve que pour la rénovation énergétique de l'habitat. L'entrée en vigueur de la Réglementation Thermique 2012, qui a consacré les Bâtiments Basse Consommation dans la construction neuve et le lancement récent du Plan de Rénovation Énergétique de l'Habitat, qui vise à accompagner les particuliers dans leurs travaux de rénovation sont autant de signaux positifs au développement de la filière. Bénéficiant d'atouts environnementaux intrinsèques reconnus dans la loi de transition énergétique pour la croissance verte, les matériaux de construction bio-sourcés peuvent apporter des réponses aux attentes d'un secteur particulièrement consommateur de matières premières et émetteur de gaz à effet de serre, tout en s'appuyant sur des filières économiques locales à fort potentiel de croissance. Le label « bâtiment bio-source », instauré par le décret n° 2012-518 du 19 avril 2012, vise par ailleurs à mettre en exergue les bâtiments intégrant un certain pourcentage de matériaux bio-sourcés [7].

### ➤ **Définition**

Les matériaux bio-sources incorporent de la biomasse végétale ou animale, les rendant renouvelables, performants et plus sains que les matériaux conventionnels. Ils sont particulièrement adaptés aux enjeux actuels du secteur du bâtiment.

Utiliser les matériaux bio-sources peut permettre de passer de bâtiments vétustes, inconfortables et ruineux à des bâtiments performants économiquement, socialement et environnementalement.

### ➤ **Pourquoi utiliser les matériaux bio-sourcés ?**

L'utilisation de matériaux biosourcés concourt significativement au stockage de carbone atmosphérique et à la préservation des ressources naturelles. C'est pourquoi elle est encouragée par les pouvoirs publics lors de la construction ou de la rénovation des bâtiments.

Dans les paragraphes suivants, nous allons présenter les matériaux biosourcés les plus utilisés.

- **Fibres de bois**

Les fibres de bois sont obtenues par défilage de chutes de bois résineux. Elles peuvent être utilisées en vrac ou transformées sous forme de panneaux. Pour ce faire une pâte épaisse est formée par adjonction d'eau et d'adjuvants [7].

✓ **Avantages et Inconvénients**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pare pluie + pare vents + isolant thermique et phonique.</li> <li>▪ Coupures de ponts thermiques en tant que pare pluie.</li> <li>▪ Bon régulateur hygrométrique.</li> <li>▪ Ressource renouvelable et de grande disponibilité.</li> <li>▪ Le bilan du bois et des autres fibres végétales comme fixateurs de CO2 reste très largement positif par rapport à tous leurs concurrents.</li> <li>▪ Pas de dégagements toxiques en cours d'utilisation.</li> <li>▪ Bon isolant phonique</li> <li>▪ Inertie thermique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Présentations bitumées à exclure à l'intérieur.</li> <li>▪ Les bitumés dégagent plusieurs gaz toxiques,</li> <li>▪ dont le sulfure d'hydrogène.</li> <li>▪ Coûts élevés.</li> <li>▪ Energivore.</li> </ul>

- **Paille**

La paille provient de la tige de certaines graminées dites céréales (blé, orge, avoine, seigle, etc.), coupée lors de la récolte des grains.

L'utilisation de la paille en construction, sous forme de torchis pour les murs ou en chaume pour la toiture, est très ancienne. L'utilisation de bottes de paille dans la construction d'un bâtiment est apparue aux Etats-Unis à la fin du XIXe siècle, et la première maison française construite à partir de bottes de paille date de 1921. Depuis, de nombreuses techniques se sont développées, et la paille est aujourd'hui valorisable dans la construction sous différentes formes [7].

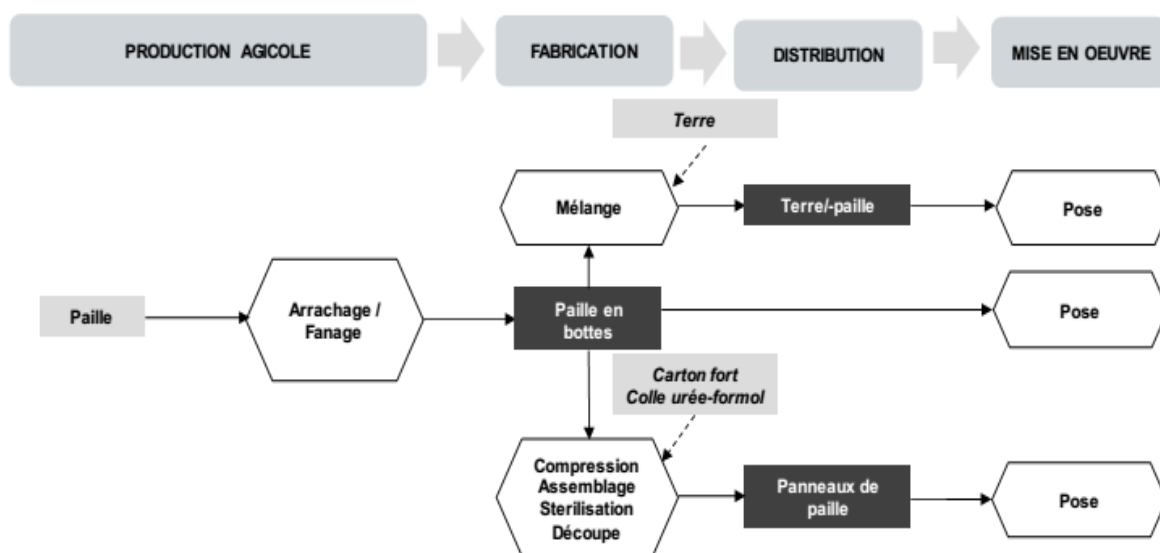
## ✓ Performances thermiques et phoniques

La paille présente des qualités thermiques certaines, sans toutefois se distinguer par son excellence. Son coefficient de conductivité est en effet compris entre 0.050 et 0.075 W/m.k.

Selon le conditionnement, c'est de plus un matériau thermorégulateur et hygro-régulateur. Enfin, elle présente de bonnes performances phoniques [3].

La paille est valorisable sous forme de bottes de paille (construction de murs autoporteurs ou remplissage d'une structure porteuse en bois), torchis (enduit isolant), ou encore mélange terre-paille (pour un rôle structural en remplissage de banches ou sous forme d'enduit isolant).

La paille peut également être valorisée sous la forme de panneaux compressés pour la fabrication de cloisons d'intérieur ou de doublage, mais il n'y a plus de fabricant français de ces produits depuis la liquidation de la société Stramentech basée à Neuvy-Pailloux (Indre) en juillet 2016 [7].



**Figure I.1** : La paille dans la construction : de la production agricole à la mise en œuvre

Les Avantages de Paille sont résumés dans le tableau suivant [8] :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Bonnes performances thermique et acoustique</li><li>▪ Très bonne contribution au confort d'été</li><li>▪ Les constructions et rénovations en bottes de paille sont facilement assurables, car Couvertes par des règles professionnelles</li><li>▪ Ressource répartie uniformément sur le territoire français</li><li>▪ Les bottes ne nécessitent aucune transformation, aucun traitement en œuvre</li><li>▪ Coût modéré</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pour les panneaux de paille compressée, les colles peuvent formaldéhydes</li><li>▪ Pour le remplissage en bottes de paille, épaisseur importante des murs pour atteindre une bonne performance thermique</li><li>▪ Poids des bottes de paille</li></ul>

La figure I.2 présente les 3 types différents de la paille.



**Bottes de Paille**



**Enduit Terre/Paille**



**panneaux de paille**

**Figure I.2 : Types des Pailles [8].**

➤ **Le chanvre**

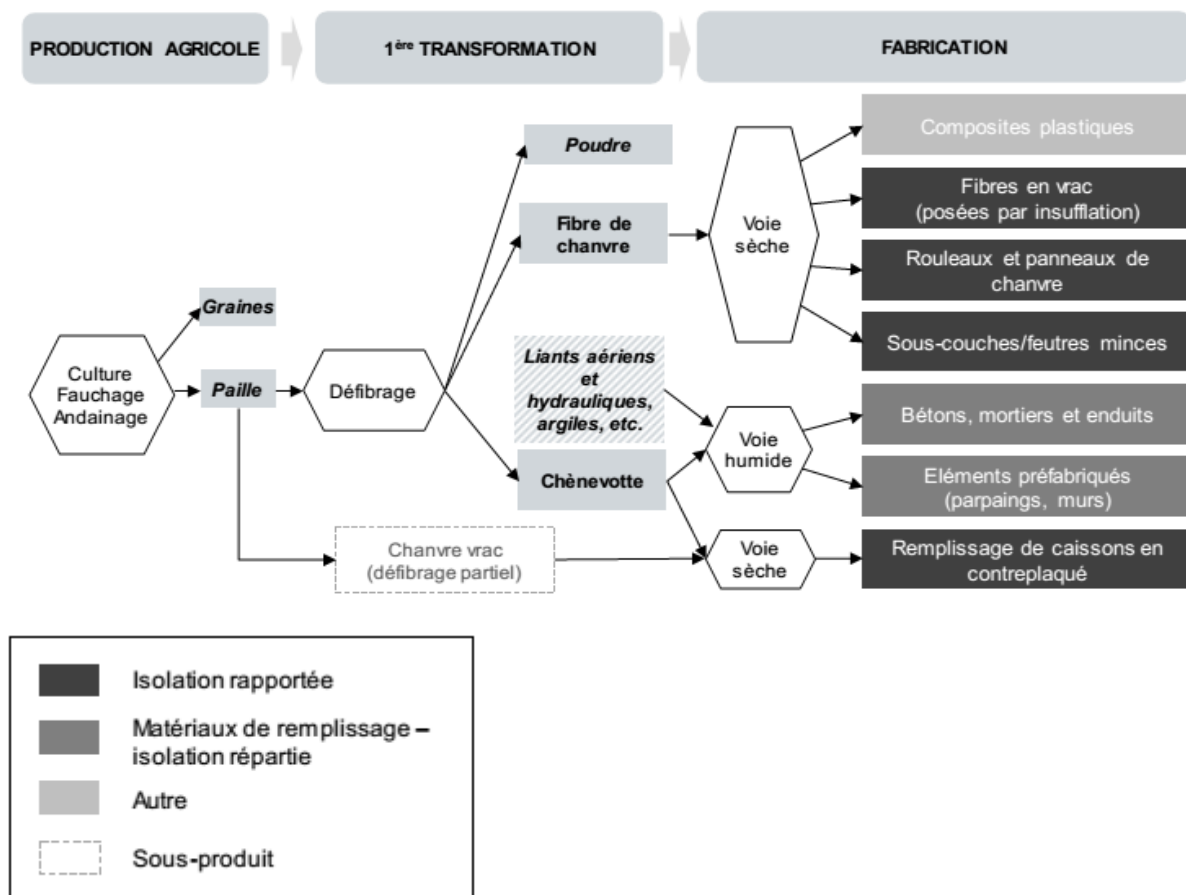
✓ **Performances thermiques et phoniques.**

Le chanvre présente un coefficient de conductivité thermique de 0.04 à 0.046 w/m.k. Il peut aussi être utilisé pour l'isolation phonique, mais on préférera des panneaux plus denses (en laine de bois ou en cellulose, par exemple, ) pour cet usage [3].

✓ **Production**

Le chanvre est une plante à croissance rapide nécessitant pas ou peu d'engrais. La fibre et la chènevotte sont les parties de la plante les plus utilisées pour le secteur du bâtiment. Elles permettent la création de produits de construction comme le mortier, l'enduit, le béton et la laine de chanvre, ou peuvent être directement utilisées en vrac. Les produits à base de chanvre sont transformés par un processus industriel ou en atelier et peuvent s'appliquer à tout type de construction, en travaux neufs ou en rénovation [8].

Différents types de matériaux de construction peuvent être obtenus à partir du chanvre, répartis en deux grandes familles : les produits d'isolation rapportée thermique et/ou acoustique (laines et granulats), et les mortiers et bétons végétaux (confectionnés sur chantier ou préfabriqués), tels que les blocs à maçonner, les éléments de grandes hauteurs ou encore des éléments modulaires.



**Figure I.3 :** Chaîne de valeur de la filière chanvre pour la construction [7].

Les Avantages de chanvre peuvent être résumés dans ce tableau [8].

