

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



GRUPE INTERNATIONAL DE RECHERCHE EN ENERGIE RENOUVELABLE(GIRER)

ECOLE DOCTORALE DE PHYSIQUE, CHIMIE, SCIENCES DE LA TERRE, DE L'UNIVERS ET DE L'INGENIEUR (ED-PCSTUI)

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

THESE DE DOCTORAT UNIQUE

Présentée par

Mr. SEYDOU FAYE

Spécialité: ENERGIE SOLAIRE, MATERIAUX ET SYSTEMES/ TRANSFERT
THERMIQUE

SUJET DE RECHERCHE

CARACTERISATION DES PHENOMENES D'EMMAGASINEMENT D'ENERGIE THERMIQUES ET D'INERTIE D'UN MATERIAU FILASSE-PLATRE EN REGIME TRANSITOIRE

Soutenue publiquement le 15 Juillet 2017 devant le jury composé de :

Président	Mamadou SARR	Professeur Titulaire	Univ. /Thiès
Rapporteurs	Martial ZOUNGRANA	Maitre de Conférences	U.F.R/S.E.A Univ J.K.ZERBO
	Senghane MBODJI	Maitre de Conférences	UADB
Examineurs	Issa DIAGNE	Maitre-Assistant	FST/UCAD
	Birame DIENG	Maitre de Conférences	UADB
	Alassane DIENE	Maitre-Assistant	EPT/THIES
Directeurs	Hawa Ly DIALLO	Maitre de Conférences	Univ. /Thiès
	Grégoire SISSOKO	Professeur Titulaire	FST/UCAD

ECOLE DOCTORALE -PCSTUI-FST-
UCAD-2017

Ce modeste travail a été effectué sous la direction de Madame Hawa Ly DIALLO Maître de Conférences du Groupe International de Recherche en Energies Renouvelables Dirigé par Monsieur Grégoire SISSOKO, Professeur titulaire de classe exceptionnelle, Chevalier de l'ordre national du lion et Rédacteur en Chef du Journal des Sciences (www.cadjds.org) au département Physique de la Faculté des Sciences et Techniques de Dakar-UCAD.

DEDICACES

APRES AVOIR RENDU GRACE A ALLAH, MAITRE DE L'UNIVERS ET PRIE SUR NOTRE VENERE PROPHETE MOUHAMED (PSL).

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL SPECIALEMENT

A **MON Père Boubou FAYE** QUI UTILISE **TOUS** LES MOYENS NECESSAIRES POUR ASSURER MA REUSSITE DANS LA VIE EN GENERALE ET DANS MES ETUDES EN PARTICULIERS DEPUIS LA PREMIERE ANNEE DE FAC. JE LEUR SOUHAITE UNE TRES LONGUE VIE.

A **MA Mère KHADY TINE**, LA BRAVE, L'ENDURANTE, MA PARTENAIRE, MA PLUS QUE CONFIDENTE, MA CONSEILLERE, MERCI POUR TON IMMENSE SOUTIEN (Moral, Financier,...) !!! MERCI DE TA CONFIANCE VIS-A-VIS DE MON HUMBLE PERSONNE!!! MERCI D'AVOIR COMBLE LE VIDE APRES LE DECES DE PAPA, MERCI D'ETRE TOUJOURS A NOTRE CHEVET. JE NE SAURAI TROUVER LES TERMES ADEQUATS POUR TE RENDRE UN VIBRANT HOMMAGE, LONGUE VIE A TOI.

A MES **FRERES ET SOEURS DE SANG**

A MES **TANTES ET ONCLES**

UN GRAND MERCI ASSEZ SPECIAL A Mes Oncles

A **MA FAMILLE TOUTE ENTIERE**

A MES **SOEURS** : Ndeye Faye, Ndeye Fatou Faye, Tewe Faye, Fatou Faye, Daba Faye, Sokhna Faye, Deguine Faye, Mame Faye.

A MES **FRERES** : Pape Faye, Adama Faye, Modou Faye, Ousmane Faye, Ousseynou Faye, Souleymane Faye.

A MES **BELLES SOEURS, NIECES** (Ndeye khady Coly,.....), **NEVEUX** (Lansana Sene, Ibrahima Sene,....), **COUSINS** (Boubou Tine,.....) ET **COUSINES** (**Oulimata Tine** ,....)

A MES **AMIS**, A **TOUTE PERSONNE** QUE J'AI CONNUE LORS DE MON PASSAGE A L'UNIVERSITE.

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL A **TOUS LES PROFESSEURS** QUI NOUS ONT M'ENSEIGNE CAR SI NOUS SOMMES LA AUJOURD'HUI C'EST BIEN GRACE A VOUS TOUS, DONC UN GRAND MERCI POUR VOUS.

MERCI A VOUS **TOUS**.



MERCI

REMERCIEMENTS

Mes remerciements à l'endroit de :

MONSIEUR GREGOIRE SISSOKO, Professeur Titulaire à la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD pour avoir bien voulu m'accepté au sein du Groupe International de Recherche en Energies Renouvelables (**GIRER**). Je ne saurais trouver les mots adéquats pour vous exprimer toute ma reconnaissance. Gérer une équipe n'est pas chose aisée surtout si cette équipe est jeune mais vous y parvenez à merveille. Vous demeurez un guide pour chacun de nous, nous jeunes d'horizons diverses, de comportements différents, de visions différentes les uns des autres. Comme le disait M. Ly vous êtes un Panafricaniste.

Vous êtes un homme de conviction, de sagesse et vos conseils ont suscité en moi la persévérance et l'abnégation dans le travail. Vous avez été attentif à nos différentes sollicitations. Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en acceptant de participer et de présider ce jury.

Qu'ALLAH LE TOUT PUISSANT, LE MISERICORDIEUX VOUS BENISSE.

MONSIEUR, MARTIAL ZOUNGRANA, Maître de Conférences de l'U.F.R/S.E.A. C'est plus qu'un honneur pour nous de vous avoir parmi le jury. La distance est longue mais vous avez qu'à même honoré votre présence. Toute l'équipe vous dit un très grand merci et nous vous souhaitons la bienvenue au Sénégal (Pays de la téranga).

MONSIEUR, SENGHANE MBODJI, maître de Conférences à l'université Alioune Diop de Bambey. Vous avez été toujours disponible à nos innombrables sollicitations. A chacune des soutenances du Groupe de Recherche, nous avons eu l'honneur d'apprécier vos qualités de par les récits du Chef à l'égard de votre humble et respectueuse personne et voir tout l'estime que vous voue toute l'équipe de recherche.

MADAME HAWA LY DIALLO, maître de Conférences à l'université de Thiès. C'est toujours un immense plaisir pour moi de vous voir parmi les membres des jurys de soutenance de l'équipe de recherche. Vous demeurez un exemple pour toute femme chercheuse. A chacune de vos présences au jury de soutenance de thèse, vous suscitez en moi l'abnégation et la persévérance dans le travail !!! à travers votre humble personne je peux dire : **VIVE LES CHERCHEUSES SCIENTIFIQUES !!!!** Un grand merci à vous pour avoir bien voulu diriger ce travail de thèse. Car vous avez balisé le chemin dans cette équipe. Nous vous souhaitons une longévité et une santé de fer.

MONSIEUR MAMADOU SARR, Professeur Titulaire à l'université de Thiès. C'est plus qu'un honneur pour moi de vous avoir dans ce jury. A chacune de nos venues à Thiès,

l'accueil était le même. Vous affichez toujours le sourire et les portes de votre maison à Thiès nous sont toujours grandement ouvertes. Un grand merci assez particulier pour vous !

MONSIEUR ISSA DIAGNE, Maître-Assistant à l'université Cheikh Anta Diop. Du master2 à nos jours, vous n'avez cessé de nous assister, de nous épauler et de suivre nos travaux. Que la paix soit sur vous et sur toute votre famille. Vous avez été toujours disponible à nos innombrables sollicitations. A chacune des journées de l'équipe vous avez été honoré par votre présence et vos étudiants sont d'excellents collaborateurs dans l'avancée de la recherche scientifique. Je vous remercie pour l'honneur que vous me faites en acceptant de participer à ce jury.

MONSIEUR, BIRAME DIENG, maître de Conférences à l'université Alioune Diop de Bambey. Vous avez été toujours disponible à nos innombrables sollicitations. A chacune de mes nombreux appels téléphoniques vous avez répondu avec beaucoup de respect et d'abnégation à mes sollicitations. Un grand Merci ! à vous. Qu'Allah le tout puissant vous comble de sa grâce. C'est plus qu'un honneur pour moi de vous avoir parmi ce jury.

MONSIEUR, ALASSANE DIENE Maître-Assistant à l'EPT. Merci pour votre contribution et vos remarques ! Merci d'avoir répondu à mes nombreuses sollicitations. Qu'ALLAH vous comble de sa grâce.

Monsieur, Mor NDIAYE Assistant à la FST- UCAD. Un grand Merci à vous. Un grand merci à vous ! Merci d'avoir été accueillant et souriant vis-à-vis de nous.

*Je remercie aussi les Docteurs qui n'ont cessé de m'encourager, de m'épauler et de me conseiller pour que cette thèse arrive à terme : **Dr Moussa Dieng, Dr sitor Diouf, Dr Amary Thiam, Dr Aminata Gueye Camara, Dr Fatimata Ba** Un grand merci à mes promotionnaires et plus particulièrement à ceux du même groupe de recherche comme : **Ibrahima Diatta, Youssou Traore, Papa T Traore, Imam K Toure, Dame Diao, Mayoro Dieye, Bamba Diop, El hadji Ndiaye, Mohamadou Samassa Ndoye** et aussi les Masters : **Cheikh Tidiane, Babacar Cisse, Madani, Ndack, Selma***

*A tous les membres du LASES un grand merci comme **Ousmane Ngom**,..... Sans vous, il aurait été difficile de réussir. Je remercie tous les enseignants de l'école HLM Grand yoff II surtout **Mr Diawara et Oustaz Niasse**. Je remercie tous les enseignants du CEM Scat Urban surtout **Mr Diouf, Mr Traore et Mr Thiam**.*

*Je remercie tous les enseignants du Lycée Sergent Malamine Camara (ex : LyMoDak comme **Mr Diop, Mr Fall et Mr Camara**)*

*Je remercie tous mes amis d'**Arafat Grand yoff : Ousmane Ba, Amadou Fall**,...*

TABLE DES MATIÈRES

<u>DEDICACES</u>	II
<u>REMERCIEMENTS</u>	IV
<i>LISTE DES FIGURES</i>	X
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	XI
<u>NOMENCLATURE</u>	XI
Chapitre I : Etude Bibliographique	5
Introduction :.....	5
Dans l'étude bibliographie nous allons faire une présentation des matériaux :.....	5
I.2 Présentation du plâtre	8
I.3 Modélisation et mesure des propriétés thermiques d'isolation fibres végétales par la méthode de la plaque chaude asymétrique et radiale méthode des flux	11
I.4 Caractérisation par phénomènes thermiques transitoires d'une dalle en béton récupératrice d'énergie solaire.....	16
I.5 Détermination de paramètres thermiques d'un matériau en régime dynamique fréquentiel à partir de diagrammes de Bode et de représentations de Nyquist	20
I.6 Caractérisation des isolateurs locaux : sciure et laine de Kapok	24
I.7 Caractérisation d'un matériau isolant thermique filasse-plâtre à partir de l'impédance thermique en régime dynamique fréquentiel	27
Chapitre II : Modélisation a une dimension du transfert de chaleur dans un matériau filasse-plâtre	
Introduction :.....	32
II.2.2 Equation de la chaleur a une dimension.....	33
II.2.3 Expression Mathématique de la Température.....	34
II.2.3.1 Résolution de l'équation de la chaleur a une dimension.....	34
II.2.3.2 Equation transcendante	37
II.2.3 Expression de la Température :.....	39
II.3 Evolution de la Température dans le matériau filasse-plâtre :.....	40
II.3.1 Evolution de la Température en fonction de la profondeur :	40
II.3.1.1 Evolution de la Température en fonction de la profondeur pour différentes valeurs du coefficient d'échange	40
II.3.1.2.Evolution de la Température en fonction de la profondeur pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face arrière :	43