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bonne régulation de l'humidité.</li> <li>▪ Bonnes performances thermique et acoustique.</li> <li>▪ Contribution au confort d'été</li> <li>▪ Bonne stabilité au feu du béton de chanvre.</li> <li>▪ Les constructions et rénovations en béton de chanvre sont facilement assurables, car couvertes par des règles professionnelles.</li> <li>▪ La laine de chanvre est naturellement résistante aux insectes.</li> <li>▪ Culture locale qui nécessite peu d'engrais et peu d'eau.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temps de séchage du béton de chanvre projeté assez long.</li> <li>▪ La laine de chanvre peut contenir des retardateurs de feu (produits chimiques).</li> </ul>

## Chapitre II : Matériaux composites à base des matériaux biosourcés

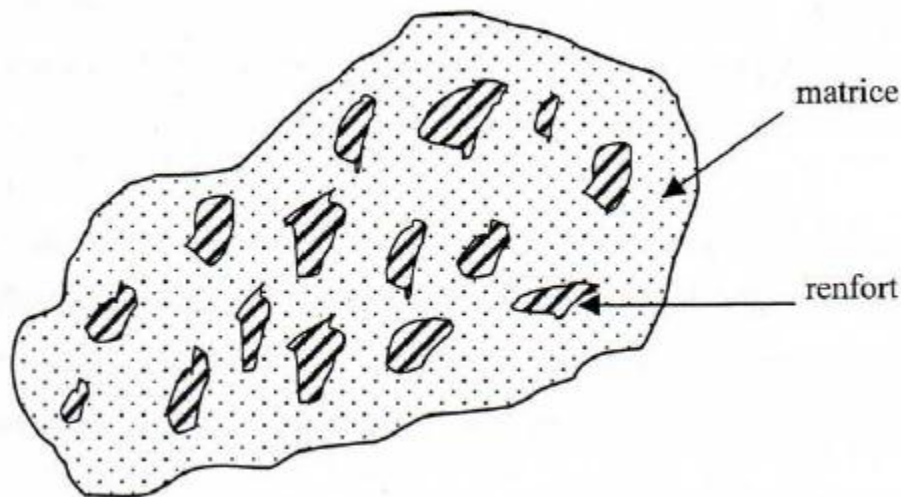
---

# I. Matériaux composites

## I.1. Définition

Les matériaux composites sont définis comme la constitution de l'assemblage de deux matériaux de nature différente, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément [9].

Un composite correspond à l'association de matériaux élémentaires aux caractéristiques complémentaires, en vue de lui conférer, à l'échelle macroscopique et au moins dans certaines directions, un ensemble original de propriétés que les constituants, pris séparément, ne permettent pas de les atteindre. Un des constituants peut remplir la fonction de matrice tandis que l'autre, immergé dans le premier et joue le rôle de renfort [10].



**Figure II.1:** Le composite

La matrice permet de lier les fibres du renfort fibreux entre elles, ainsi que de répartir les efforts (résistance à la compression ou à la flexion). La matrice est facilement déformable et assure la protection chimique des fibres. Généralement, c'est une matrice d'origine organique comme les polymères ou d'origine minérale.

Les renforts contribuent à améliorer la résistance mécanique et la rigidité des matériaux composites et se présentent sous forme filamentaire, allant de la particule de forme allongée à la fibre continue qui donne au matériau un effet de résistance orientée [11].

## **I.2. Composite à base de mortier et de fibres de palmier dattier**

### **➤ Mortier**

Le mortier est le mélange d'un liant (ciment ou chaux) et d'agrégats sable avec de l'eau. Il est utilisé en maçonnerie comme élément de liaison de scellement ou comme revêtement [12].

Les mortiers peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure. Ils sont utilisés en construction comme élément de liaison, de scellement, ou comme enduit. Ces matériaux, soumis à de fortes contraintes, résistant aux agressions chimiques, à l'humidité ainsi qu'aux fortes sollicitations mécaniques [4].

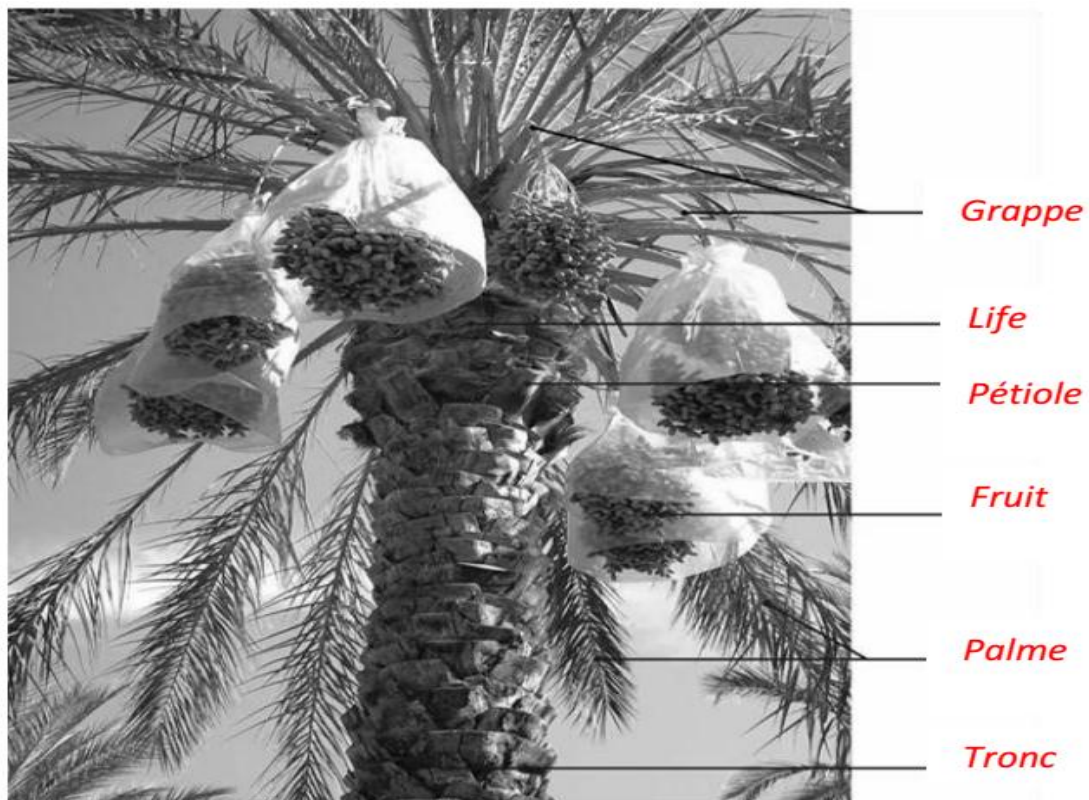
### **➤ Bois de palmier dattier**

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) est l'un des palmiers les plus cultivé par l'homme. Il résiste bien à la chaleur, à la sécheresse et au froid. Il se trouve généralement sur la bande aride afro-asiatique qui s'étend de l'Afrique du Nord au moyen-orient, plus précisément dans les oasis du Sahara. Le palmier dattier peut atteindre un âge de plus de 100 ans. Chaque année dans des conditions de croissance normales une moyenne de 12-15 nouvelles feuilles (palmes) est formée par le palmier et par conséquent la même quantité peut s'attendre à couper dans le cadre du maintien de palmier.

### **➤ Caractéristiques morphologiques et botaniques**

Le palmier dattier appartient à la classe des monocotylédones (une feuille embryonnaire dans la graine). Les monocotylédones ont une organisation différente, ils n'ont pas de cambium (une couche mince située entre le bois et l'écorce). Le bois de palmier présente une structure et des propriétés bien différentes de celle des autres arbres.

En effet, le palmier est une herbe géante de 20 à 30m de hauteur, au tronc cylindrique (le stipe), portant une couronne de feuilles, les feuilles sont pennées, divisées avec une longueur de 4 à 7m. il Porte des inflorescences mâles ou femelles [13].



**Figure II.2:** Différentes parties d'un palmier dattier [14].

Le palmier dattier est une espèce monocotylédone arborescente, sel on la littérature. On distingue plusieurs parties du palmier dattier.

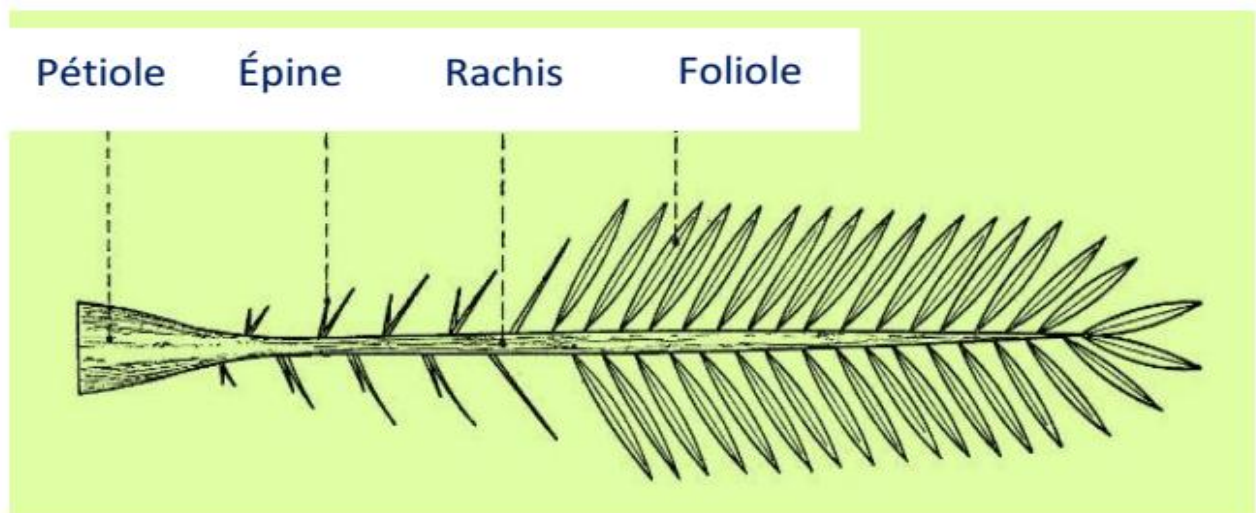
➤ **Le stipe ou tronc.**

C'est un tronc non ramifié, monopodique, il a un port élancé de couleur brune, lignifié, recouvert des bases des pétioles des anciennes palmes desséchées. La hauteur du stipe peut dépasser vingt mètres (figure II.2). Ce stipe est doté d'un seul bourgeon terminal assurant sa croissance en longueur. Ce bourgeon terminal initie des palmes (frondes), des bourgeons végétatifs et des inflorescences, il est généralement cylindrique. L'enveloppe extérieure, l'écorce, n'est qu'une expansion de la base des pétioles des feuilles.

Les fibres des pétioles ne forment pas un tissu comme dans le bois ordinaire. Ce tissu présente des couches assez semblables à des toiles d'araignées (elles sont placées sans ordre, les unes à côté des autres). Le tronc n'est composée que des fibres pétiolaires superposées de l'intérieur à l'extérieur. Ceci explique que le bois est plus dur à l'extérieur qu'à l'intérieur [13].

### ➤ **Palme ou feuille**

La palme ou « Djérid » (figure II.3) est une feuille pennée dont les folioles sont régulièrement disposées en position oblique le long du rachis qui s'étend au pétiole. Les segments inférieurs sont transformés en épines, plus ou moins nombreuses, et plus ou moins longues. Le pétiole (Kornaf) est dur et relativement rigide . Chaque année, le palmier dattier produit un certain nombre de palmes à partir du bourgeon et perd un nombre similaire de palmes par dessèchement [15].



**Figure II.3 :** Schéma d'une palme de palmier dattier

## **II. Caractéristiques thermophysiques et mécaniques des fibres de bois de palmier dattier**

### **II.1. Propriétés thermophysiques**

Le tableau II.1 montre les propriétés thermophysiques et diélectriques de diverses variétés de palmier dattier. Selon le tableau II.1, les propriétés thermiques des différentes variétés de bois de palmier dattier présentent des valeurs faibles, la conductivité thermique varie entre 0.072W/m.K et 0.085 W/m.K . La grappe est le moins isolant [4].

**Tableau II.1:** Propriétés thermophysiques du palmier dattier (Pétioles et grappes) [12].

Variétés	Direction de Fibres	k (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	a (×10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
<b>DNP</b>	⊥	<b>0.083 ± 0.003</b>	<b>2.29 ± 0.20</b>
<b>MDP</b>	⊥	<b>0.073 ± 0.0033</b>	<b>3.13 ± 0.49</b>
<b>EGP</b>	⊥	<b>0.072 ± 0.002</b>	<b>2.76 ± 0.24</b>
<b>DNG</b>	⊥	<b>0.085 ± 0.004</b>	<b>1.91 ± 0.21</b>
<b>MDG</b>	⊥	<b>0.084 ± 0.005</b>	<b>2.07 ± 0.30</b>
<b>EGG</b>	⊥	<b>0.074 ± 0.004</b>	<b>2.29 ± 0.30</b>

## II.2.Propriétés mécaniques

Les auteurs ont déterminé les propriétés mécaniques de quatre types de fibres de surface de palmier dattier. Les résultats sont présentés dans le tableau II.2. D'après ce tableau, les fibres de Dokhar sont les plus résistantes. En outre, l'humidité augmente légèrement la résistance et l'allongement à la rupture des fibres. Par contre à l'état sec, les fibres ont un module d'élasticité supérieur à celui de l'état humide [4].