II.3.2 Evolution de la Température en fonction du coefficient d'échange à la face avant :	47
II.3.2.1 Evolution de la Température en fonction du coefficient d'échange à la face avant pour différentes valeurs de la profondeur :	47
Evolution de la Température en fonction du coefficient d'échange à la face avant pour différentes valeurs de la diffusivité :	49
II.3.2.2 Evolution de la Température en fonction du temps :	52
II.3.2.2.1 Evolution de la Température en fonction du temps pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant :	52
II.3.2.2.1 Evolution de la Température en fonction du temps pour différentes valeurs de la diffusivité thermique :	54
7) Evolution de la Température en fonction de Logarithme du temps :	55
71) Température en fonction de Logarithme du temps :	55
II.2.4 Expression de la Densité de flux de chaleur	56
II.3.1 Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur :	56
II.3.1.1 Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur pour différentes valeurs du coefficient d'échange :	57
II.3.1.2 Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur pour différentes valeurs de la diffusivité thermique:	60
II.3.2 Evolution de la densité de flux de chaleur thermique en fonction du coefficient d'échange à la face avant :	61
II.3.2.1 Evolution de la densité de flux de chaleur pour différentes valeurs de la profondeur :	61
II.3.2.2 Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction du coefficient thermique pour différentes valeurs de la diffusivité thermique :	63
II.4 Evolution la densité de flux de chaleur thermique en fonction du temps :	64
II.4.1 Evolution la densité de flux de chaleur pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant :	64
II.5 Evolution de la densité de flux de chaleur thermique en fonction de Logarithme du temps :	
II.5.1 Densité de flux en fonction de Logarithme du temps :	66
Conclusion :	68
CHAPITRE III : Détermination des paramètres thermophysiques de la filasse-plâtre par analogie électrique- thermique.....	70
III .1 Introduction :	70
III 2. Analogie entre grandeurs thermiques et électriques	70

III 3. Variation de la température en fonction de la densité de flux de chaleur :.....	71
III 3.1. Evolution de la densité de flux thermique en fonction de la température sous l'influence de la profondeur.....	71
III 4.2 Evolution de la densité de flux thermique en fonction de la température sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant :.....	72
II.5 Evolution de la variation de température en fonction de la densité de flux de chaleur à travers le matériau filasse-plâtre :.....	73
III 6. Etude de la Capacité Thermique d'un mur simple constituée de filasse-plâtre :.....	73
III 6.1 Expression de la Capacité Thermique :	74
III 6.2.1 Evolution de la capacité thermique en fonction de la profondeur :	75
Nous remarquons pour les faibles valeurs de la profondeur, la capacité thermique est maximale et elle commence à diminuer jusqu'à une valeur nulle.	76
II 6.2.2 Evolution de la capacité thermique en fonction du temps :	77
II 6.3 Evolution de la capacité thermique en fonction du coefficient d'échange à la face avant . Conclusion :	78
Chapitre IV : Etude de la Résistance thermique du matériau filasse-plâtre	80
IV.1 Introduction :	80
IV.2 Calcul de la Résistance thermique R_{th}	80
IV 3. Expression de la Résistance Thermique R_{th}	80
IV 4. Coefficient global d'échange thermique K du matériau filasse-plâtre	81
IV 5.1. Evolution de la Résistance Thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant	83
IV 5.2. Evolution de la Résistance Thermique Relative en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant.....	85
IV 5.2. Evolution de la Résistance en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face arrière :	86
IV 5.3 Evolution de la Résistance en fonction du coefficient d'échange à la face avant:	88
Conclusion :	90
<i>Conclusion générale et Perspectives</i>	91
Références.....	95
Annexes Mathématiques	102

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Plante de Sisal	6
Figure 2: Fibre de Sisal	6
Figure 3 : Nattes de Filasse.....	7
Figure 4 : Poudre de plâtre	7
Figure 5 : Brique de plâtre	8
Figure 6 : Brique de plâtre	9
Figure 7 : Schéma du système modélisé en trois dimensions	12
Figure 8 : Dispositif expérimental en vue en coupe	14
Figure 9 : Capacité de chaleur de masse de fibre en fonction de la température.....	15
Figure 10 : Echantillon à caractériser (dalle en béton).....	16
Figure 11 : Partie inférieure d'un élément.....	17
Figure 12 : Courbes expérimentales de relaxation de la température.....	19
Figure 13 : Technique d'intersection de $FTi0(\omega)$ et $\delta\theta$	20
Figure 14 : Matériau plan soumis à des températures excitatrices en régime dynamique fréquentiel au niveau des deux faces	21
Figure 15 : Evolution de la température en fonction de la profondeur du matériau. $h1=1000 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$ et $h2 = 0,05 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$; (1) $\omega = 10^{-2} \text{ rad/s}$, (2) $\omega=5 \cdot 10^{-1} \text{ rad/s}$ et (3) $\omega=1 \text{ rad/s}$	23
Figure 16 : Evolution du flux en fonction de la profondeur du matériau. $h2=0,05 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$; $h1=1000 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$. (1) $\omega=10^{-3} \text{ rad/s}$, (2) $\omega=10^{-2} \text{ rad/s}$ et (3) $\omega=10^{-1} \text{ rad/s}$	23
Figure 17 : Evolution de la température en fonction du coefficient d'échange thermique à la face avant, $x=10^{-3} \text{ m}$; $h2=1000 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$; (1) $\omega = 10 \text{ rad/s}$, (2) $\omega = 10^{-1} \text{ rad/s}$ et (3) $\omega = 1 \text{ rad/s}$	24
Figure 18 : Evolution du flux de chaleur en fonction du coefficient d'échange thermique à la face avant. $h2=0,05 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$; $x=10^{-5} \text{ m}$. (1) $\omega=10^{-3} \text{ rad/s}$, (2) $\omega=10^{-2} \text{ rad/s}$ et (3) $\omega=10^{-1} \text{ rad/s}$	24
Figure 19 : Modèle d'étude du matériau filasse-plâtre : matériau vu à deux dimensions, visualisation de l'axe de profondeur et de l'axe latéral	27
Figure 20 : les valeurs propres β_n	29
Figure 21 : Echantillon à étudier constituée de l'isolant thermique filasse-plâtre avec $L=0.05\text{m}$, $T_a=30\text{C}$ et $T_i=10\text{C}$	33
Figure 22: Détermination graphique des valeurs propres (β_n) de l'équation transcendante ..	38
Figure 23: Evolution de la température en fonction de la profondeur du matériau sous l'influence du coefficient à la face avant, $t = 100\text{s}$ et $h2 = 0.005 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$	41
Figure 24: Evolution de la température en fonction de la profondeur du matériau sous l'influence du coefficient à la face avant, $t = 100\text{s}$ et $h2 = 0.005 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$	42
Figure 25: Evolution de la température en fonction de la profondeur du matériau sous l'influence du coefficient d'échange à la face arrière, $t = 100\text{s}$ et $h1 = 10 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$	43
Figure 26: Evolution de la température en fonction de la profondeur du matériau sous l'influence du coefficient d'échange à la face arrière, $t = 100\text{s}$ et $h1 = 25 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$	44
Figure 27: Evolution de la Température en fonction de la profondeur sous l'influence du temps, $h1=15 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ et $h2=0.05 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$	45
Figure 28: Evolution de la température en fonction de la Profondeur l'influence sous la diffusivité thermique $h1=10 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$, $h2=0.05 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ et $t=100\text{s}$	46

Figure 29: Evolution de la température en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 , $t = 100s$ et $h_2 = 0.005 W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ 47

Figure 30: Evolution de la température en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 , $t = 100s$ et $h_2 = 5 W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ 48

Figure 31 : Evolution de la température en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 sous l'influence de la diffusivité $x=0.01m$, $h_2=0.05 W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ et $t=100s$ 49

Figure 32: Evolution de la Température en fonction du coefficient d'échange à la face arrière sous l'influence de la profondeur $h_1=25W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ et $t=100s$ 50

Figure 33: Evolution de la Température en fonction du coefficient d'échange à la face arrière sous l'influence de la profondeur $h_1=5W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ et $t=100s$ 51

Figure 34 : Evolution de la température en fonction du temps matériau, sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant, $x = 0.01 m$ et $h_2 = 0.005 W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ 52

Figure 36 : Evolution de la température en fonction du temps sous l'influence de la diffusivité $x=0.01m$, $h_1=10W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$, $h_2=0.05W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ et $t=100s$ 54

Figure 37: Evolution de la Température en fonction de Logarithme du Temps pour divers valeurs valeurs de h 55

Figure 38: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur du matériau, $t = 100s$ et $h_2 = 0.005 W.m^{-2} C^{-1}$ 57

Figure 39: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur du matériau, $t = 100s$ et $h_2 = 5 W.m^{-2} . C^{-1}$ 59

Figure 40 : Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur pour différentes valeurs de la diffusivité thermique $h_1=10W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$, $h_2=0.05 W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ et $t=100s$ 60

Figure 41: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 , $t = 100s$ et $h_2 = 0.005 W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ 61

Figure 42: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 , $t = 100s$ et $h_2 = 5 W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ 62

Figure 43 : Evolution de la densité de flux de chaleur pour différentes valeurs de la profondeur, $x=0.01m$, $h_2=0.05 W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ et $t=100s$ 63

Figure 44: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction du temps, sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant, $x = 0.01m$ et $h_2 = 0.005 W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ 64

Figure 45: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction du temps, 65

Figure 46 : Evolution la densité de flux de chaleur en fonction du temps pour différentes valeurs de la diffusivité thermique, $x=0.01m$, $h_1=10 W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ et $h_2=0.05W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ 66

Figure 47: Evolution de la Densité de Flux de Chaleur en fonction du logarithme du temps pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant. 67

Figure 48: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la température pour différents valeurs de la profondeur 71

Figure 49: Evolution de la densité en fonction de la densité de la température pour différents du coefficient d'échange à la face avant $h_2=0.005W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$ 72

Figure 50: Variation de température en fonction de la densité de flux de chaleur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant h_1 73

Figure 51: Evolution de la capacité thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant $h_2=0.05W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$, $t=100s$ 75

Figure 52: Evolution de la capacité thermique en fonction du temps sous l'influence de la profondeur 77

Figure 53 : Evolution de la capacité thermique R_{th} en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 78

Figure 54: Evolution de la Résistance thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant, avec $h_2=0.05W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$ et $t =100s$ 84

Figure 55: Evolution de la Résistance thermique Relative en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant, $h_2=0.05W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$ et $t =100s$ 85

Figure 56: Evolution de la Résistance thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face arrière 87

Figure 57: Evolution de la résistance thermique en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 , avec $h_2=0.05W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$ et $t =10s$ 88

Figure 58: Evolution de la Résistance thermique Relative en fonction du coefficient d'échange à la face avant sous l'influence de la profondeur 89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Valeurs moyennes des paramètres thermophysiques de la dalle 20
Tableau 2: Valeurs propre βn 29
Tableau 3: Différentes valeurs de la température et de la densité de flux de chaleur du
matériau filasse-plâtre pour $t = 100s$ et $h_2 = 5W.m^{-2}.0C^{-1}$ 60
Tableau 4: Equivalence entre les grandeurs Electriques et les grandeurs Thermiques 70

NOMENCLATURE

<u>SYMBOLE</u>	<u>GRANDEUR PHYSIQUE</u>	<u>UNITES</u>
C	<i>Coefficient d'échange convectif à la face avant</i>	$W.m^{-2}.K^{-1}$
h_2	<i>Coefficient d'échange convectif à la face arrière</i>	$W.m^{-2}.K^{-1}$
C	<i>Chaleur spécifique</i>	$J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$
T	<i>Température</i>	$^{\circ}C$
T_i	<i>Température du matériau filasse-plâtre</i>	$^{\circ}C$
h	<i>Coefficient d'échanges thermiques</i>	$W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$
t	<i>Temps</i>	s
α	<i>Coefficient de diffusivité thermique</i>	$m^2.s^{-1}$
λ	<i>Coefficient de conductivité thermique</i>	$W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$
ρ	<i>Masse volumique</i>	$kg.m^{-3}$
ϕ	<i>Densité de flux suivant une direction</i>	$W.m^{-2}$
C	<i>Capacité électrique équivalente du matériau</i>	$W.^{\circ}C^{-1}.s^{-1}$
C_{th}	<i>Capacité thermique du matériau</i>	$W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$
R_{th}	<i>Résistance thermique du matériau</i>	$^{\circ}C/W.m^{-2}$
\vec{J}_g	<i>Vecteur densité de flux</i>	$W.m^{-2}$
I	<i>Intensité</i>	A
ΔV	<i>Différence de potentielle</i>	V
ΔT	<i>Différence de Température</i>	$^{\circ}C$

Z	<i>Impédance électrique</i>	Ω
C	<i>Capacité électrique :</i>	F
$\theta(u, \tau)$	<i>Température réduite correspondante au régime transitoire</i>	
u	<i>Variable réduite d'espace</i>	
τ	<i>Variable réduite de temps</i>	
τ_d	<i>Constante de temps réduite</i>	
F_0	<i>Nombre de Fourier</i>	
B_{i1}	<i>Nombre de Biot a la face avant</i>	
B_{i2}	<i>Nombre de Biot a la face arrière</i>	

Introduction générale

Introduction générale

La protection des aléas du climat a été cherchée par l'homme depuis longtemps. C'est pourquoi ce dernier a tenté de conserver la chaleur, de réduire l'influence du froid, du vent etc.

Une trentaine d'années après le choc pétrolier, de plus en plus nous tendons vers une crise énergétique, ce qui entraîne la raréfaction des énergies fossiles et une augmentation des coûts sur les énergies.

C'est dans cette perspective que nous nous intéressons à la politique de la consommation d'énergie, de l'économie d'énergie mais aussi à l'isolation thermique[1].

Ces enjeux c'est-à-dire l'utilisation de l'énergie et l'économie d'énergie s'ajoutent, à l'enjeu environnemental qui est très important dans l'étude de l'isolation thermique.

Dans le cadre de cette étude, nous proposons une caractérisation des phénomènes d'emmagasinement d'un isolant thermique filasse-plâtre. Avec l'importance du coût bas, le plâtre est utilisé dans le monde entier malgré sa fragilité. Pour réduire cette fragilité, nous allons faire un mélange binaire plâtre-fibre. Ce matériau est donc de la filasse avec du plâtre.

Dans le secteur de l'habitat nous avons une consommation très importante au Sénégal ces dernières années, et par conséquent nous rencontrons de nombreuses difficultés face à l'approvisionnement de notre pays.

Ainsi nous allons traiter le thème « caractérisation des phénomènes d'emmagasinement d'énergie thermiques et d'inertie d'un matériau filasse-plâtre en régime transitoire[2] ».

Le mélange d'un matériel isolant à un matériau de construction est un processus le plus simple pour améliorer ses propriétés isolantes thermiques. [3]

L'isolation a un rôle important dans les applications thermiques et acoustiques, en particulier dans la production de froid. [4]

L'étude nous permet de faire appel aux gens du pays, pour l'utilisation des produits naturels (filasse, kapok, lin, etc) dans le cas de l'amélioration de l'isolation thermique. Divers travaux ont présenté différentes méthodes de détermination de paramètres thermophysiques notamment la conductivité thermique, l'effusivité thermique [5], le coefficient de diffusivité thermique, ou le coefficient d'échanges thermiques [6] de ces dernières. Parmi les méthodes utilisées, nous avons la méthode statique, la méthode dynamique transitoire et la méthode dynamique fréquentielle[7, 8]. Les méthodes de mesures de la diffusivité thermique de matériaux sont :

-Méthode utilisant le régime dynamique fréquentiel ;

-Méthode utilisant le régime dynamique transitoire ;

Et aussi la méthode de détermination du coefficient d'échange thermique.

-Méthode du bilan thermique en régime permanent,

-Méthode du bilan thermique en régime transitoire.

Nous allons aborder notre sujet sur quatre chapitres :

L'étude Bibliographie est le premier chapitre. IL comprend aussi deux grandes parties.

Dans la première partie nous donnerons des techniques de mesures de grandeurs thermiques caractéristiques du matériau c'est-à-dire la diffusivité thermique[9], la conductivité thermique et des coefficients d'échanges thermiques entre paroi-environnement etc.

Dans la deuxième partie nous allons faire une présentation du matériau filasse-plâtre[10] en donnant les différentes caractéristiques de ce matériau étudié.

Dans le deuxième chapitre, l'étude de l'évolution de la température et de la densité de flux de chaleur dans le matériau filasse-plâtre est présentée. Dans cette partie nous cherchons l'influence du coefficient d'échange thermique convectif à la face avant imposée par les sollicitations climatiques extérieures.

Dans le troisième chapitre nous allons faire une analogie entre les grandeurs thermiques et les grandeurs électriques. Nous étudions aussi l'évolution de la capacité thermique[11, 12, 13], la température en fonction de la densité de flux de chaleur.

Et enfin dans le quatrième chapitre nous allons faire une étude sur la résistance thermique[14, 15] qui a permis de caractériser de manière succincte le transfert thermique à partir d'une analogie électrique thermique.

CHAPITRE I : Etude
Bibliographique

Chapitre I : Etude Bibliographique

Introduction :

Pour valoriser les matériaux locaux, il est important de connaître les différentes méthodes de caractérisation des paramètres intrinsèques et thermophysiques c'est-à-dire la diffusivité, la conductivité et les coefficients globaux d'échanges thermiques qui dépendent de plusieurs facteurs comme : la nature du matériau et les conditions d'expérimentation.

Parmi ces différentes méthodes de détermination nous avons :

- Modélisation et mesure des propriétés thermiques d'isolation fibres végétales par la méthode de la plaque chaude asymétrique et radiale méthode des flux.
- Caractérisation par phénomènes thermiques transitoires d'une dalle en béton récupératrice d'énergie solaire.
- Caractérisation des isolateurs locaux : sciure et laine de Kapok.

Dans ce chapitre nous allons faire en premier lieu la présentation du matériau filasse-plâtre et enfin nous allons étudier les méthodes de caractérisation des paramètres intrinsèques et thermophysiques.

Dans l'étude bibliographie nous allons faire une présentation des matériaux :

- De la présentation du filasse et
- De la présentation du plâtre.

I.1 Présentation du Filasse :

Il existe plusieurs types de fibres :

-les fibres naturelles sont composées des fibres végétales, des fibres animales, des fibres minérales et

-les fibres artificielles.

Parmi ces nombreuses fibres nous intéressons à celles des végétales.

Elles sont composées :

- des tiges (lin, chanvre, ramie, jute, genêt, kénaf, jonc, bambou),
- des fruits (coton, kapok et coco) et
- des feuilles (sisal, raphia, alfa, paja toquilla, abaca, phorminum).

Parmi toutes les fibres naturelles le sisal est l'objectif de notre étude.

I.1.1 Origine du Sisal

Le sisal est originaire de l'est du Mexique .Sisal est également le nom de la fibre extraite des feuilles de cette plante.

Le nom provient de la ville de Sisal situé dans la province du Yucatan. L'intérêt de cette plante poussera des pays européens comme, la Belgique et la France ; des pays américains comme, le Brésil, la Colombie, le Venezuela et Cuba à introduire cette plante dans leur agriculture.

L'introduction du sisal en Afrique est à mettre à l'actif des colons. Il a été introduit au Congo par les Belges, en Afrique du Nord (Maroc et Algérie), en Madagascar et en A.O.F (Haute-Volta, Mali, Guinée et Sénégal) par les Français. [I. 1]



Figure 1: Plante de Sisal



Figure 2: Fibre de Sisal

I.1.2 Caractéristiques

Le sisal a une durée de vie de 7/10 ans. Généralement la première coupe a lieu après 2/3 ans, puis à 6/12 mois d'intervalle.

Une plante typique produira 200/250 feuilles commercialement exploitables dans ses temps de vie (variétés hybrides jusqu'à 400-450 feuilles) et chaque feuille contient une moyenne d'environ 1000 fibres. L'élément à fibres, qui ne représente que 4% environ de la plante en poids, est extrait par un procédé connu sous le nom de décortication. La longueur de la fibre est de 60cm à 110cm.

I.1.3 Conditions de stockage

Au moins 24 mois. Conserver dans un emballage bien fermé dans un endroit sec, à une température entre +5°C et +25°C. [I. 2]

I.1.4 L'utilisation de sisal

Pour sa haute résistance, elle est traditionnellement utilisée pour la production de ficelles agricoles et des cordes. En dehors de cordes, ficelles et cordages, le sisal peut être utilisé pour les jeux de fléchettes, pour le polissage en tissu, pour des filtres, des tapis et fils noyaux de

corde. Au cours de ces dernières années, le sisal a été utilisé comme une force «naturelle» et ses caractéristiques respectueuses de l'environnement sont grandement appréciées.

Le sisal remorquage (fibres récupérées du processus de brossage) et cardée est utilisée.

Les fibres du chanvre offrent une multitude d'usages pour l'habillement, les sacs à dos, les moquettes, les matelas, les cordes pour ne nommer que quelques un.

La filasse est imputrescible, ininflammable, pas comestible aux rongeurs et insectes ; mais surtout possède une importante inertie thermique (capacité d'un matériau à accumuler de l'énergie thermique et à la restituer, par la suite sur une période de temps plus ou moins longue [I. 1])

La ténacité en humidité est de 12% et le sisal est un produit non dangereux.

Il doit être protégé de la mer, la pluie et l'eau de condensation et également des niveaux élevés d'humidité relative.

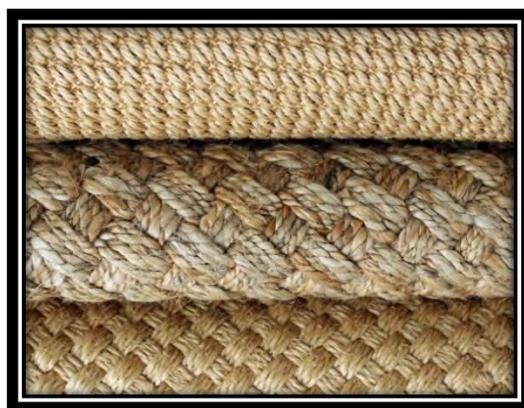


Figure 3 : Nattes de Filasse

La filasse est utilisée pour armer ou renforcer le plâtre.

La filasse est utilisée aussi dans le cadre de la plomberie pour accrocher correctement au filetage des raccords. Elle est utilisée aussi pour le staff c'est-à-dire la création, la réalisation et la décoration des plafonds.

I.1.5 Mise en œuvre

➤ Mode d'emploi

- Appliquer le chanvre dans le filetage (dans le sens du filet)
- Appliquer la pâte abondamment et uniformément sur le filet entier.
- Assembler le raccord. [I. 2]

➤ Propriétés techniques

Résistance à l'eau: Très bon(ne)

Résistance à la température : -20°C à +130°C. [I. 2]

I.2 Présentation du plâtre

Le plâtre est un matériau de construction très usité car il présente de nombreux avantages : en particulier, c'est un matériau abondant, relativement bon marché, d'une grande facilité de mise en œuvre, et il assure naturellement des propriétés mécaniques suffisantes pour répondre à de nombreux emplois. [I.3]

Cependant, le plâtre présente aussi quelques inconvénients qui limitent son utilisation.

D'abord le plâtre est un matériau friable. Par ailleurs, il possède une bonne résistance en compression, mais des résistances en flexion et aux chocs très faibles. Ensuite, c'est un matériau fragile, c'est-à-dire que l'amorçage d'une fissure dans ce matériau conduit à sa ruine (fissuration non contrôlée) :

il se casse en deux morceaux. Enfin, on peut citer le fait que c'est un matériau perméable, ce qui interdit son utilisation dans des environnements sujets à l'humidité (façade des bâtiments, par exemple). Aussi, l'utilisation du plâtre se restreint actuellement à une utilisation intérieure comme matériau d'isolation acoustique et phonique, et comme éléments de décoration (stuc, corniches...). [I.3]

Nous allons présenter dans ce paragraphe quelques-unes des diverses voies d'amélioration des propriétés du plâtre qui ont été envisagées jusque-là, puis nous focaliserons notre attention sur

Les études ayant traitées au renforcement du plâtre par des fibres, et sur quelques autres concernant l'emploi de charges pour modifier la microstructure du plâtre. [I.3]



Figure 4 : Poudre de plâtre



Figure 5 : Brique de plâtre

Pour la décoration :



Figure 6 : Brique de plâtre

I.2.1. Généralités sur le plâtre :

Comme nous venons de le souligner, la validation du plâtre en tant que matériau de construction a fait l'objet de nombreuses études pour l'optimisation de ses propriétés.