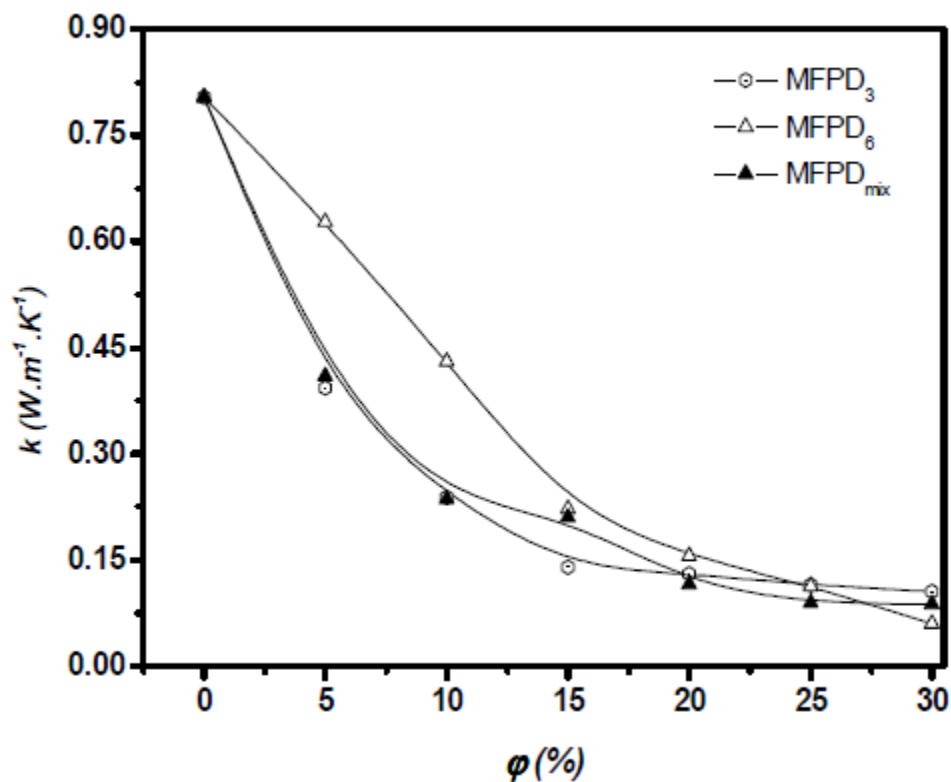
**Tableau II.2 :** Propriétés mécaniques de quatre types de fibres de surface de palmier dattier.

Variété	Sec			Humide		
	Rt	A (%)	E(GPa)	Rt	A (%)	E(GPa)
<b>Dokar</b>	<b>290±20</b>	<b>11±2</b>	<b>5.2±3</b>	<b>300±20</b>	<b>12±2</b>	<b>3.55±2</b>
<b>Elghers</b>	<b>88.75±20</b>	<b>11.1±2.5</b>	<b>3.5±1.2</b>	<b>90.10±18</b>	<b>12±3</b>	<b>3.10±1.5</b>
<b>DegletNour</b>	<b>72.34±18</b>	<b>8.7±2.2</b>	<b>3.15±1.5</b>	<b>74.34±1.5</b>	<b>9.5±2.5</b>	<b>2.3±2</b>
<b>DeglaBida</b>	<b>71.15±16</b>	<b>7.5±2.3</b>	<b>2.5±1</b>	<b>73.19±13</b>	<b>8.5±2.7</b>	<b>2.10±1</b>

**Rt** : Résistance à la traction. **A** : Allongement à la rupture. **E** : Module d'élasticité.

### III. Synthèse sur les comportements thermophysiques de quelques matériaux composites à base de fibres naturelles

N. Benmansour et al [4] ont étudiés expérimentalement les propriétés thermophysiques de composite mortier/fibres de palmier dattier, dans leur étude ont examiné les potentialités d'isolation thermique de l'incorporation des fibres de palmier dattier dans un mortier, afin de valoriser l'utilisation de ce type de matériaux comme un béton léger isolant. Il a été montré d'après leur travail (Figure II.4) que l'incorporation des fibres de palmier dattier dans le mortier diminue considérablement sa conductivité thermique et sa densité. En effet, l'augmentation de la teneur en fibres de palmier dattier augmente la capacité d'isolation de mortier en diminuant la conductivité thermique et la densité du composite.



**Figure II.4:** la conductivité thermique en fonction de la concentration des fibres de palmier dattier

Même comportement a été remarqué par A .Djoudi et al [16] qui ont étudié l'utilisation d'un nouveau matériau composite de construction de plâtre, sable, gravier concassé et les fibres de palmier dattier, et S. Mounir et al [17], qui ont essayé d'améliorer les propriétés thermiques de l'argile renforcée par le liège et ont constaté d'après leurs études que le composite est deux fois plus isolant que l'argile. Les résultats des auteurs de [16] montrent également une diminution de la conductivité thermique et la densité.

M. Haddadi et al [11] ont étudié la conductivité thermique d'un composite à matrice polymère renforcés par des fibres de palmier dattier, en vue de l'utiliser comme un isolant thermique, leur résultats sont présenté dans le tableau suivant :

<b>Concentration (%)</b>	<b>k</b>	<b>ρ</b>
	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )
<b>0</b>	0.480	1026.64
<b>30</b>	0.276	401.42
<b>35</b>	0.197	388.28
<b>40</b>	0.164	365.36
<b>45</b>	0.146	352.27
<b>50</b>	0.128	340.76
<b>55</b>	0.120	340.71
<b>60</b>	0.098	314.96

Ils ont observé aussi une diminution de la conductivité thermique en fonction de la concentration des fibres de palmier dattier. Ils ont constaté donc que l'ajout des fibres de palmier dattier a un effet favorable sur les propriétés thermique du composite et que pour une concentration des fibres inférieure à 50%, les composites polymère/FPB satisferont aux exigences thermiques et peuvent être utilisés comme matériaux biocomposites destinés à l'isolation thermique dans le bâtiment.

Chapitre III:  
Modélisation numérique du transfert de  
chaleur dans les composites

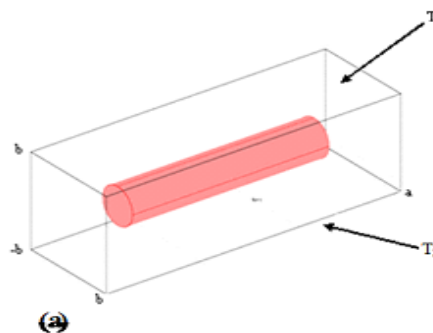
---

Dans ce chapitre nous avons étudiés numériquement les propriétés de transports thermique de deux matériaux composites ; mortier/FPD, et polymère/FPD. Le chapitre se compose de deux parties.

## I. Modélisation numérique et méthodes de calcul

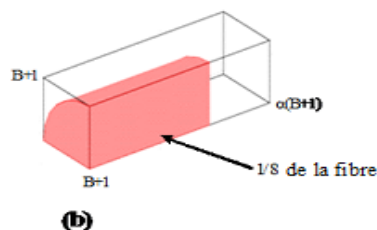
### I.1. Modélisation numérique

L'analyse par éléments finis nécessite la discrétisation de la structure en un nombre fini de sous-domaines. Afin de modéliser le transfert au sein du composite, nous considérons une cellule élémentaire correspondant à une fibre centrée dans un rectangle (figure III.1a). On considère que les fibres sont de forme cylindrique.



**Figure III.1a :** Cellule élémentaire utilisée pour la simulation numérique.

Le champ de température dans le matériau composite est défini en résolvant numériquement l'équation de Laplace à l'aide d'une formulation aux éléments finis avec les conditions aux limites suivantes. Les deux faces perpendiculaires à la direction de l'écoulement de la chaleur sont isothermes à des températures respectivement égales à  $\tau_1$  et  $\tau_2$ . Les faces parallèles à la direction de l'écoulement de la chaleur sont adiabatiques. Pour simplifier le problème et diminuer le temps de calcul, nous étudions seulement le  $1/8^{\text{ème}}$  de la cellule élémentaire (Figure III. 1b).



**Figure III.1b:**  $1/8^{\text{ème}}$  de la cellule élémentaire

Les grandeurs adimensionnelles sont définies comme suit:

$X = \frac{x}{r}, Y = \frac{y}{r}, \text{ et } Z = \frac{z}{r}$  : Variables d'espace sans dimension, avec r le rayon de la fibre ;

$B = \frac{b-r}{r}$  et  $D = \frac{km}{kf}$  : Distance entre inclusion et matrice et rapport entre les conductivités de la matrice et des fibres ;

$\alpha = \frac{L}{d}$  : Rapport entre la longueur L et le diamètre d de la fibre ;

$C = (r_c k_m)/r$  : Résistance de contact réduite à l'interface fibre-matrice ;

$E = k_{\text{eff}}/k_m$  : Rapport entre les conductivités du composite et de la matrice.

Pour déterminer la conductivité thermique du matériau modélisé, nous avons utilisé les équations (2) et (3) ;

$$E_t = k/k_m = \frac{Q}{\alpha(B+1)} \quad (2)$$

$$E_l = k/k_m = \frac{\alpha Q}{(B+1)} \quad (3)$$

L'équation (2) est utilisée pour le cas des fibres perpendiculaires, tandis que l'équation (3) est utilisée pour les fibres parallèles.

## I.2. Propriétés des fibres et de la matrice

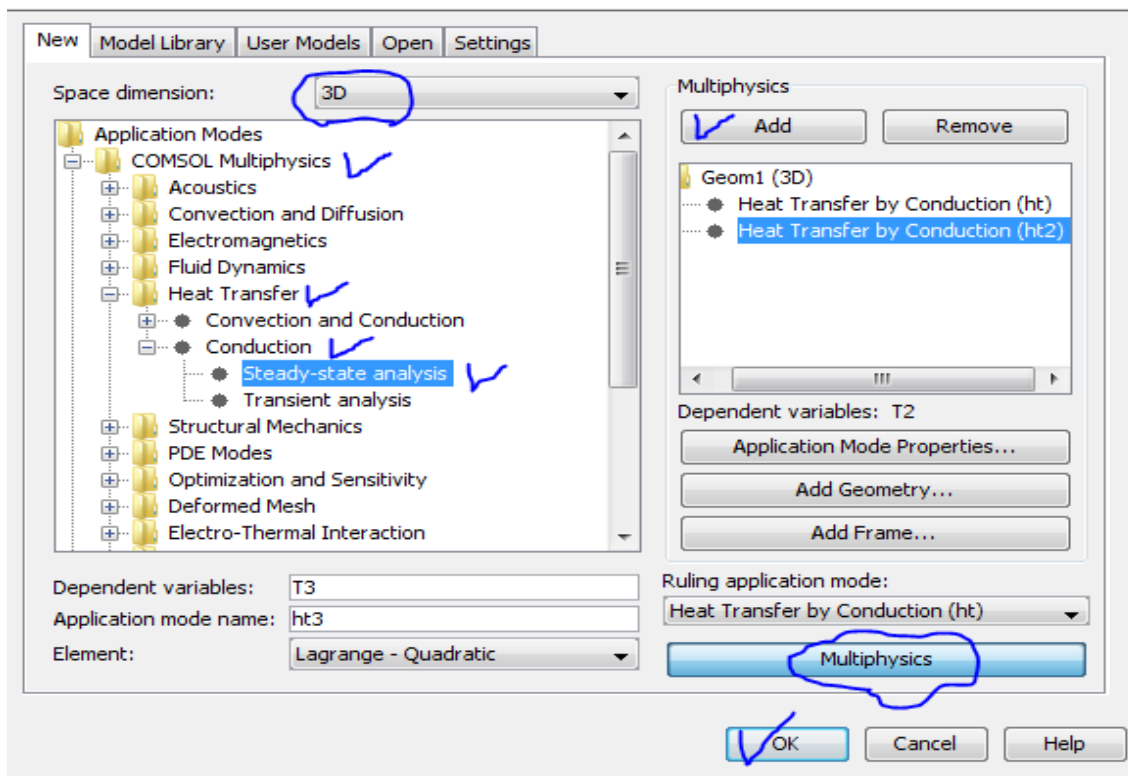
Les propriétés thermophysiques des matrices étudiés et des fibres de renforcement (FPD) sont présentés dans le tableau II.3 [4,11].