Plusieurs voies ont ainsi été explorées, dans le but soit d'améliorer les propriétés, soit d'ouvrir de nouveaux domaines d'utilisation.

Dans un premier temps, bien sûr, plusieurs auteurs se sont attachés à réduire la fragilité du plâtre. Pour cela, deux approches sont possibles :

- on crée un matériau composite en associant au plâtre des renforts sous forme de fibres ou de particules, qui vont améliorer la résistance mécanique du plâtre tout en retardant la propagation des fissures.

- on cherche à agir sur la microstructure du plâtre. En effet, comme on vient de le voir, le plâtre pris sec est un matériau très poreux (porosité d'environ 50 %), constitué d'un enchevêtrement de cristaux de gypse, sous forme de plaquettes et d'aiguilles. La forte porosité du plâtre est particulièrement préjudiciable à ses propriétés mécaniques, aussi de nombreuses études s'attachent-elles à réduire cette porosité. De plus, il est reconnu que la cristallisation sous forme d'aiguilles des cristaux de gypse conduit à de meilleures propriétés mécaniques du plâtre ; c'est pourquoi certains auteurs cherchent à influencer la nucléation et la croissance des cristaux de gypse en ajoutant certains additifs au plâtre.

Ensuite, on peut noter de nombreuses études ayant pour but d'améliorer les qualités naturelles du plâtre. En effet, depuis l'antiquité, le plâtre est utilisé pour protéger du feu les éléments structuraux en bois, qui sont recouverts de ce matériau. Cependant, bien que possédant un comportement au feu excellent, le plâtre se rétracte lorsqu'il est exposé à une forte chaleur, et se fissure donc. C'est pourquoi certains auteurs ont ajouté au plâtre des fibres réfractaires [I.4], ou bien des fibres naturelles ou synthétiques, dotées elles aussi d'une bonne résistance au feu, telles que les fibres de verre [I.5], ou les fibres de sisal (fibres végétales

extraites d'une plante des régions tropicales, l'agave sisalana) [I.6] qui est l'objet de notre étude. Le but est ici d'augmenter la résistance au feu du plâtre, en retardant l'amorçage et la propagation de fissures générées par le retrait du matériau lorsqu'il est exposé à une forte chaleur.

Quelques études, comme celles de [I.7],[I.8],[I.9], traitent de l'augmentation de la résistance du plâtre à l'absorption d'eau, qui est très préjudiciable aux propriétés mécaniques du plâtre. En effet l'étude de ces dernières traite les propriétés mécaniques du plâtre, l'absorption de 6 à 7 % d'eau entraîne une diminution de résistance de pratiquement 50 %. La solution alors apportée consiste à imprégner le plâtre par des solutions polymères, qui imperméabilisent le matériau, et contribuent à augmenter ses propriétés mécaniques.

Enfin, on peut citer quelques publications visant à alléger le plâtre, sans que s'ensuive une perte trop conséquente de ses propriétés mécaniques. Pour ce faire, l'une des techniques les plus utilisées consiste à remplacer dans des matériaux une partie du plâtre par des particules plus légères.

I.2.2 Etudes concernant le renforcement du plâtre :

➤ Renforcement par des fibres :

Aussi différents auteurs ont-ils étudié le renforcement du plâtre par des fibres naturelles ou synthétiques, de moindre coût que les fibres de verre [I.3]. On peut citer une étude de [I.9] sur le renforcement du plâtre par des fibres prélevées dans les tiges des fleurs de coton ; ces fibres contribuent de façon notable à l'amélioration des propriétés mécaniques du plâtre.

Nous avons déjà citer des études où des fibres sisal étaient associées au plâtre dans le but de retarder l'amorçage et la propagation des fissures dans le matériau lorsqu'il est soumis au feu [I.6]. De la même façon, [I.10] ont utilisé ces mêmes fibres pour augmenter la contrainte à la rupture et la ténacité du plâtre.

De tels matériaux, dont le coût se révèle très faible, peuvent être utilisés en architecture et pour des applications d'ingénierie civile.

Enfin, dans une récente étude [I.11] nous avons montré l'effet bénéfique de l'ajout de fibres polyamide sur les performances mécaniques du plâtre.

I.2.3 Etudes visant à modifier la microstructure du plâtre :

I.2.3.1 Application d'une précontrainte initiale

Une autre approche dans l'étude de la réduction de la forte porosité du plâtre consiste à précontraindre le plâtre pendant sa prise [I.12]. Il découle de ce gonflement en cours de prise, une structure poreuse du plâtre après sa prise, quand bien même il est gâché sans excès d'eau.

Partant de ce fait, il semble possible de réduire la porosité du matériau en empêchant son expansion au cours de la prise. Pour ce faire, il suffit d'appliquer sur la surface libre du plâtre au cours de la prise une pression constante, compensant totalement ou partiellement la pression exercée par le plâtre lors de son gonflement. On parle alors de « plâtre précontraint » ou de « plâtre à prise contrariée ».

La réduction de la porosité du matériau obtenue par la précontrainte conduit ainsi à des valeurs de contrainte à la rupture en flexion et de module d'élasticité bien supérieures à celles du plâtre non contraint [I.13].

L'étude bibliographie nous allons faire une étude sur les différents types de méthodes de détermination et caractérisation des phénomènes thermophysiques.

I.3 Modélisation et mesure des propriétés thermiques d'isolation fibres végétales par la méthode de la plaque chaude asymétrique et radiale méthode des flux[I. 14]

Dans cet article les auteurs mettent en exergue la modélisation et la mesure des propriétés thermo physiques des différentes fibres végétales comme : les fibres de kapok, les fibres de coque d'arachide, les fibres de rotin et les fibres de noix de coco.

Il existe plusieurs méthodes qui sont : la méthode chaude asymétrique de plat et la méthode radiale de flux, etc.

L'objet de l'auteur est de comparer les propriétés thermiques estimées par ce procédé aux résultats obtenus par un flux radial méthode des flux, une méthode de régime permanent qui mesure directement la conductivité thermique.

Les auteurs font d'abord une étude expérimentale ensuite une étude théorique.

I.3.1 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental de mesure de l'effusivité thermique est composé (De blocs isothermes, d'arachides shell fibres, de dispositif d'enregistrement de la température, plaque chauffante insérée, un matériau isolant, Type K thermocouple, Générateur électrique). Il est un dispositif de plaque chauffante asymétrique qui permet l'enregistrement de la température au centre du chauffage surface.

I.3.2 Processus d'étalonnage de l'élément de chauffage

La température au centre de l'élément chauffant a été mesurée avec thermocouple de type K fait avec deux fils de diamètre 0,005 mm.

La conductivité thermique du matériau isolant en polystyrène mesurée par la méthode de la plaque centrale [29] est $0,032 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ et sa capacité calorifique volumique est de $4800 \text{ J m}^{-2} \text{ K}$.

Ce dispositif expérimental est placé sur un bloc isothermique épaisseur de 20 mm et d'une section de $200m \times 200m$. La température T_0 du bloc isotherme a été supposé uniforme. Cette

hypothèse est validée si le nombre Bi $\left(Biot = \frac{hL}{\lambda_{AL}} \right)$ est inférieur à de 0,1 [I.14]. Considérant

$h = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, la conductivité thermique des blocs ? Al = $200 \text{ W m}^{-2} \text{ K}$ implique que $Bi = 0,01$ donc que la température des blocs d'aluminium peut être envisagée comme uniforme.

I.3.3 La modélisation physique

La modélisation a été basée sur les hypothèses suivantes:

- Dans un premier temps, le système a une T_a (température ambiante) de température uniforme.
- Le polystyrène est un matériau isolant. Ainsi, la résistance thermique de contact à l'interface de l'élément chauffant / polystyrène sera négligée.
- Les fibres sont séchées, aucun transfert de masse ne se produit.

➤ **Modèle à Trois dimensions :**

Dans cette partie les auteurs ont étudié l'évolution de la température à trois dimensions $T(x, y, z, t)$ à travers les fibres.

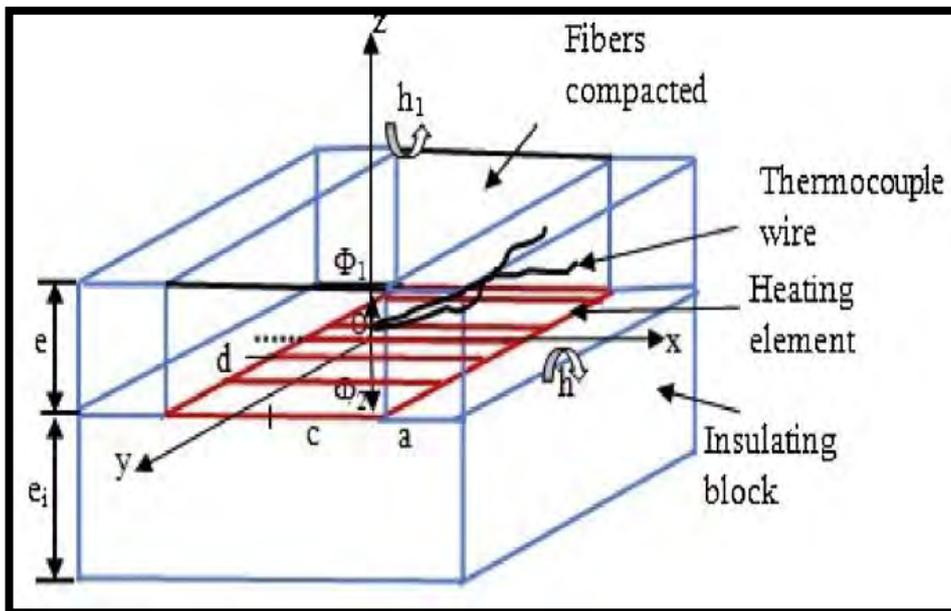


Figure 7 : Schéma du système modélisé en trois dimensions

➤ **Modèle à trois dimensions :**

Si $T(x, y, z, t)$ est la température à travers les fibres, l'équation du transfert de chaleur est la suivante:

$$\frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial z^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial t} \quad (I.1)$$

Avec une condition initiale

$$T(x, y, z, t = 0) = T_a \quad (I.2)$$

Les conditions aux limites :

$$x = 0 \quad \frac{\partial T(0, y, z, t)}{\partial x} = 0 \quad (I.3)$$

$$y = 0 \quad \frac{\partial T(x, 0, z, t)}{\partial y} = 0 \quad (I.4)$$

$$Z = e, \quad 0 \leq x \leq c \quad \text{et} \quad 0 \leq y \leq d$$

$$-\lambda \frac{\partial T(x, y, e, t)}{\partial z} = h_1 [T(x, y, e, t) - T_a] \quad (I.5)$$

$$x = c + a ; \quad -\lambda \frac{\partial T(c + a, y, e, t)}{\partial z} = h_1 [T(c + a, y, e, t) - T_a] \quad (I.6)$$

$$z = 0 ; \quad -\lambda \frac{\partial T(x, y, 0, t)}{\partial z} = \frac{T_h(x, y, t) - T(x, y, 0, t)}{R_C} \quad (I.7)$$

$$x = c ; \quad -\lambda \frac{\partial T(c, y, z, t)}{\partial x} = -\lambda_i \frac{\partial T(c, y, z, t)}{\partial x} \quad (I.8)$$

$$y = d ; \quad -\lambda \frac{\partial T(x, d, z, t)}{\partial y} = -\lambda_i \frac{\partial T(x, d, z, t)}{\partial y} \quad (I.9)$$

$$z = 0 ; \quad \Phi_0 = \rho_h c_h e_h \frac{\partial T_C(x, y, t)}{\partial t} - \lambda \frac{\partial T(x, y, 0, t)}{\partial z} + \lambda_i \frac{\partial T_i(x, y, 0, t)}{\partial z} \quad (I.10)$$

Les matrices sont :

$$\begin{bmatrix} \theta_C \\ \Phi_{01} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \rho_h c_h e_h & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & SR_C \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1/h_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \Phi_1 \end{bmatrix} \quad (I.11)$$

En faisant le produit des matrices nous obtenons

$$\begin{bmatrix} \theta_C \\ \Phi_{02} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \Phi_2 \end{bmatrix} \quad (I.12)$$

Ou nous posons

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ch(qe) & sh(qe)/\lambda q \\ \lambda q sh(qe) & ch(qe) \end{bmatrix} \quad (I.13)$$

Avec $q = \sqrt{\frac{p}{a}}$

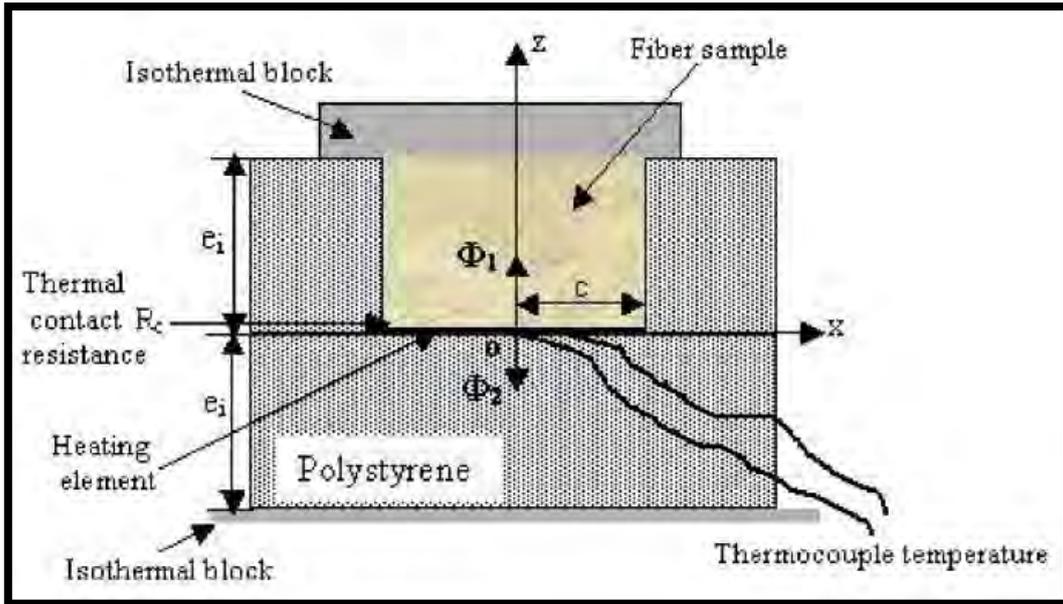


Figure 8 : Dispositif expérimental en vue en coupe

$$\begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ch(q_i e_i) & sh(q_i e_i) / \lambda_i q_i \\ \lambda_i q_i sh(q_i e_i) & ch(q_i e_i) \end{bmatrix} \quad (I.14)$$

Avec $q_i = \sqrt{\frac{p}{a_i}}$

- $\theta_c(z, p) = L[\Delta T(z, t)]$ est la transformation de Laplace de la différence de température

- Φ_0 est la transformation de Laplace de la densité totale de flux de la chaleur produite dans l'élément chauffé.

- R_c est la résistance thermique de contact à l'élément de chauffe d'interface et les fibres ($^{\circ}C.W^{-1}$)

- p est le paramètre de Laplace.

- a et a_i sont respectivement la diffusivité thermique des fibres courant ascendant diffusivité de polystyrène.

La densité totale du flux de chaleur dans l'espace Laplace est :

$$\Phi_0 = \Phi_1 + \Phi_2 \quad (I.15)$$

$$\theta_c(z, p) = \frac{\Phi_0}{P} \frac{1}{\left[\varphi_h c_h e_h (A + Bh_1) p + Dh_1 \right]} = \frac{\Phi_0}{P} \frac{[(A + Bh_1) + (Di / B_i)]}{\left[\varphi_h c_h e_h (A + Bh_1) p + Dh_1 \right]} \quad (I.16)$$

En appliquant le Laplace inverse transformer au moyen de l'algorithme de De Hoog [I.14] a l'équation. (I.16)

Pour simplifier le model les considérations ont considère a une dimension.

$$\begin{bmatrix} \theta_c \\ \Phi_{01} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \rho_h c_h e_h p & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ E\sqrt{p}\theta_1 \end{bmatrix} \quad (I.17)$$

Φ_{02} : La densité de flux de la chaleur partant de l'élément de chauffe par le matériel isolant

$$\begin{bmatrix} \theta_c \\ \Phi_{02} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_2 \\ E\sqrt{p}\theta_2 \end{bmatrix} \quad (I.18)$$

Lorsque $p \rightarrow 0$ et $t \rightarrow \infty$

$$T(0, t \rightarrow \infty) = \frac{2\phi_0}{(E + E_i)\sqrt{\pi}} \sqrt{t} \quad (I.19)$$

I.3.4 Etude expérimentale et discussion :

Les études expérimentales ont porté sur quatre échantillons de fibres naturelles.

➤ **Estimation du modèle a une dimension expérimentale :**

Trois mesures ont été faites pour chaque échantillon de fibre et les valeurs moyennes retenues.

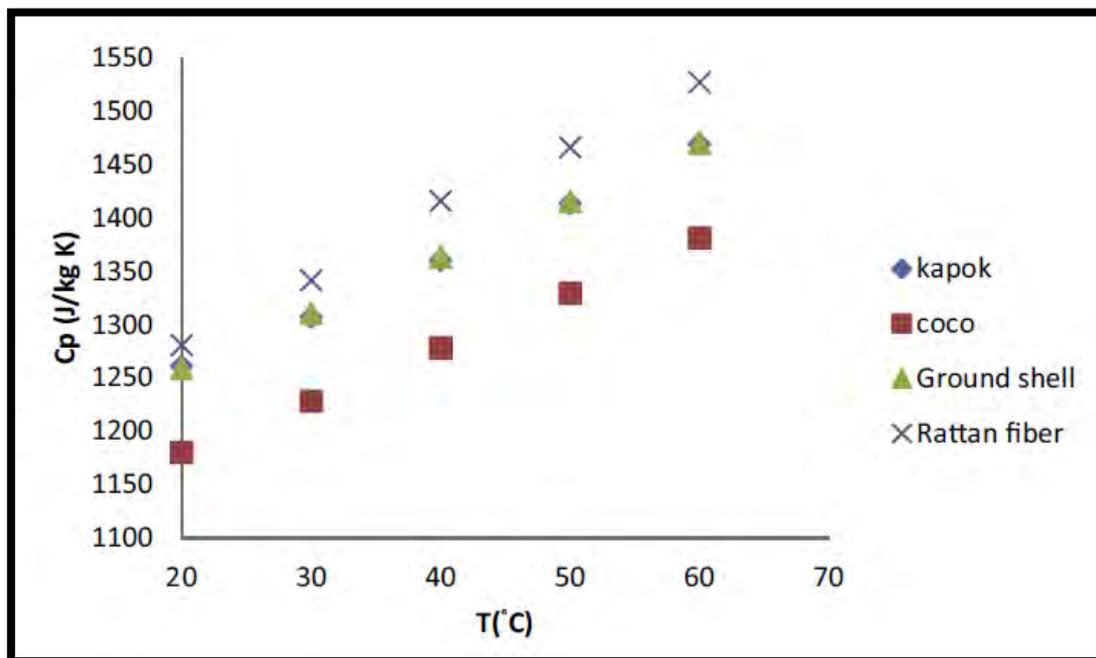


Figure 9 : Capacité de chaleur de masse de fibre en fonction de la température

I.4 Caractérisation par phénomènes thermiques transitoires d'une dalle en béton récupératrice d'énergie solaire [I. 15]

Dans cet article les auteurs ont fait une étude théorique et une étude expérimentale. Une nouvelle méthode de caractérisation thermique de matériaux est présentée. Elle permet la détermination de la diffusivité thermique α , de la conductivité thermique λ et des coefficients d'échanges thermiques globaux h_g entre une surface solide et son environnement. Cette méthode s'appuie sur la solution analytique du champ de température pendant le régime Transitoire de la phase de relaxation de l'échantillon à caractériser et sur l'exploitation des thermogrammes expérimentaux enregistrés à différentes profondeurs de l'échantillon.

La méthode de caractérisation est validée sur une dalle en béton récupératrice d'énergie solaire. La dalle de dimensions 2 m x 1 m x 0,1 m, est constituée de gravier, du sable et du ciment ; elle contient un tube en cuivre de 10 m de long, placé en serpentin à 2 cm de sa surface supérieure dans lequel on fait circuler de l'eau pour la récupération des calories emmagasinées. [I. 15]

I.4.1 Théorie :

I.4.1.1 Principe de la méthode de caractérisation de matériaux de construction :

Le principe de la méthode consiste à analyser l'évolution du champ de température pendant la phase de relaxation de l'échantillon à caractériser.

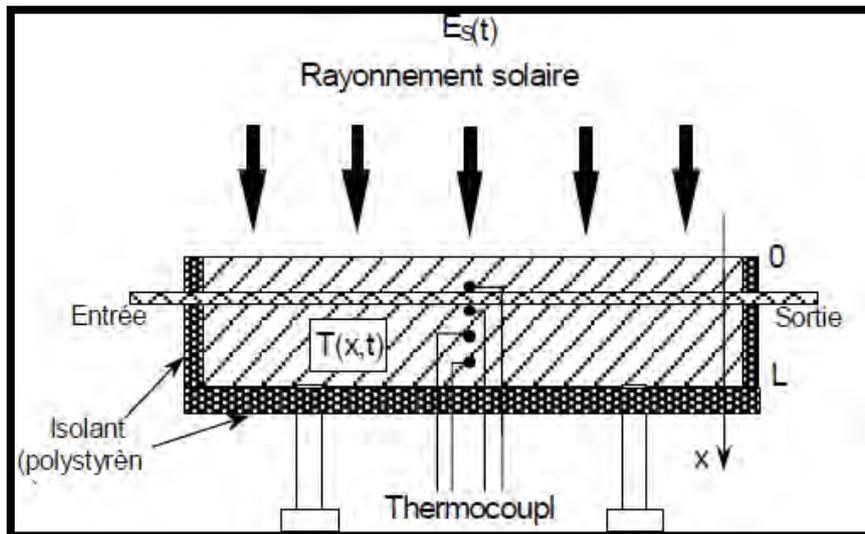


Figure 10 : Echantillon à caractériser (dalle en béton)

Le principe de la méthode de caractérisation s'appuie sur la solution analytique du champ de température en régime transitoire pendant la phase de relaxation de l'échantillon.