**Tableau II.3:** Propriétés de la matrice et de fibres.

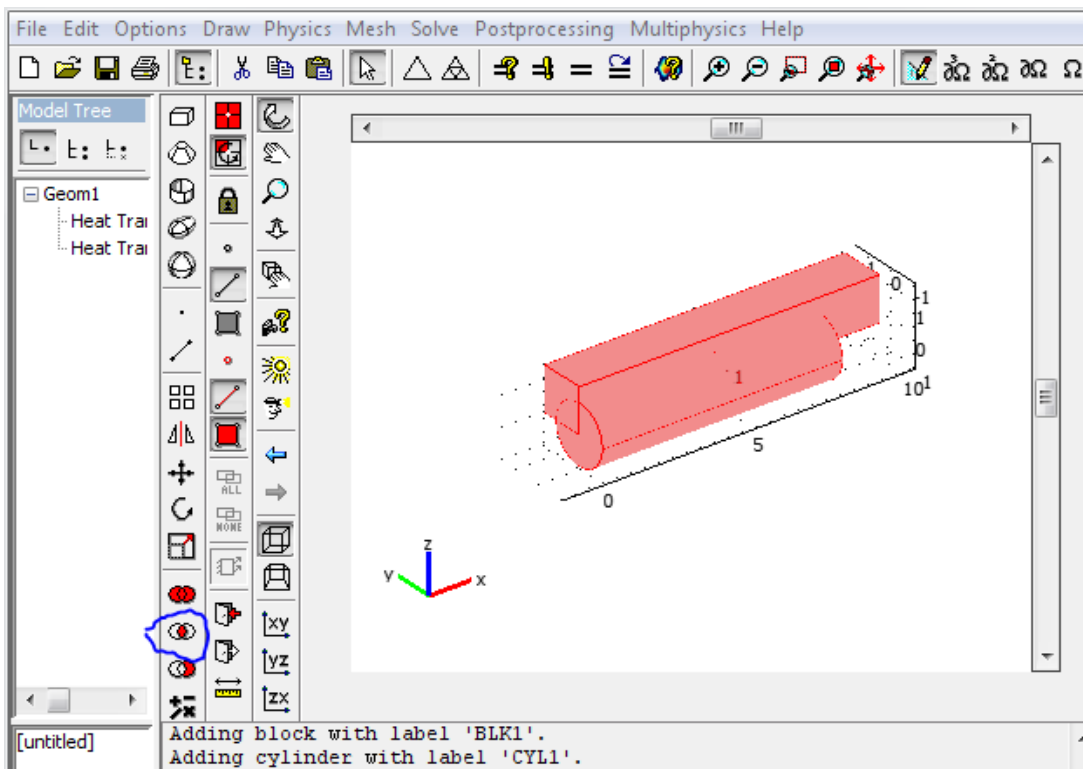
Matériaux	$k(\text{W.m}^{-1}.\text{k}^{-1})$	$a(\times 10^{-7}.\text{m}^2.\text{s}^{-1})$	$\rho(\text{kg.m}^{-3})$
FPD	0.084	3.31	254
Mortier	0.8039	4.9752	1908
Polymère	0.480	/	1026.64

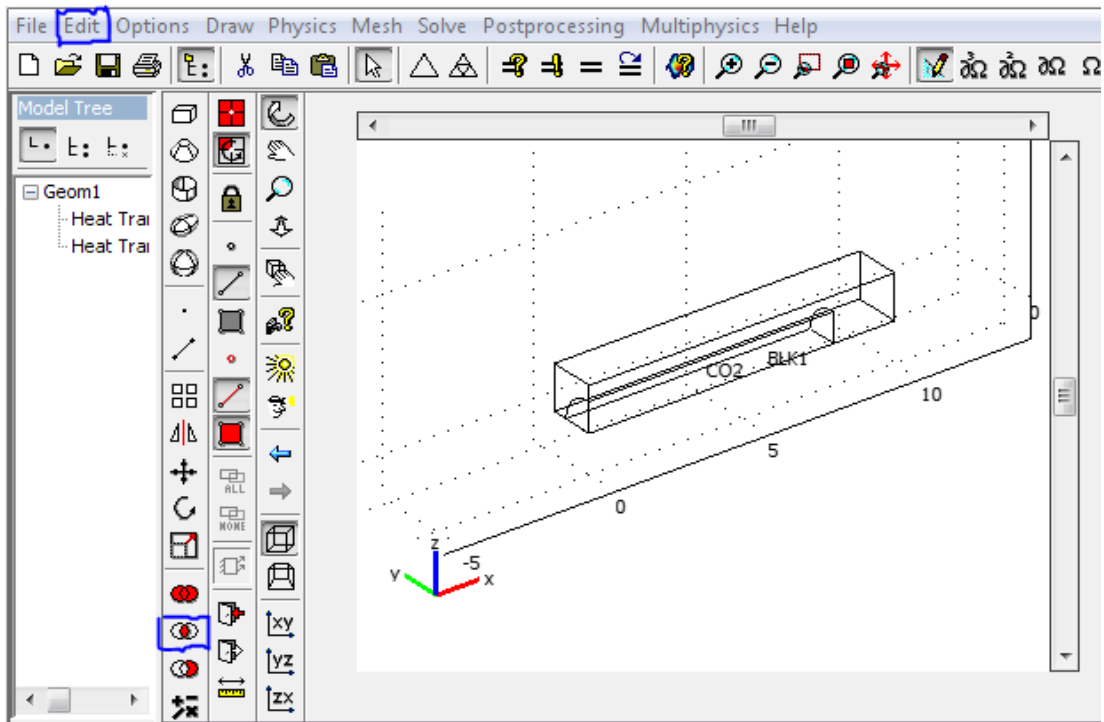
## I.3. Etapes de modélisation

- **Définir le choix du modèle:** dans notre cas c'est le transfert de chaleur par conduction en régime stationnaire, les transferts de type radiatifs et convectifs sont négligeables.

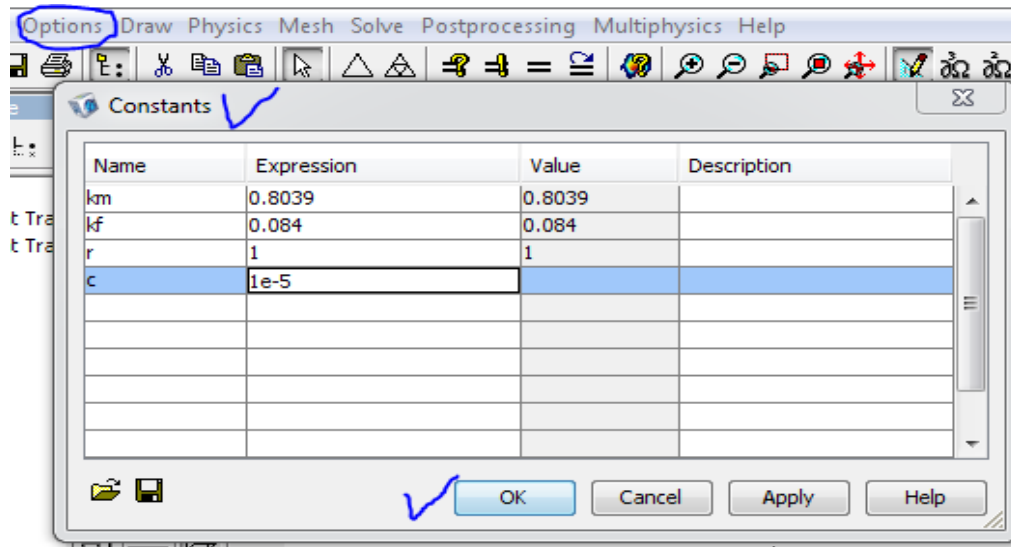


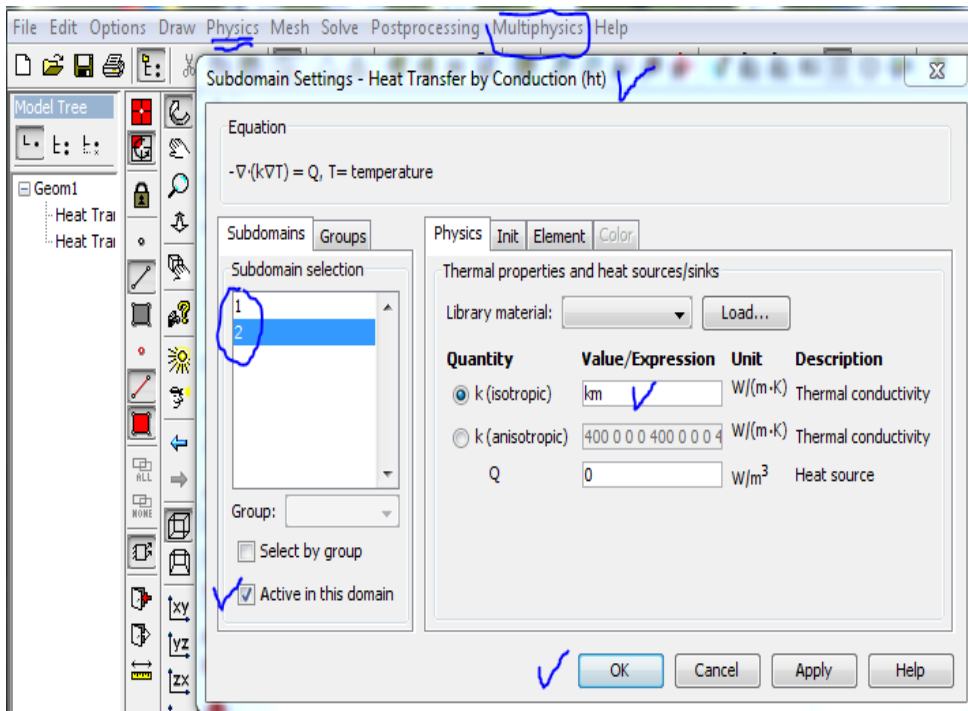
➤ Après Définir le choix du modèle





➤ Définition des propriétés de chaque sous domaine





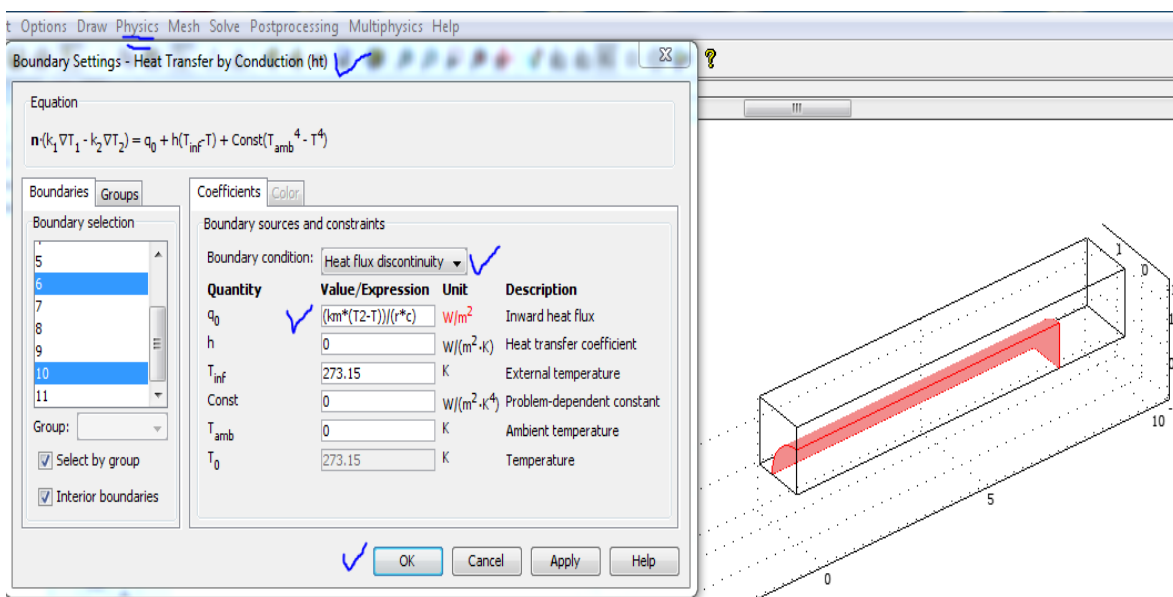
➤ **Introduire les conditions aux limites**

Le flux de chaleur

$$n \cdot (k \nabla T) = q_0 + h(T_{\text{inf}} - T) + C_{\text{const}} (T_{\text{amb}}^4 - T^4)$$