I.4.1.2 Etude de la partie inférieure d'un élément de la dalle en béton :

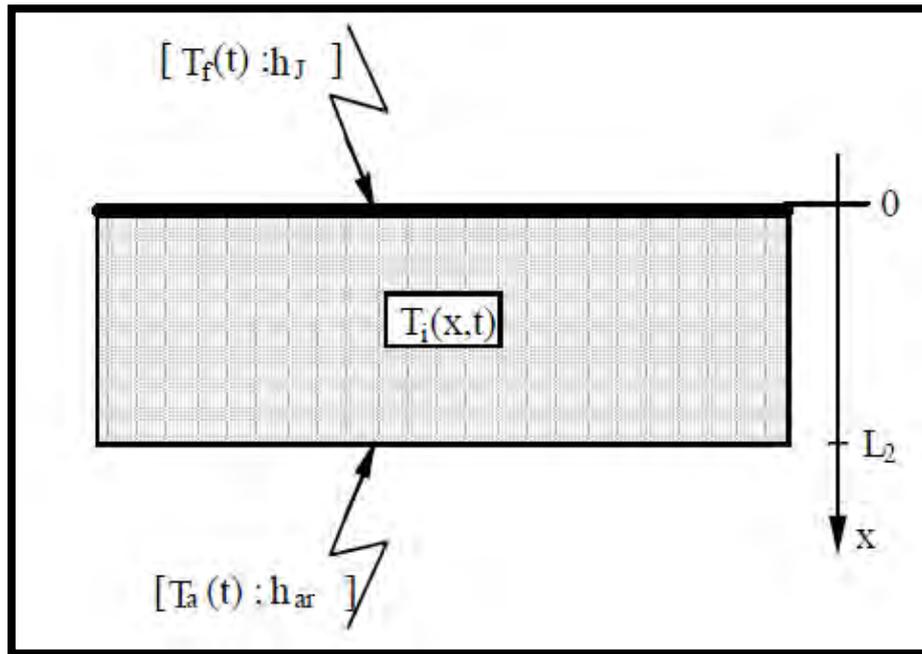


Figure 11 : Partie inférieure d'un élément

Le champ thermique dans la partie inférieure d'un élément de la dalle (figure 1) est régi par :

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = 0 \quad (I.20)$$

Les conditions aux limites :

$$\left\{ \begin{array}{l} -\lambda \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = -h_J [T_i(0,t) - T_{mf}(t)] \\ \lambda \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=L} = -h_J [T_i(L_2,t) - T_a(t)] \end{array} \right. \quad (I.21)$$

Où : h_j : coefficient d'échanges thermiques tube eau sur la dalle ;

h_{ar} : coefficient d'échanges thermiques face arrière - environnement ;

$T_{mf}(t)$, $T_a(t)$: température moyenne de l'eau dans le tube et température ambiante.

Sissoko et al utilisent les variables réduites qui conduisent à l'équation réduite de la chaleur :

$$\frac{\partial^2 \theta_i(u, \tau, \tau_1)}{\partial u^2} = \frac{\partial \theta_i(u, \tau, \tau_1)}{\partial \tau} \quad (I.23)$$

où : $u = \frac{x}{L}$ est la variable réduite d'espace

$\theta_i(u, \tau, \tau_1)$ est la variable réduite de température

$$\tau = \frac{\alpha.t}{L^2};$$

$\tau = F_0$ est la variable réduite de temps (nombre de Fourier Fo) :

Le théorème de superposition [I.5] permet pour un instant donné τ d'écrire :

$$\theta_i(u, \tau, \tau_1) = \theta_i(u, \tau_1) + \delta\theta_i(u, \tau, \tau_1) \quad (I.24)$$

où $\theta_i(u, \tau_1)$: température réduite correspondant au régime permanent ;

$\delta\theta_i(u, \tau, \tau_1)$: Température réduite correspondant au régime transitoire.

Les conditions réduites aux limites sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \delta\theta_i(u, \tau, \tau_1)}{\partial \tau} \Big|_{u=0} = B_j \delta\theta(0, \tau, \tau_1) \\ \frac{\partial \delta\theta_i(u, \tau, \tau_1)}{\partial \tau} \Big|_{u=\frac{L_1}{L}} = B_{ar} \delta\theta(1, \tau, \tau_1) \end{array} \right. \quad (I.25)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \delta\theta_i(u, \tau, \tau_1)}{\partial \tau} \Big|_{u=0} = B_j \delta\theta(0, \tau, \tau_1) \\ \frac{\partial \delta\theta_i(u, \tau, \tau_1)}{\partial \tau} \Big|_{u=\frac{L_1}{L}} = B_{ar} \delta\theta(1, \tau, \tau_1) \end{array} \right. \quad (I.26)$$

Où :

B_{iK} est le coefficient réduit d'échanges thermiques (nombre de Biot) : $B_{iK} = \frac{h_k.L}{\lambda}$

Une solution de l'équation (6) est recherchée sous la forme de variables séparables [I.16] en espace $U_i(u, \tau_1)$ et en temps $T_i(\tau)$: $\delta\theta_i(u, \tau, \tau_1) = U_i(u, \tau_1) \cdot T_i(\tau)$

$$\delta\theta(0, \tau, \tau_1) = \delta\theta_0 \sum_{n=0}^{\infty} F U_{in}(u, \tau_1) \cdot F T_{in}(\omega_{in}) \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{\tau_{do}}\right) \quad (I.27)$$

Avec, $F U_{in}(u, \tau_1) = \cos(\omega_{in}.u) + \frac{B_{ij}}{\omega_{in}} \sin(\omega_{in}.u)$: Fonction d'espace

$F T_{in}(\omega_{in}) = a_n^2 [T_{i1n}(0) + T_{i2n}(0)]$: Fonction caractéristique [I.17]

I.4.1.3 Caractérisation thermique de la dalle en béton

La caractérisation thermique de la dalle consiste à déterminer sa diffusivité thermique α , sa conductivité thermique λ et ses coefficients globaux d'échanges thermiques entre le tube et l'eau h_j et entre la face avant et l'environnement.

I.4.1.3.1 Diffusivité thermique α

Les expressions du temps réduit τ et de la constante réduite de temps de décroissance τ_{do}

Conduisent à la relation suivante :

$$\alpha = \frac{L^2}{\omega_0^2 t_{do}} \quad (I.28)$$

I.4.1.3.2 Conductivité thermique λ

Connaissant la diffusivité α et la capacité thermique ($\rho.C$) du matériau, la conductivité thermique est déterminée à l'aide de la relation suivante :

$$\lambda = \alpha.\rho.C \quad (I.29)$$

I.4.1.3.3 Coefficient global h_j d'échanges thermiques tube en cuivre - eau :

A partir du nombre de Biot à la jonction tube eau, le coefficient global d'échange thermique entre le tube et l'eau est exprimé par :

$$h_j = \frac{\lambda B_{ij}}{L} \quad (I.30)$$

I.4.1.3.4 Coefficient global h_{av} d'échanges thermiques face avant - environnement :

A partir du nombre de Biot face avant environnement, le coefficient global d'échange thermique entre la surface supérieure de la dalle et l'environnement est exprimé par :

$$h_{av} = \frac{\lambda B_{iav}}{L} \quad (I.31)$$

I.4.2 Expérimentation

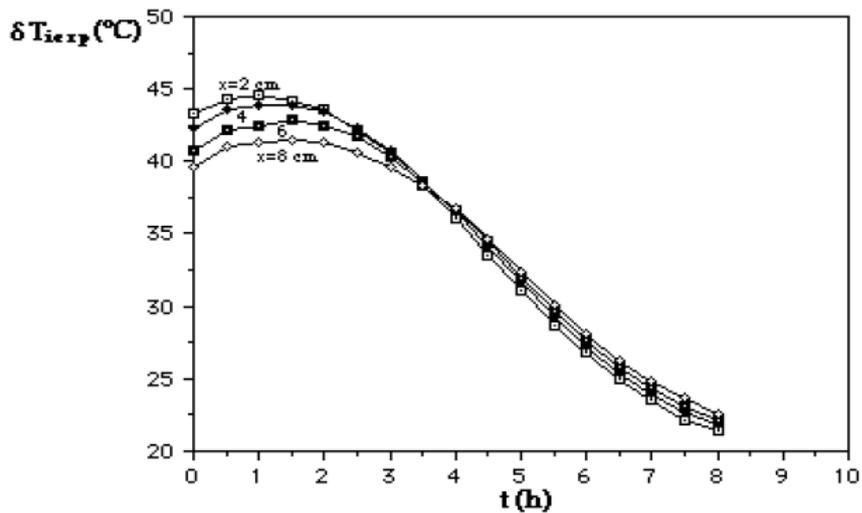


Figure 12 : Courbes expérimentales de relaxation de la température

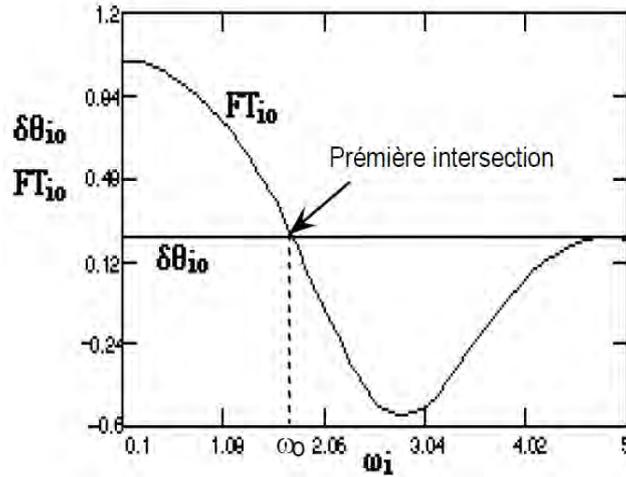


Figure 13 : Technique d'intersection de $FTi_0(\omega)$ et $\delta\theta$

I.4.3 Détermination des paramètres caractéristiques thermophysiques de la dalle

Dans cette partie Sissoko et al donnent les valeurs moyennes des paramètres caractéristiques thermophysiques de la dalle en béton récupératrice d'énergie solaire pour un débit d'eau de 100 l/h ; une vitesse d'air $v=3\text{m/s}$; un ensoleillement E_s variant de 650 à 0 W/m^2 et une température ambiante T_a de 32 à 25°C.

Tableau 1: Valeurs moyennes des paramètres thermophysiques de la dalle

Diffusivité thermique	Conductivité thermique	Coefficient d'échange thermique	
$\alpha(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$\lambda(\text{W} / \text{m} \cdot \text{C})$	$h_1(\text{W} / \text{m}^2 \text{C})$	$h_2(\text{W} / \text{m}^2 \text{C})$
$5,02 \cdot 10^{-7}$	1.3	43	32

I.5 Détermination de paramètres thermiques d'un matériau en régime dynamique fréquentiel à partir de diagrammes de Bode et de représentations de Nyquist [I. 18]

Divers travaux ont présenté différentes méthodes de détermination de paramètres thermophysiques notamment la conductivité thermique, l'effusivité thermique [I.19], le coefficient de diffusivité thermique, ou le coefficient d'échanges thermiques. Parmi les méthodes utilisées, nous avons la méthode statique, la méthode dynamique transitoire et la méthode dynamique fréquentielle [I.20].

Nous présentons en régime dynamique fréquentiel la diffusion de la chaleur à travers un matériau. Nous donnons les courbes d'évolution de la température et du flux de chaleur à

travers le matériau. Les influences de la fréquence excitatrice et du coefficient d'échanges thermiques à la face avant sur les courbes de température sont montrées.

I.5.1 Modèle Mathématique

Nous utilisons un matériau plan soumis à une température excitatrice en régime dynamique fréquentiel. La figure 1 représente le dispositif expérimental.

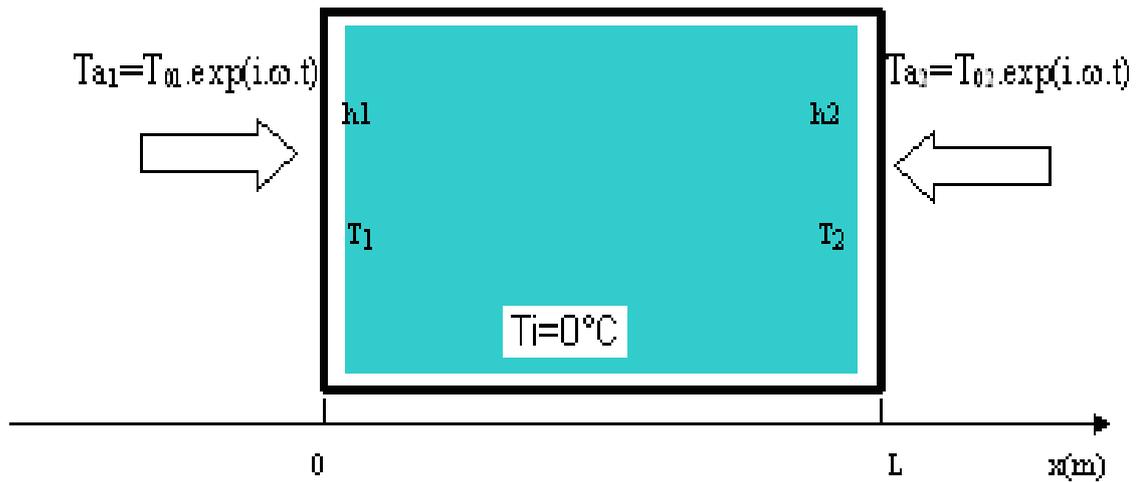


Figure 14 : Matériau plan soumis à des températures excitatrices en régime dynamique fréquentiel au niveau des deux faces

h_1 et h_2 sont respectivement les coefficients d'échange thermique à la face avant et à la face arrière ;

T_{01} et T_{02} respectivement les amplitudes maximales de températures imposées aux voisinages des faces avant et arrière du matériau plan.