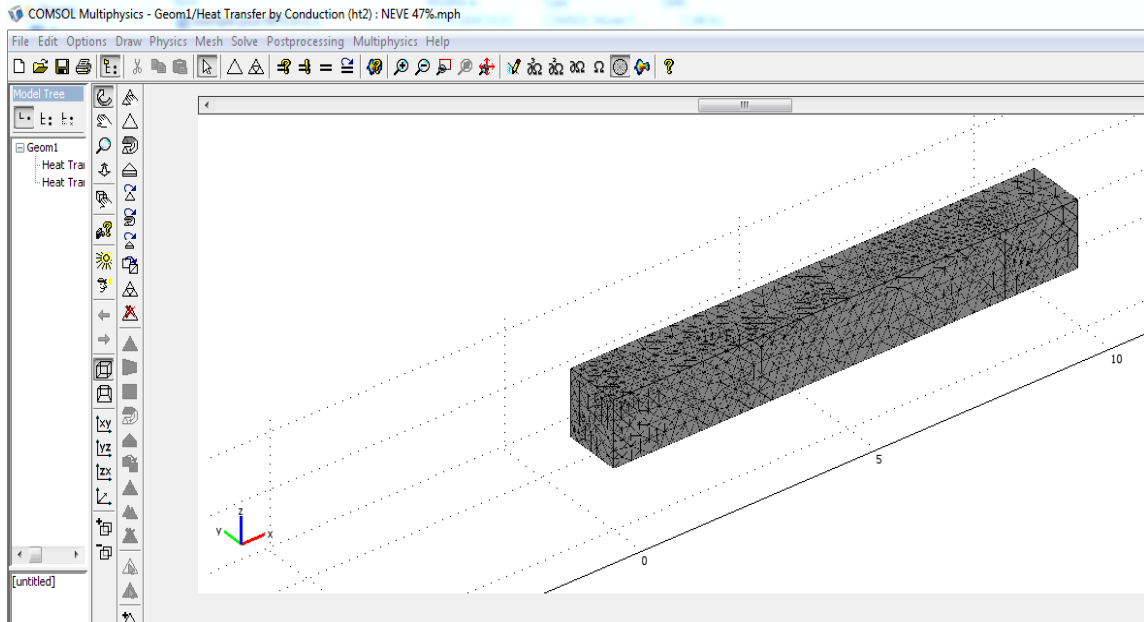
h: est un coefficient de transfert de chaleur par convection et Cconst est une constante liée à l'émissivité du matériau et donc liée au phénomène de rayonnement. Dans notre étude, on prend en compte seulement la conduction thermique, donc, l'équation ci-dessus devient:

$$n \cdot (K \nabla T) = q_0$$

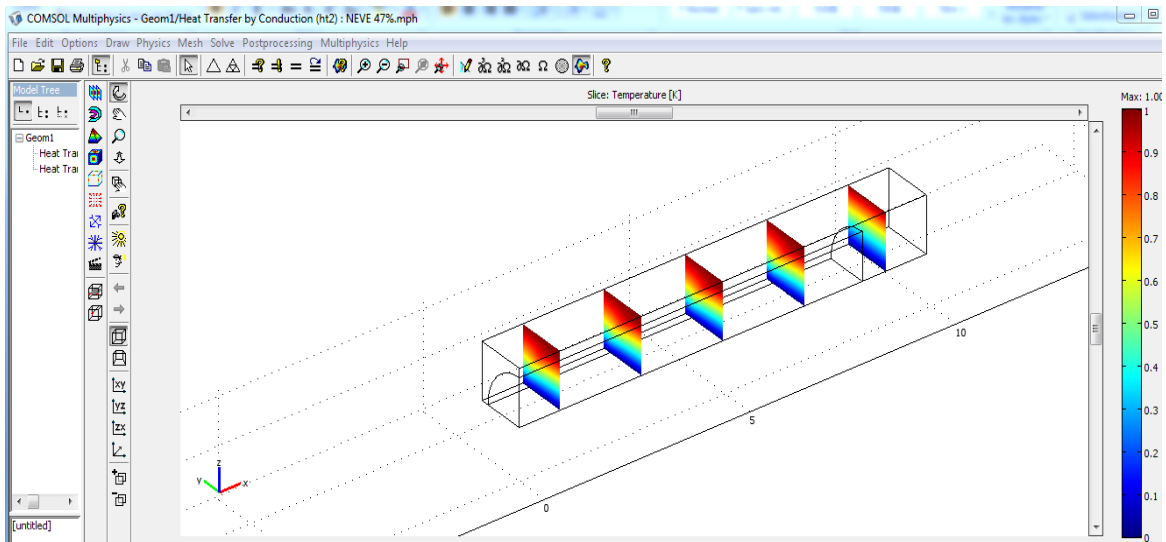


- Les autres faces sont isolées, pour produire un flux unidirectionnel.
- Introduire les températures de la surface supérieure et inférieure de la cellule

➤ **Le maillage de la géométrie**



➤ **Post-traitement des données calculées**



Cette dernière étape permet de donner la valeur de flux de la chaleur. A partir de cette valeur, on peut calculer toutes les propriétés thermophysiques du composite.

## I.4. Méthodes de calcul

### ➤ La résistance thermique

Le flux de chaleur traversant une paroi dépend de sa épaisseur  $e$  et de sa conductivité thermique

$$k : r = R_i + \frac{e}{k} + R_e$$

Avec :  $R_i, R_e$  : les résistances superficielles.

### ➤ Le coefficient de transmission thermique

C'est l'inverse de la résistance thermique totale :

$$U = \frac{1}{r}$$

### ➤ La diffusivité thermique

La diffusivité thermique est le rapport entre la conductivité thermique et la capacité thermique, ce paramètre intervient dans l'équation de la chaleur :

$$a = \frac{k}{\rho c}$$

### ➤ Le déphasage thermique

Le déphasage thermique d'un matériau représente le temps de transfert d'un flux de chaleur à travers le matériau :

$$D_f = \frac{1.38e}{\sqrt{a}}$$

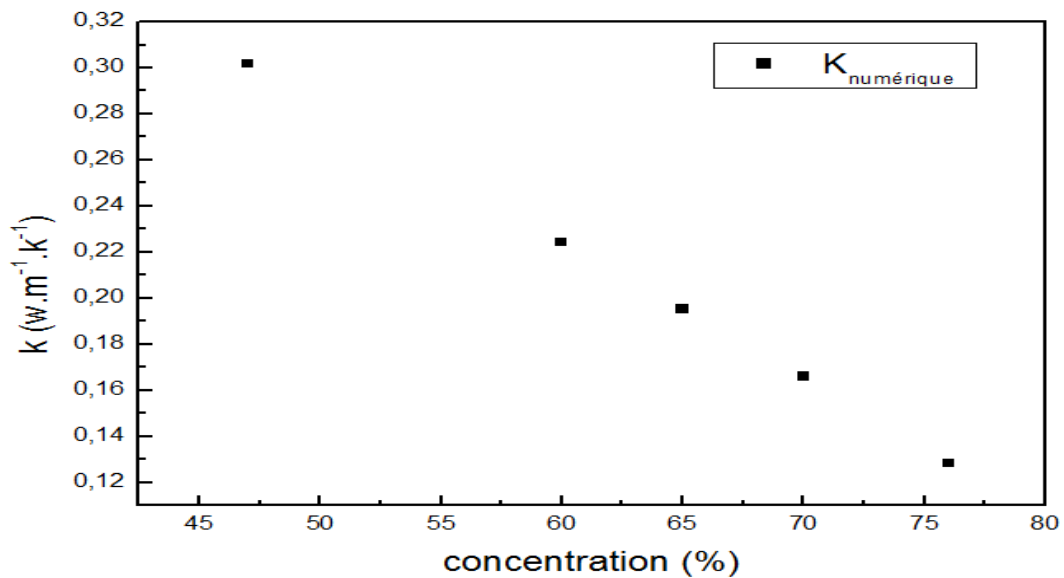
## II. Résultats et discussion

### II.1. Conductivité thermique

La figure III.2 montre l'évolution de la conductivité thermique de composite mortier/FPD en fonction de la concentration des fibres.

D'après la figure III.2, une diminution linéaire de la conductivité thermique avec l'augmentation de la teneur en fibres de palmier dattier.

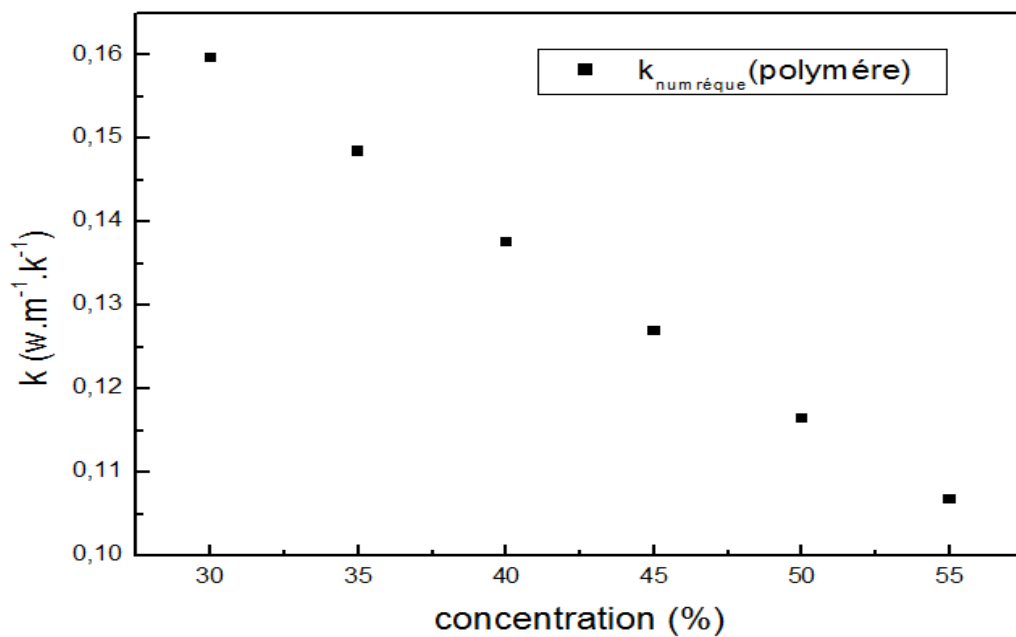
Cette diminution est principalement due à la faible conductivité thermique des inclusions comparée à celle de la matrice de mortier. Ainsi l'ajout de fibres naturelles génère une porosité et la présence d'air dans la matrice ce qui conduit à une faible masse volumique et une faible conductivité thermique.



**Figure III.2 :** Conductivité thermique du composite calculée en fonction de la concentration volumique des fibres.

En effet, le paramètre qui affecte la conductivité thermique effective des composites est la conductivité thermique des matériaux constituants de ces composites. Ce comportement est déduit à partir des résultats de la littérature, lorsque la conductivité thermique des renforts est faible que celle de la matrice, la conductivité effective du composite diminue et vice versa. Cette diminution dus à l'effet des faibles conductivités thermiques des fibres naturelles comparées à celles des matrices.

La figure III.3 montre l'évolution de la conductivité thermique de composite polymère/FPD en fonction de la concentration des fibres.



**Figure III.3 :** Conductivité thermique du composite polymère calculée en fonction de la concentration volumique des fibres.

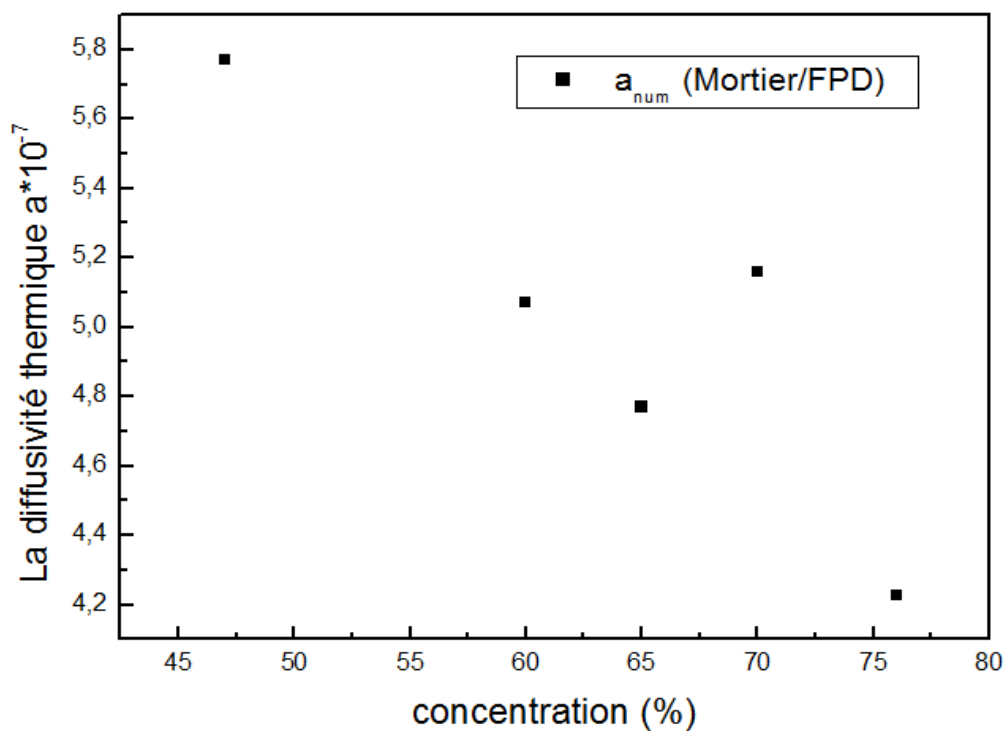
D'après la figure III.3, une diminution linéaire de la conductivité thermique avec l'augmentation de la teneur en fibres de palmier dattier.