T_i est la température initiale du matériau, ω est la fréquence excitatrice de la température imposée au voisinage de chaque face.

L'équation de la chaleur, sans source ni puit de chaleur, est donnée par l'expression:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (I.32)$$

$T = T(x,t)$ est la température ($^\circ\text{C}$) du matériau à une profondeur x (m) et à un temps t (s) ;

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (I.33)$$

α : est le coefficient de diffusivité thermique ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$);

λ : est la conductivité thermique ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$), ρ est la masse volumique du matériau ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Conditions aux limites

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_1 [T(0,t) - T_{a1}] \end{array} \right. \quad (I.34)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=L} = -h_2 [T(L,t) - T_{a2}] \end{array} \right. \quad (I.35)$$

A t=0 on a :

$$T_{a1} = T_{01} \quad (I.36)$$

$$T_{a2} = T_{02}$$

La solution de l'équation (1), munie des conditions aux limites (2) et (3) est de la forme:

$$T(x,t) = T(x) \exp(i\omega t) \quad (I.37)$$

T(x) est la partie spatiale de la température.

En remplaçant l'équation (6) dans (1), nous obtenons :

$$\frac{\partial^2 T(x)}{\partial x^2} - \frac{i\omega}{\alpha} T(x) = 0 \quad (I.38)$$

Nous posons :

$$\beta^2 = \frac{i\omega}{\alpha} \quad (I.39)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} (1+i) \quad (I.40)$$

La solution (6) a ainsi pour expression finale :

L* est la longueur de diffusion thermique complexe.

- A1 et A2 sont des coefficients dépendant des conditions aux limites.

Nous obtenons :

$$A_2 = \frac{h_2 \lambda \beta T_{02} h + h_1 T_{02} + h_1 T_{01} [h_1 \sinh(\beta L) + \lambda \beta \times \cosh(\beta L)]}{\lambda \beta [h_2 \cosh(\beta L) + \lambda \beta \sinh(\beta L)] + h_1 [h_2 \sinh(\beta L) + \lambda \beta \cosh(\beta L)]} \quad (I.41)$$

$$A_1 = \frac{h_1 h_2 T_{02} - h_1 T_{01} [h_2 \cosh(\beta L) + \lambda \beta \times \sinh(\beta L)]}{\lambda \beta [h_2 \cosh(\beta L) + \lambda \beta \sinh(\beta L)] + h_1 [h_2 \sinh(\beta L) + \lambda \beta \cosh(\beta L)]} \quad (I.42)$$

I.5.2 Diffusion de la Chaleur :

I.5.2.1 Evolution de la Température et de la densité de flux de chaleur à travers le matériau :

➤ **Les Expressions de la température et de la densité de flux de chaleur**

$$T(x,t) = T(x) \exp(i\omega t) \tag{I.43}$$

$$T(x,t) = \left[A_1 \sinh\left(\frac{x}{L^*}\right) + A_2 \cosh\left(\frac{x}{L^*}\right) \right] \exp(i\omega t) \tag{I.44}$$

$$\varphi(x, \omega, t) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = -\lambda \beta [A_1 \cosh(\beta x) + A_2 \sinh(\beta x)] \exp(i\omega t) \tag{I.45}$$

I.5.2.2 Courbes de température en fonction de la profondeur

Pour différentes valeurs de la fréquence excitatrice de la température, nous présentons les courbes de températures en fonction de la profondeur du matériau à la figure 2.

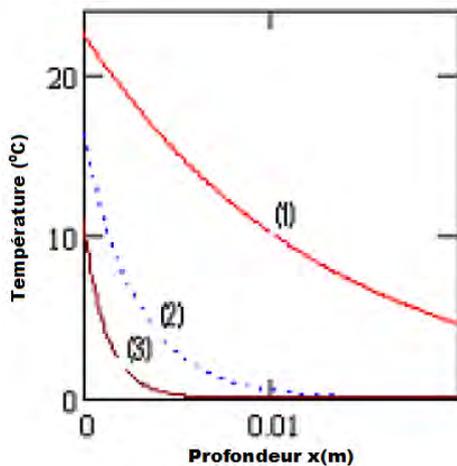


Figure 15 : Evolution de la température en fonction de la profondeur du matériau. $h_1 = 1000 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$ et $h_2 = 0,05 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$; (1) $\omega = 10^{-2} \text{ rad/s}$, (2)

$\omega = 5 \cdot 10^{-1} \text{ rad/s}$ et (3) $\omega = 1 \text{ rad/s}$.

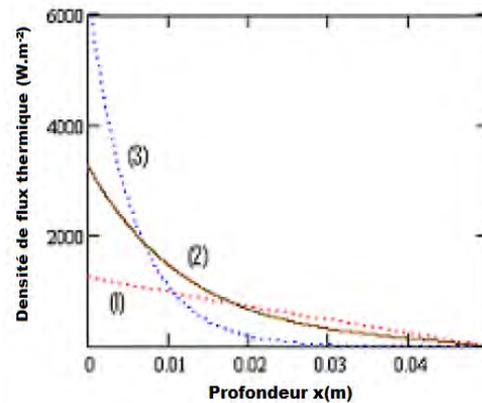


Figure 16 : Evolution du flux en fonction de la profondeur du matériau. $h_2 = 0,05 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$; $h_1 = 1000 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$. (1) $\omega = 10^{-3} \text{ rad/s}$, (2) $\omega = 10^{-2} \text{ rad/s}$ et (3) $\omega = 10^{-1} \text{ rad/s}$.

I.5.2.3 Courbes de température et de la densité de flux de chaleur en fonction du coefficient d'échange thermique à la face avant

Pour différentes valeurs de la fréquence excitatrice de la température, nous présentons, à la figure 3, Les courbes de températures en fonction du coefficient d'échanges thermique à la face avant du matériau plan.

➤ Evolution de la température en fonction du coefficient d'échange thermique

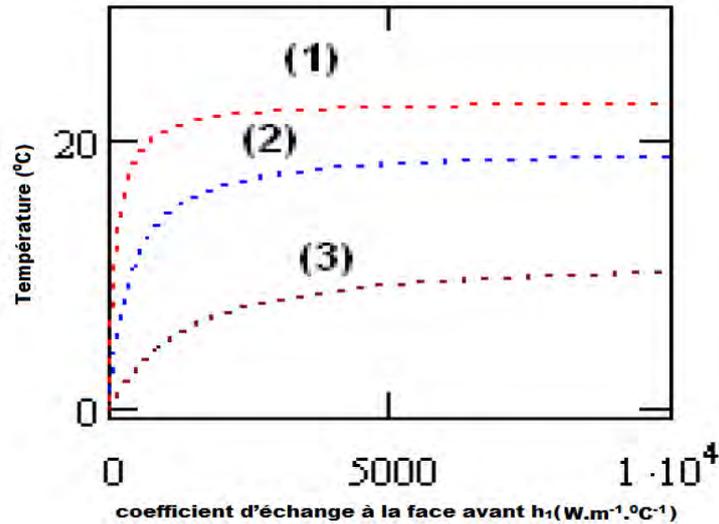


Figure 17 : Evolution de la température en fonction du coefficient d'échange thermique à la face avant, $x=10^{-3}$ m ; $h_2=1000$ $W.m^{-2}.°C^{-1}$; (1) $\omega = 10$ rad/s, (2) $\omega = 10^{-1}$ rad/s et (3) $\omega = 1$ rad/s.

➤ Evolution du flux de chaleur en fonction du coefficient d'échange thermique

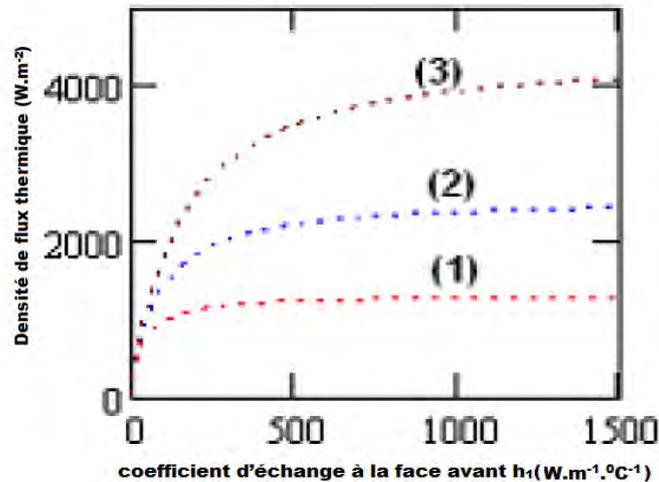


Figure 18 : Evolution du flux de chaleur en fonction du coefficient d'échange thermique à la face avant. $h_2=0,05$ $W.m^{-2}.°C^{-1}$; $x=10^{-5}$ m. (1) $\omega=10^{-3}$ rad/s, (2) $\omega=10^{-2}$ rad/s et (3) $\omega=10^{-1}$ rad/s.

I.6 Caractérisation des isolateurs locaux : sciure et laine de Kapok [I. 21]

Dans cet article les auteurs font une caractérisation des isolateurs locaux. Il a pris comme l'exemple de la sciure et de la laine de Kapok. Il parle aussi l'importance de l'isolation dans les applications thermiques et acoustiques. Pour déterminer isolant le mieux adapté à la fabrication des chambres froides ou les cuves isothermes, l'auteur a étudié la sciure de bois et de laine de kapok. Pour faire la caractérisation d'un isolant local, il faut calculer la

conductivité thermique du matériau, sa diffusivité thermique et les coefficients d'échange thermique à la face avant et à la face arrière. S'il s'agit d'un matériau de composite local, il est nécessaire se faire une étude de simulation pour les paramètres thermophysiques.

Quand l'air est rigoureusement calme, le coefficient de l'échange extérieur a comme expression $H = hc + \text{heure}$,

avec hc et heure : Traduisant respectivement l'influence de la convection et le rayonnement.

[I. 22]

I.6.1 Le coefficient de l'échange du système K_{moy}

$$Q = MC(\theta_2 - \theta_1) = K_{\text{moy}} S(T_f - T_i) \tag{I.46}$$

$$K_{\text{moy}} = \frac{MC(\theta_2 - \theta_1)}{S(T_{si} - T_{se})} \tag{I.47}$$

Dans ce cas-ci, le coefficient de l'échange total moyen vaut

$$K_{\text{moy}} = \frac{73,5 \times 185(80 - 65)}{3,84 \times 17 \times 3600(65 - 32)} \tag{I.48}$$

$$K_{\text{moy}} = 0,595 \text{ W} / \text{m}^2 . \text{K} \text{ ou } 0,512 \text{ Kcal} / \text{h} / \text{m}^2 . \text{K} \tag{I.49}$$

Après 4 séries de la mesure Voumbo et al ont permis de déterminer une valeur médiane de ce coefficient qui est 0.692 W/m2 ou Kcal/h/m2.