D'après la comparaison entre les composites 1 et 2, On remarque que les deux composites représentent même l'évolution une diminution linéaire de la conductivité thermique avec l'augmentation de la teneur en fibres de palmier dattier.

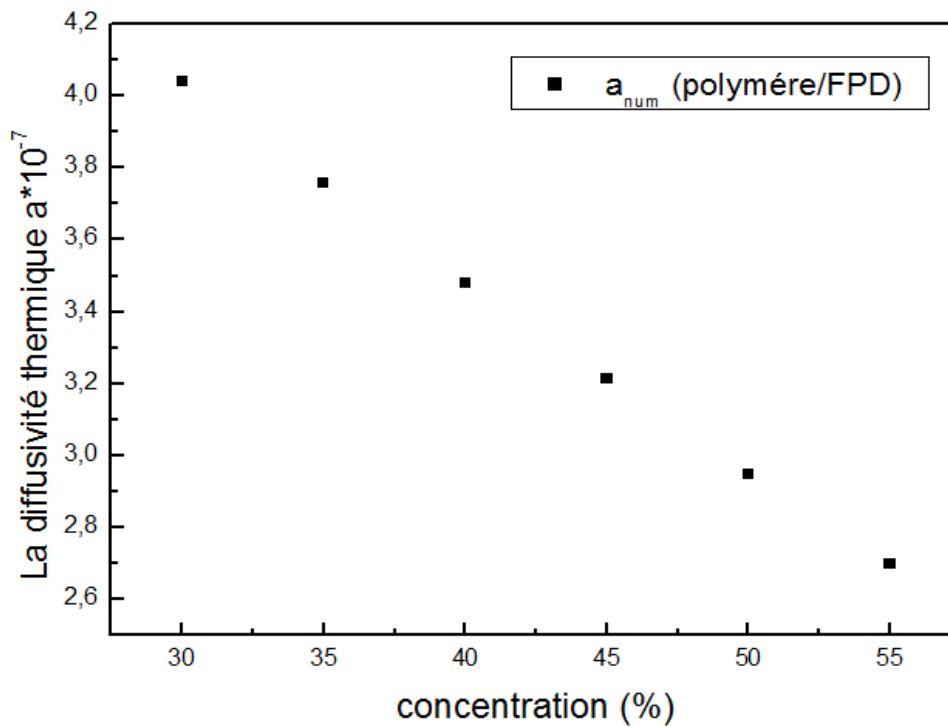
La conductivité thermique  $k$  du mortier renforcé avec 47% de fibres diminue de  $0.8039 \text{ w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$  à  $0.3017 \text{ w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$ . Et pour ajouter de 76% de fibres,  $k$  diminue à  $0.1285 \text{ w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$ . Mais la conductivité thermique  $k$  de polymère renforcé avec 30% de fibres de  $0.480 \text{ w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$  à  $0.1597 \text{ w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$ . Et pour ajouter de 55% de fibres,  $k$  diminue à  $0.1068 \text{ w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$ . D'après les résultats le matériau le plus isolant est de composite 2 (polymère /FPD).

## II.2. Diffusivité thermique

Les figures (III.4 et III.5) montres l'évolution de la diffusivité thermique pour les deux composites polymère/FPD et mortier/FPD en fonction de la concentration des fibres.



**Figure III.4** : La diffusivité thermique du composite mortier/FPD calculée en fonction de la concentration volumique des fibres.



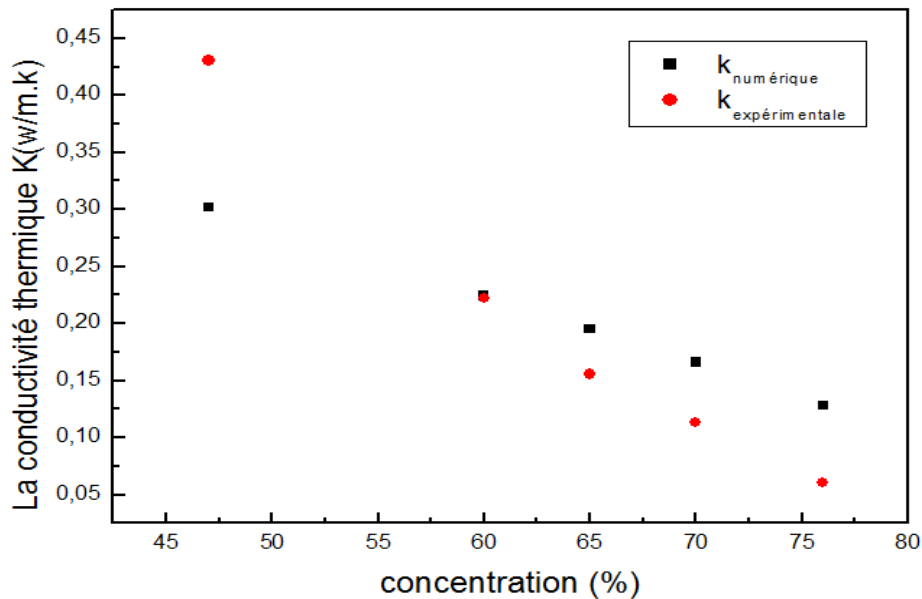
**Figure III.5 :** La diffusivité thermique du composite polymère/FPD calculée en fonction de la concentration volumique des fibres.

D'après les figures III.4 et III.5, on peut remarquer que l'évolution de la diffusivité thermique des composites est similaires à celle de la conductivité thermique. Une diminution pour les deux composites avec l'augmentation de la concentration des fibres est observée. Cette diminution était attendue car la diffusivité thermique des fibres de palmier dattier sont plus faible que celle de la matrice.

### II.2.1. Comparaison entre les résultats numériques, résultats expérimentaux

#### ➤ Conductivité thermique

La figure III.6 présente les valeurs numériques de la conductivité thermique de composite mortier/FPD obtenues dans cette étude comparées aux valeurs expérimentales obtenues par N. Benmansour [4].

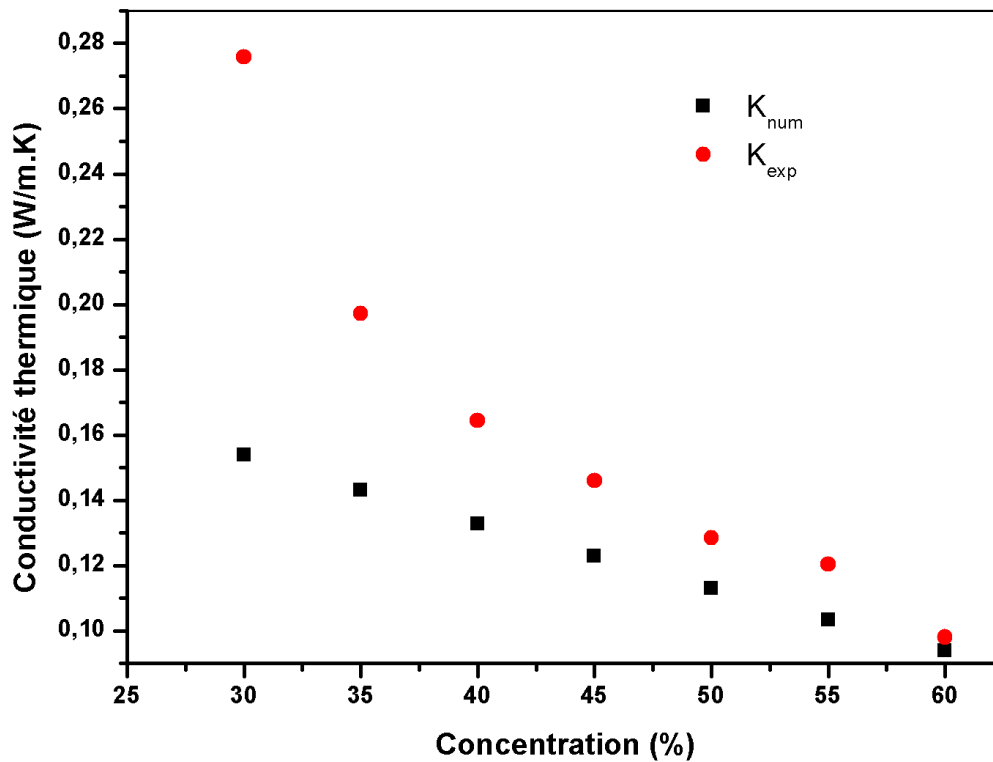


**Figure III.6:** Comparaison entre les conductivités thermiques numériques, et expérimentales du composite (M/FPD)

D'après la figure III.6, pour le concentration 47 % , le modèle numérique ne prédit pas bien le valeur expérimentale du composite; il y a une grande divergence entre les résultat numérique et les mesures expérimentale. Cette divergence est peut être due au fait que la simulation ne prend pas en compte l'orientation des fibres dans la matrice et les différentes formes et tailles de ces fibres.

Par ailleurs, pour les concentrations supérieures à 60 %, le modèle numérique développé dans cette étude donne une bonne prédiction de la conductivité thermique des composites. Ceci est lié au fait que réellement lorsque la concentration des inclusions augmente, l'interaction entre les inclusions augmente, d'où la formation d'une chaîne des particules isolants (la conductivité thermique des fibres est très inférieure à celle de la matrice, elle est de l'ordre de  $0.084 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ). Pour la concentration de 60%, le modèle numérique estime bien la conductivité thermique de composite ( $K_{\text{num}}=0,2224$ , et  $K_{\text{exp}}=0,22236$ ).

La figure III.7 présente les valeurs numériques de la conductivité thermique de composite polymère/FPD obtenues dans cette étude comparées aux valeurs expérimentales de la référence [4].

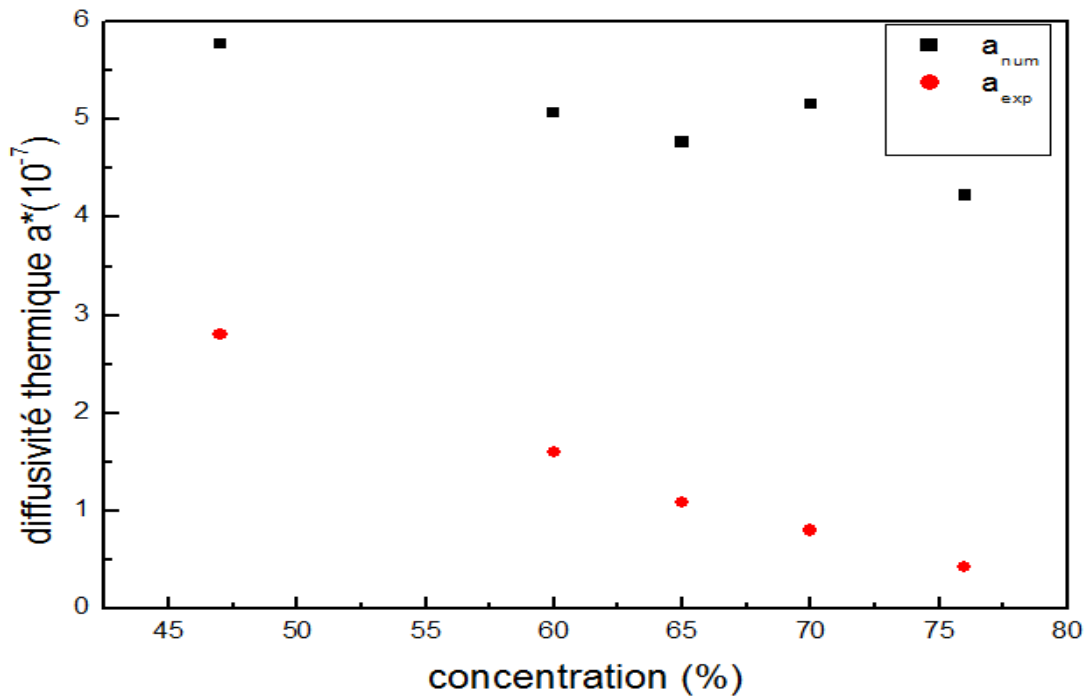


**Figure III.7:** Comparaison entre les conductivités thermiques numériques, et expérimentales du composite (polymère/FPD).

D'après la figure III.7, On remarque que le modèle numérique fournit une bonne estimation de la conductivité thermique. Par ailleurs, pour les concentrations de 30% et 35% il y a une petite divergence entre les résultats numériques et les mesures expérimentales. Cette divergence est peut être due à l'effet de l'orientation des fibres dans la matrice. Pour les concentrations supérieures à 35%, le modèle numérique développé dans cette étude donne une bonne prédiction de la conductivité thermique des composites.

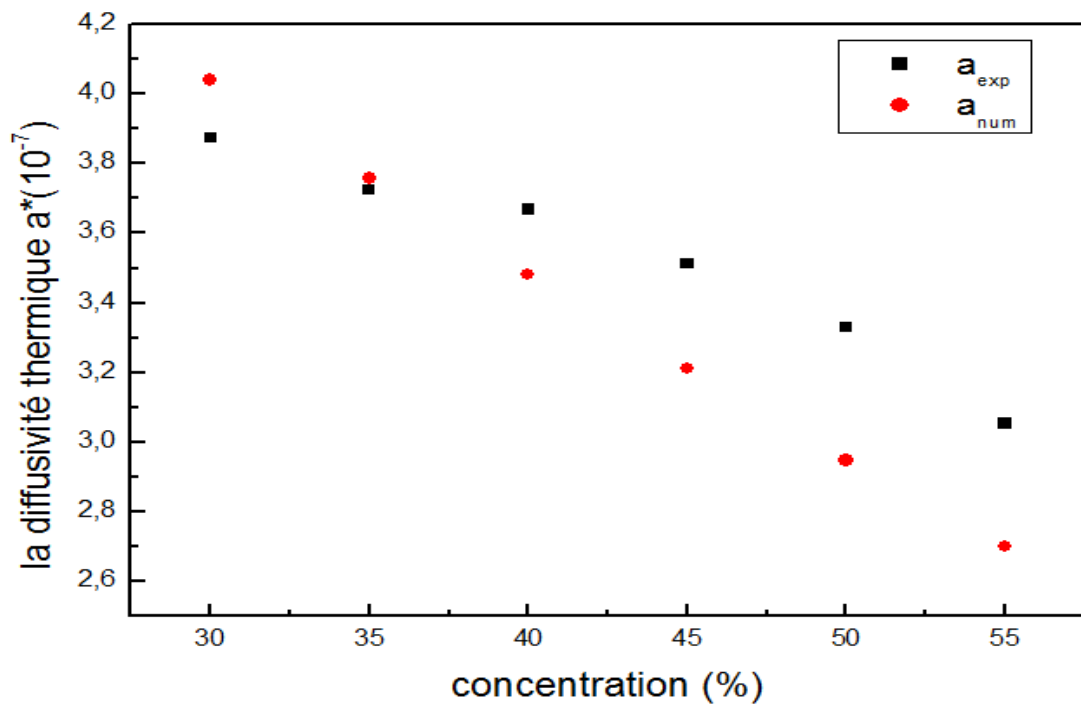
#### ➤ Diffusivité thermique

La figure III.8 présente les valeurs numériques de la diffusivité thermique de composite mortier/FPD obtenues dans cette étude comparées aux valeurs expérimentales.



**Figure III.8 :** Comparaison entre les résultats numériques, et expérimentaux de la diffusivité thermique de composite M/FPD.

La figure III.9 présente les valeurs numériques de la diffusivité thermique de composite polymère/FPD obtenues dans cette étude comparées aux valeurs expérimentales.



**Figure III.9 :** Comparaison entre les résultats numériques, et expérimentaux de la diffusivité thermique de composite polymère/FPD.

On note que la différence entre les valeurs numériques de la diffusivité thermique et les valeurs expérimentales est plus importante pour le composite (mortier/FPD).

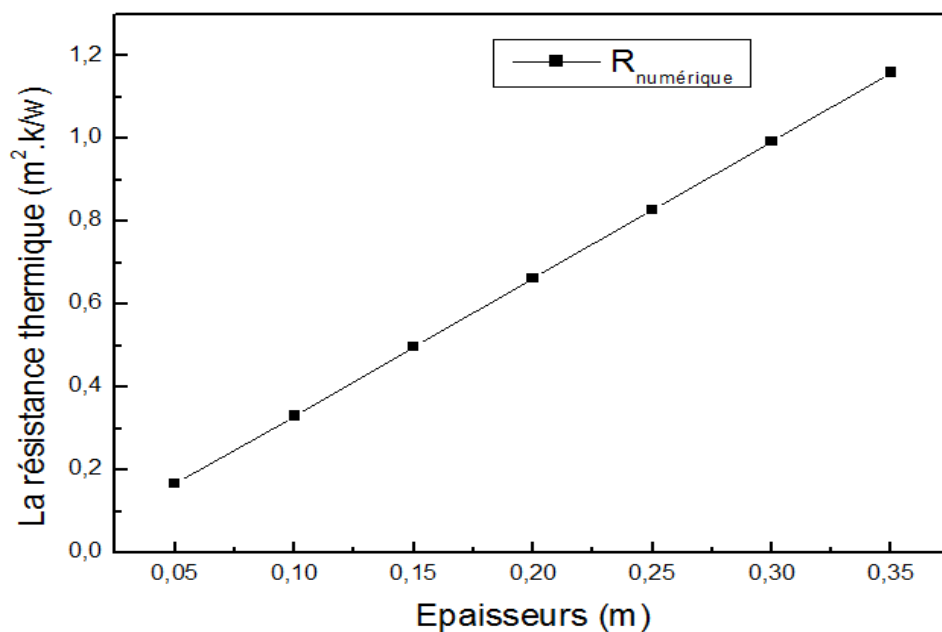
D'autre part, pour le composite (polymère/FPD), on remarque que les valeurs de la diffusivité thermique obtenus par la méthode des éléments finis sont en bon accord avec les résultats expérimentaux par rapport le composite (mortier/FPD).

### II.3. Résistance thermique

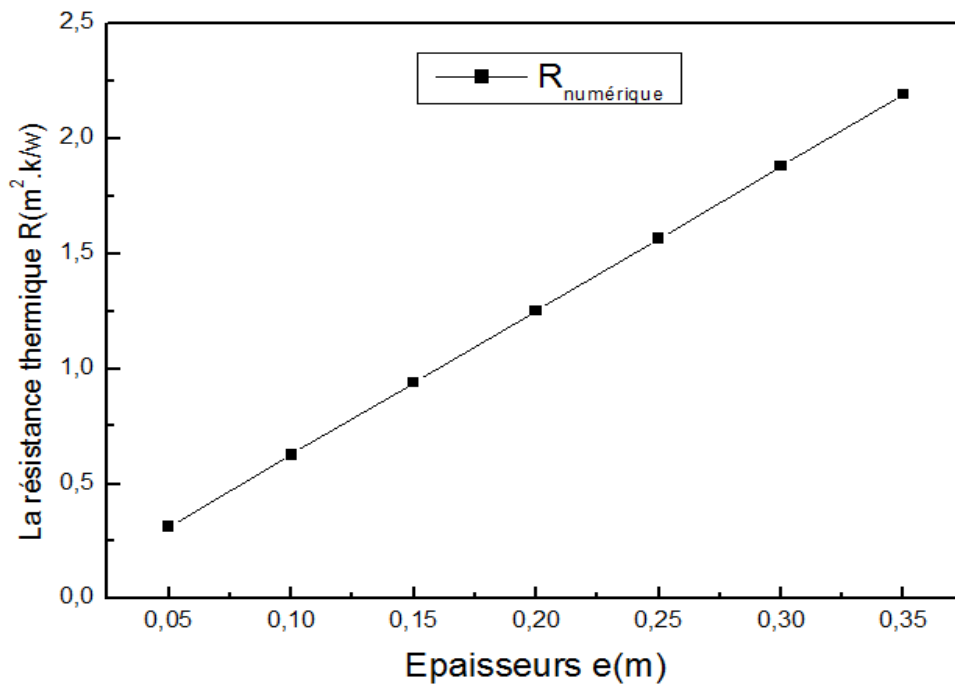
Pour le premier cas, on prend un mur extérieur composé d'un bloc de mortier renforcé de 47% de fibres de palmier dattier.

Pour le deuxième cas, on va étudier la résistance de composite polymère/FPD pour la concentration des fibres 30%.

Les figures (III.10,III.11) présentent les variations de la résistance thermique en ( $m^2.K/W$ ) en fonction de la variation de l'épaisseur des deux composites mortier/FPD, polymère/FPD.



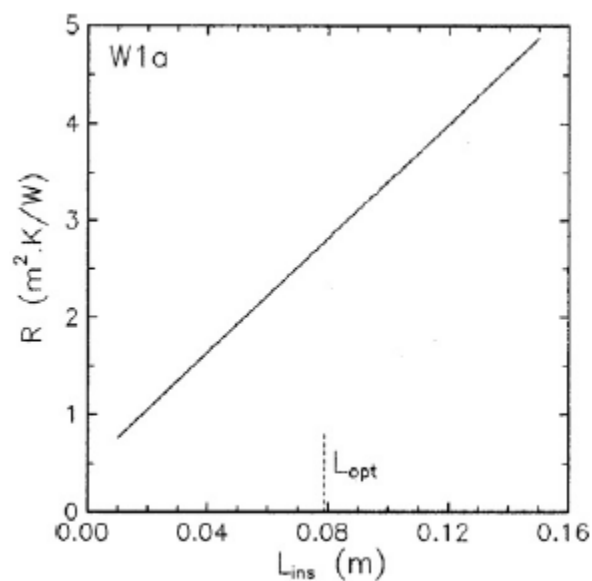
**Figure III.10** : La résistance thermique du composite M/FPD calculée en fonction de l'épaisseur.



**Figure III.11 :** La résistance thermique du composite polymère/FPD calculée en fonction de l'épaisseur

D'après les figures [III.10, et III.11]. On peut remarquer une augmentation de la résistance thermique quand les épaisseurs de fibre augmentent. Cette augmentation est due au rapport élevé entre les résistances thermiques des charges et de la matrice.

Un même résultat a été obtenu par Sami *et al* [11]. Ils ont étudié la performance thermique des murs en optimisant la répartition et l'épaisseur des isolants. Ils ont aussi étudié la variation de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de l'isolant. Les résultats obtenus (Figure III.12) ont montré que plus l'épaisseur de l'isolant augmente plus la résistance thermique augmente.



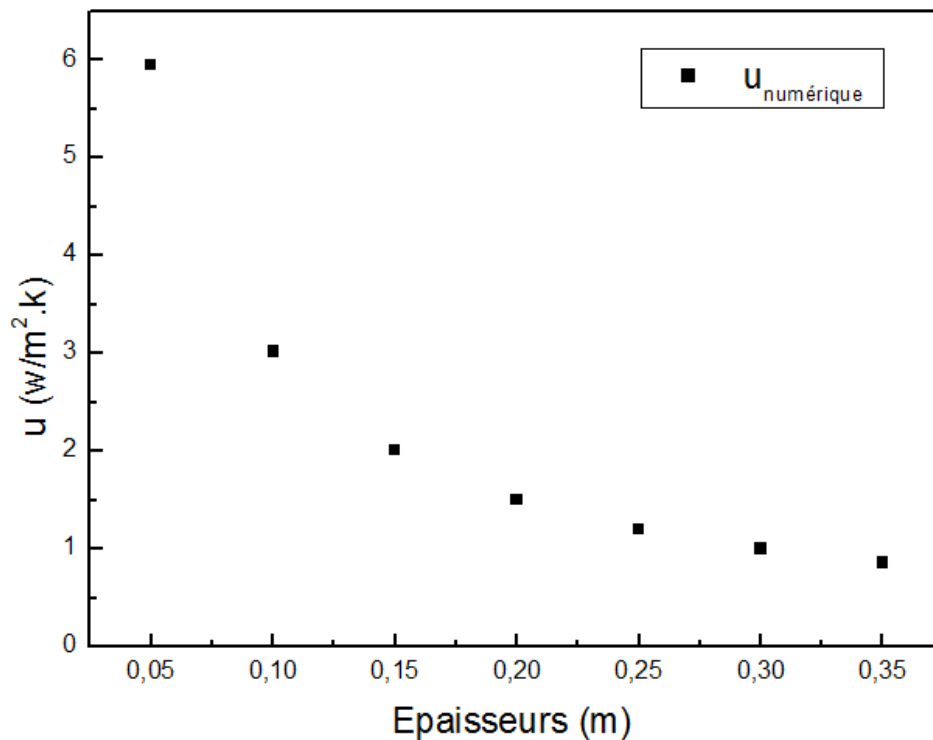
**Figure III.12 :** Variation de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur

L'augmentation de la résistance thermique des composites (polymère/FPB, Mortier/FPB) est liée au caractère isolant des fibres de palmier dattier, qui représente une conductivité thermique plus faible que celle du polymère et du mortier.

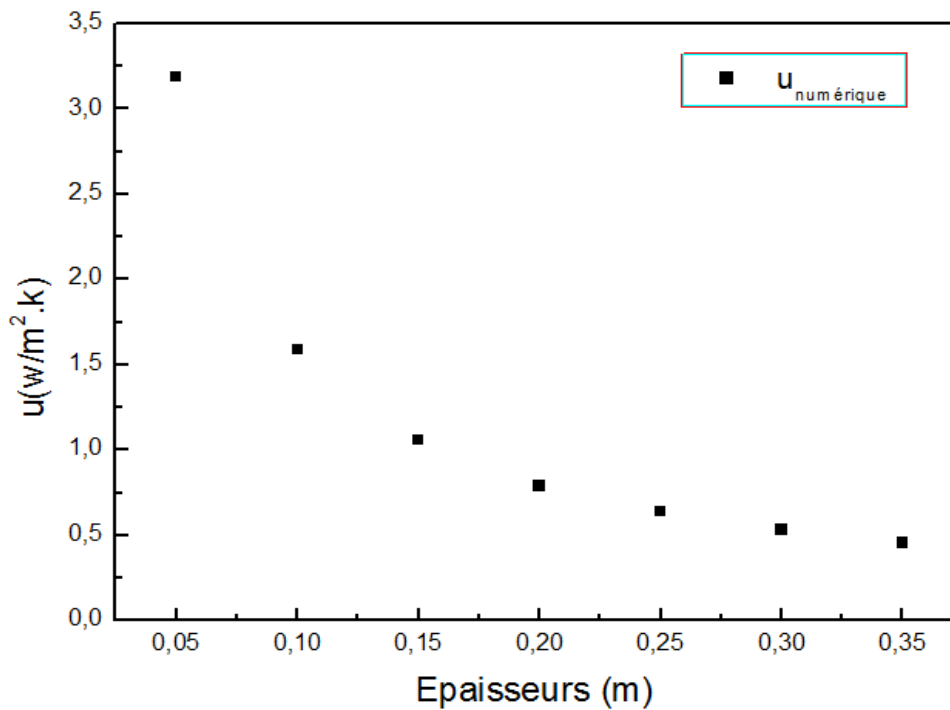
Le choix d'un matériau isolant se fait à partir de sa résistance thermique. Plus la résistance thermique du matériau est élevée plus il est isolant. D'autre part l'utilisation des isolants dans une paroi permet de réduire les déperditions thermiques. Donc, plus l'épaisseur des isolants augmentent, plus les déperditions thermiques réduites.

#### II.4. Coefficient de transmission thermique

Les figure (III.13, III.14) présentent les variations numérique de coefficient de transmission thermique  $u$  ( $W/m^2.k$ ) en fonction de l'épaisseur.



**Figure III.13 :** Coefficient de transmission thermique de composite (Mortier/FPD).



**Figure III.14 :** Coefficient de transmission thermique de composite (polymère/FPD)

Les figures [III.13, III.14] montre que plus l'épaisseur du composite augmente plus le coefficient U diminue.

A partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que l'ajout de fibres de palmier dattier dans des matrices (polymères, mortier) pourrait améliorer considérablement l'isolation thermique des composites.

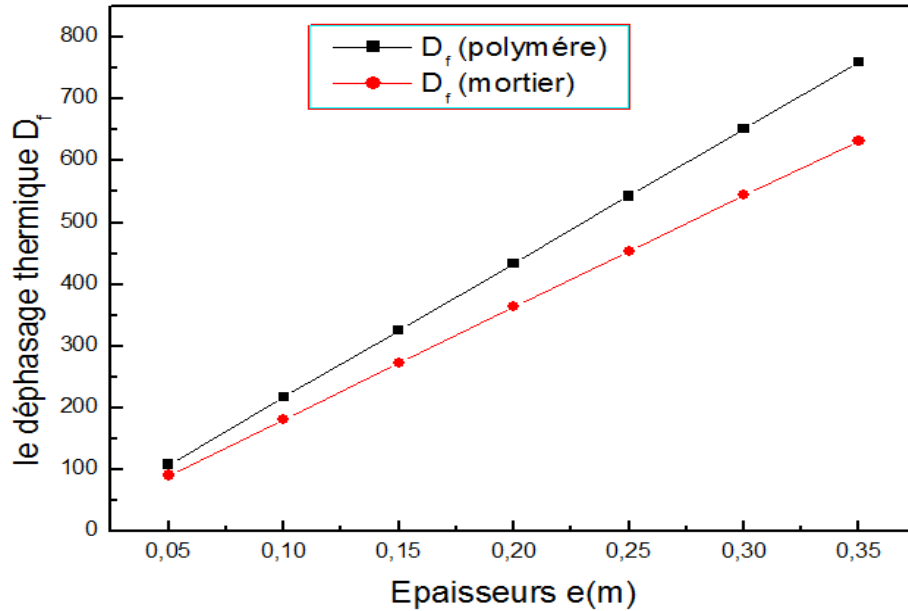
Ce résultat est confirmé par plusieurs auteurs. Selon la référence [18], les auteurs ont étudiés les performances de l'isolation des panneaux à base de particules de maïs. Ils ont aussi étudié la variation du coefficient de transmission thermique du matériau. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant:

Epaisseur de l'échantillon cm	U W.m <sup>-2</sup> .°C <sup>-1</sup>
3	2.14
5	1.89
6	1.64
8	0.95

D'après ces résultats obtenus, on peut conclure que les composites à base de fibres de bois de palmier dattier conviennent aux techniques de constructions dans le secteur du bâtiment, vue que ces matériaux font preuve d'une résistance thermique suffisante.

## II.5. Le déphasage thermique

La figure (III.15). Présente les variations numériques du déphasage thermique en fonction de variation des épaisseurs des composites (polymère/FPD, mortier/FPD).



**Figure III.15** : Le déphasage thermique.

On remarque que le déphasage augmente d'une manière linéaire avec l'augmentation de l'épaisseur et ainsi le déphasage du composite (polymère/FPD) est supérieur à celui de (mortier/FPD), puisque la conductivité de premier composite est très faible par rapport à autre matériau isolant (mortier/FPD)

On observe aussi que l'écarte entre les valeurs de déphasage thermique de bloc de mortier renforcé de fibres de palmier dattier et de polymère/FPD augmente avec l'augmentation de l'épaisseur.

# **Conclusion générale**

## Conclusion

Ce travail a été consacré à la valorisation des nouveaux matériaux composites à base de matériaux biosourcés en vue de l'utiliser dans le domaine d'isolation thermique dans le bâtiment. Dans un premier temps, on s'intéresse à faire une synthèse bibliographique sur les matériaux géo et biosourcés, les matériaux composites, puis, à faire une étude numérique du comportement thermophysique de deux composites renforcés par les fibres de bois de palmier dattier.

L'étude numérique a montré que la caractérisation des propriétés thermophysiques des composites peut se faire numériquement. Nous avons donc développés dans ce travail une modélisation numérique qui a permis d'obtenir les propriétés thermophysiques des composites (mortier/FPD, polymère/FPD). Ce modèle est validé par la comparaison des résultats expérimentaux.

D'après l'étude de ce travail, il a été observé que l'ajout des fibres de palmier dattier a un effet favorable sur les propriétés thermique du composite.

La performance thermique d'un matériau dépend de sa conductivité thermique. En fonction de l'épaisseur de l'isolant, nous obtenons sa résistance, c'est à dire sa capacité à s'opposer au passage de la chaleur à travers ses parois. On a constaté à partir des résultats obtenus de l'étude de la résistance thermique et du coefficient de transmission thermique des composites (mortier/FPB et polymère/FPD) en fonction de l'épaisseur, que plus cette dernière augmente plus la résistance thermique du matériau augmente et plus son coefficient de transmission thermique diminue.

D'autre part, nous avons constatés que le modèle numérique ne prédit pas bien la conductivité thermique de composite, pour les concentrations faibles de fibres, mais il y a une cohérence entre les valeurs expérimentales et les valeurs numériques de la conductivité thermique, pour les concentrations élevées de fibres.

En effet, la modélisation numérique de transfert de chaleur dans un matériau hétérogène, particulièrement le composite Mortier/FPD, est très compliqué, et cela peut être du à la composition de matériau composite. Ce dernier se compose de différents constituants, à savoir : le sable, le ciment, les fibres, et la présence de l'eau et des bulles d'air dans ce composite. En plus, la conductivité thermique des composites est influencée par plusieurs paramètres qui ne sont pas prises en compte dans notre simulation tels que l'orientation, la distribution. Des facteurs qui rendent la modélisation numérique de la conductivité thermique des composites très difficile.

## Référence

- [1] <https://e-rse.net/definition/> construction durable-définition-benefices-labels
- [2] M.A.Boukli Hacène, N.E.Chabane Sari et B.Benyoucef, la construction écologique en Algérie: Question de choix ou de moyen?, revue des Energies Renouvelables, Vol.14N°4 (2011) 627-635.
- [3] MM.Frgos et Trouillez, Le guide de l'isolation, Paris, 2012.
- [4] N.Benmansour, " Développement et caractérisation de composites naturels locaux adaptés à l'isolation thermique dans l'habitat", Thèse de doctorat, Université Hadj Lakhdar Batna, Soutenu le 18/05/2015.
- [5] Pascal Assejllin, Jean-Louis Vaxelaire. Pierre Naturelle. UNTEC , CTMNC. Guide Pratique, 7 janvier 2016.
- [6] Sophie Barbier et Jean-Claude, Cycle Terre La fabrique de matériaux en terre crue. Septembre 2018.
- [7] B.Cherifi et Laure Trannoy. Etude sur le secteur et les filières de production des matériaux et produits biosourcés utilisés dans la construction (à l'exception du bois). 2017
- [8] Les matériaux biosourcés dans le bâtiment, Article 14 de la loi pour la transition énergétique et la croissance verte, 19 décembre 2012.
- [9] A. Kareche " Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert", Mémoire de Magister, Université Hadj Lakhdar Batna, 2014.
- [10] M. Božiková, " Thermophysical parameters of corn and wheat flour," vol. 49, pp. 157-160, 2003.
- [11] M. Haddadi, Etude numérique avec comparaison expérimentale des propriétés thermophysiques des matériaux composites à matrice polymère, mémoire de Master, 2011.
- [12] A. Barakat, " Matériaux de carrière et de construction " .Université Sultan Moulay Slimane.
- [13] M. Tlijani, " Contribution à la caractérisation thermophysique de matériaux bio-isolants : valorisation des déchets de bois de palmier", THÈSE De doctorat, Université Paris Est, Présentée et soutenue publiquement le 6 décembre 2016.
- [14] A. Kriker, G. Debicki , A. Bali , M.M. Khenfer , and M. Chabannet, "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate," vol . 27, pp. 554-564, 2005.

- [15] H. Khaldoune, "Modélisation numérique de comportement thermophysique de composite de mortier à base des fibres de palmier dattier", Mémoire de Master Académique, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA, Soutenu le 25/05/2017.
- [16] A. Djoudi, M.M. Khenfer, A. Bali, E.H. Kadri, and G. Debicki, "Performance of date palm fibres reinforced plaster concrete," *International Journal of Physical Sciences*, vol. 7, pp. 2845-2853, 2012.
- [17] S. Mounir, Y. Maaloufa, A. b. Cherki, and A. Khabbazi, "Thermal properties of the composite material clay/granular cork," *Construction and Building Materials*, vol. 70, pp. 183-190, 2014.
- [18] A. Paiva, S. Pereira, A. Sá, D. Cruz, H. Varum, and J. Pinto, "A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards," *Energy and Buildings*, vol. 45, pp. 274–279, 2012

## **Résumé**

L'objectif principal de ce travail consiste à contribuer à la valorisation des ressources naturelles et locales ; afin de les intégrer dans le domaine de l'isolation thermique des bâtiments.

L'approche numérique décrite dans notre travail est utilisée pour la détermination des propriétés thermophysiques des matériaux composites renforcés par les fibres de palmier dattier.

Du point de vue thermique, la conductivité thermique et la diffusivité thermique des composites diminuent avec l'augmentation de la concentration des fibres. Il a été constaté aussi que les composites renforcés de fibres de bois de palmier dattier présentent une faible conductivité thermique. Ces matériaux contribuent donc à améliorer le confort, et à réduire la consommation d'énergie.

Mots clés : Mortier, Propriétés thermiques, Matériaux composites, Fibres de palmier dattier, Comsol.

## **Abstract**

The main objective of this work is to contribute to the valorization of natural and local resources; to integrate them in the field of thermal insulation of buildings.

The numerical approach described in our work is used to determine the thermophysical properties of composite materials reinforced by date palm fibers.

From a thermal point of view, the thermal conductivity and thermal diffusivity of composites decrease with increasing fiber concentration. It has also been found that fiber reinforced composites of date palm wood have a low thermal conductivity. These materials therefore contribute to improving comfort and reducing energy consumption.

Key words: Mortar, Thermal Properties, Composite Materials, Date Palm Fiber, Comsol.