Le calcul λ_1 signifie :

$$\frac{1}{K_{\text{moy}}} = \frac{1}{H_e} + \frac{1}{H_i} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{2 \times e_2}{\lambda_2} \tag{I.50}$$

e_1 et λ_1 : Epaisseur et conductivité thermique de l'isolation

e_2 et λ_2 : Epaisseur et conductivité thermique de l'isolation

H_e et H_i : coefficients de l'échange thermique de l'air et du milieu intérieur environnants.

$$\frac{e_1}{\lambda_1} = \frac{1}{0,692} - \frac{1}{9,56} - \frac{1}{11,72} - \frac{2 \times 0,05 \times 10^{-3}}{45.5} = 1,225$$

$$MC_P(T_{ic} - T_{fc}) = KS(T_{ic} - T_{ex}) + K = \frac{MC_P(T_{ie} - T_{fe})}{3600 . S.t.(T_{pin} - T_{pex})} \tag{I.51}$$

M : La masse de l'eau(Kg)

C_p : La chaleur spécifique de l'eau ($j / \text{Kg} . ^\circ \text{C}$)

Initial T_{ie} : La température de l'eau avec T en ($^{\circ}C$)

T_{fe} : La température finale de l'eau avec T en ($^{\circ}C$)

T_{pin} : La température du contact avant l'isolation ($^{\circ}C$)

T_{pex} : La température du contact après l'isolation ($^{\circ}C$)

S : Surface de transfert (m^2)

T : Durée de l'essai (h)

K : Coefficient total de l'échange thermique ($W.m^2.K$)

$$K = \frac{1}{R_e + R_i + \frac{e_1}{\lambda} + \frac{e_t}{\lambda_t} + \frac{e_c}{\lambda_c}} \quad (I.52)$$

$R_e = \frac{1}{h_e}$: Résistance extérieure du mur externe dedans ($m^2.^{\circ}C/W$)

$R_i = \frac{1}{h_i}$: Résistance extérieure du mur intérieur dedans ($m^2.^{\circ}C/W$)

e_1 : Épaisseur d'isolateur

e_t : Épaisseur de contre-plaqué (m)

e_c : Épaisseur de feuille (m)

λ : Conductivité thermique d'isolateur ($W/m.^{\circ}C$)

λ_c : Conductivité thermique de contre-plaqué ($W/m.^{\circ}C$)

λ_t : Conductivité thermique de feuille ($W/m.^{\circ}C$)

$$K = \frac{\lambda}{e_1}$$

Donc nous avons l'expression de la conductivité thermique :

$$\lambda = \frac{K.e_1}{1 - K.(R_i - R_e + \frac{e_c}{\lambda_c} + \frac{e_t}{\lambda_t})} \quad (I.53)$$

I.7 Caractérisation d'un matériau isolant thermique filasse-plâtre à partir de l'impédance thermique en régime dynamique fréquentiel [I. 23]

L'analyse des résultats à partir des représentations de Nyquist et des diagrammes de Bode a permis de caractériser l'isolant thermique filasse-plâtre à partir de l'étude à deux dimensions de l'impédance thermique en régime dynamique fréquentiel.

L'étude de l'évolution des valeurs limite du coefficient global d'échange thermique conduit à la détermination de la conductivité thermique du matériau.

Les isolants artificiels posent un problème d'environnement contrairement aux isolants naturels biodégradables. La filasse, produit naturel biodégradable est utilisée comme isolant thermique en association avec le plâtre comme liant. La conductivité thermique $\lambda = 0.15 \text{W.m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ et le coefficient de diffusivité thermique $\alpha = 2.07 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ [I. 13, I. 14] d'un matériau filasse-plâtre fabriqué au laboratoire 1 sont ainsi mesurés et une étude en simulation est proposée pour caractériser le transfert thermique à travers le matériau à partir de l'étude de l'impédance thermique.

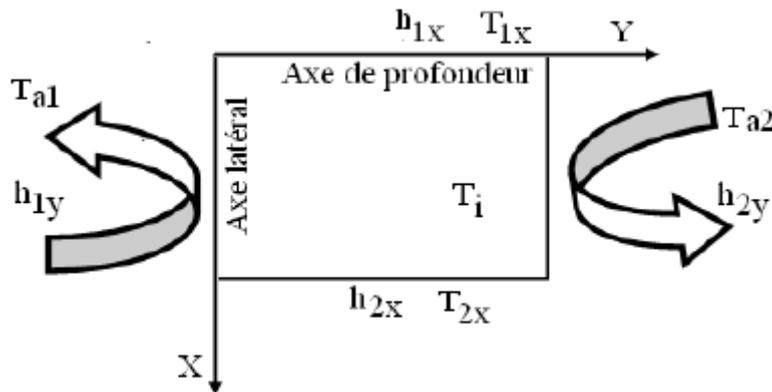


Figure 19 : Modèle d'étude du matériau filasse-plâtre : matériau vu à deux dimensions, visualisation de l'axe de profondeur et de l'axe latéral

I.7.1 Impédance thermique du matériau

I.7.1.1 Température et densité de flux dans le matériau

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (I.54)$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (I.55)$$

Le matériau filasse-plâtre est soumis aux conditions aux limites suivantes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_{1x} [T(0, y, t) - 0] \end{array} \right. \quad (I.56)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -\lambda \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} \Big|_{x=L} = h_{2x} [T(L, y, t) - 0] \end{array} \right. \quad (I.57)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} \Big|_{y=0} = h_{1y} [T(x, 0, t) - T_{a1}] \end{array} \right. \quad (I.58)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -\lambda \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} \Big|_{y=H} = h_{2y} [T(x, H, t) - T_{a2}] \end{array} \right. \quad (I.59)$$

En régime dynamique fréquentiel et compte tenu des conditions aux limites imposées au système, nous obtenons l'expression (7) de la température.

$$T(x, h_1, h_2, t) = \sum_n \left[\left(\cos(\beta_n \cdot x) + \frac{h_{1x}}{\lambda \cdot \beta_n} \sin(\beta_n \cdot x) \right) \times (a_n \cdot \cosh(\mu_n \cdot y) + b_n \cdot \sinh(\mu_n \cdot y)) \right] e^{i \cdot \omega \cdot t} \quad (I.60)$$

μ_n et β_n sont des constantes constituant des valeurs propres [I. 24] reliés par l'équation (8) et déterminées graphiquement à partir de la figure 2 en considérant l'équation transcendante (9).

$$\mu_n = \sqrt{\beta_n^2 + \frac{i \cdot \omega}{\alpha}} = \sqrt{\beta_n^2 + \frac{\omega \cdot (1 + i)^2}{2 \cdot \alpha}} \quad (I.61)$$

$$\tan(\beta_n \cdot L) = \frac{\lambda \cdot \beta_n (h_{1x} + h_{2x})}{(\lambda \cdot \beta_n)^2 - (h_{1x} + h_{2x})} \quad (I.62)$$

$$f_1(\beta_n) = \tan(\beta_n \cdot L) \quad (I.63)$$

$$f_2(\beta_n) = \frac{\lambda \cdot \beta_n (h_{1x} + h_{2x})}{(\lambda \cdot \beta_n)^2 - (h_{1x} + h_{2x})} \quad (I.64)$$

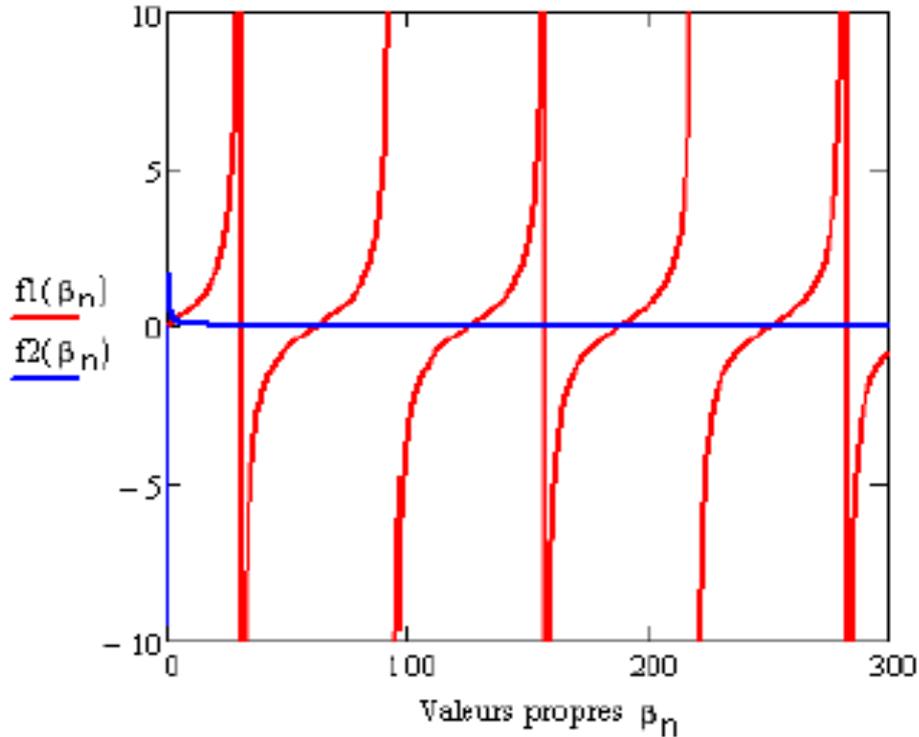


Figure 20 : les valeurs propres β_n

Le tableau 2 regroupe quelques valeurs propres β_n à partir desquelles la température de l'isolant filasse plâtre est suivi

Tableau 2 : Valeurs propre β_n

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
β_n	5	65	127	189	250	314	378	441	505	566	629	692

I.8 Determination of minority carrier bulk generation lifetime and surface generation velocity by the CCWT method[I. 25]

Les auteurs ont démontré que, si la charge totale d'une structure MOS est constante dans le processus de transformation de l'épuisement profond de l'absence d'équilibre dans l'état d'inversion d'équilibre, l'information de la durée de vie τ et de la vitesse de génération de surface S peut être obtenue par l'espace-charge Caractéristique transitoire de largeur de région

W (t) d'un condensateur MOS. En comparant la courbe W-t avec un signal exponentiel amorti, les τ et S peuvent être déterminés directement. La procédure graphique trop élaborée de Zerbst est évitée.

Dans cet article, les auteurs présentent une méthode d'affichage direct et de comptage pour déterminer la durée de vie et la vitesse de génération de la génération en vrac, en fonction des caractéristiques transitoires de la largeur de la zone de charge spatiale d'un condensateur MOS dérivé en réponse à une condition de charge constante (CCWT) Et une méthode de comparaison de la fonction exponentielle amortie. La méthode proposée peut afficher directement les courbes CCWT dans le processus de transformation de l'épuisement profond de l'absence d'équilibre en un état d'inversion d'équilibre. Pour comparer la courbe W-t avec le signal exponentiel amorti, les τ et S peuvent être déterminés simultanément.

Conclusion :

Dans l'étude bibliographie, la plupart des auteurs sur les articles que nous utilisons présentent quelques techniques et méthodes de caractérisation différentes. Ils utilisent des matériaux locaux qui permettent de faire une bonne isolation thermique. Ce qui entraîne un bon confort thermique. C'est pourquoi dans notre étude nous allons faire l'étude d'un matériau isolant thermique filasse-plâtre pour déterminer la température, la densité de flux de chaleur. Dans les applications thermiques et acoustiques, en particulier dans la production de froid nous constatons que l'isolation thermique joue un rôle très important.

Enfin les fibres sisal sont associées au plâtre dans le but de retarder l'amorçage et la propagation des fissures dans le matériau lorsqu'il est soumis au feu.

**CHAPITRE II : Modélisation a
une dimension du transfert de
chaleur dans un Matériau
filasse-plâtre**

Chapitre II : Modélisation a une dimension du transfert de chaleur dans un matériau filasse-plâtre

Introduction :

L'étude entre dans le cadre de l'amélioration de l'utilisation de produits locaux naturels sur l'isolation thermique[II.5]. La longueur du mur est de 5 cm de matériau isolant thermique filasse-plâtre. La filasse, produit naturel biodégradable est utilisée comme isolant thermique en association avec le plâtre comme liant[II.6]. La conductivité thermique $\lambda = 0.15 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ et le coefficient de diffusivité thermique $\alpha = 2.07\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ [II.7, II.8]

Dans cette partie, nous faisons une présentation du modèle étudié en régime dynamique transitoire où nous allons faire une description du modèle et résoudre l'équation de la chaleur à une dimension en régime dynamique transitoire. Nous allons étudier l'évolution de la température et la densité de flux de chaleur thermique dans le matériau filasse-plâtre pour différentes valeurs des paramètres intrinsèques et des paramètres thermophysiques (la diffusivité thermique, la conductivité thermique et les coefficients d'échanges globaux).

II.2 Modèle Mathématique :

II.2.1 Dispositif d'étude :

Nous allons présenter une vue de profil d'une brique de filasse-plâtre soumis à une température excitatrice en régime dynamique transitoire. Le filasse-plâtre est un matériau homogène et isotrope. Nous obtenons la figure 21.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

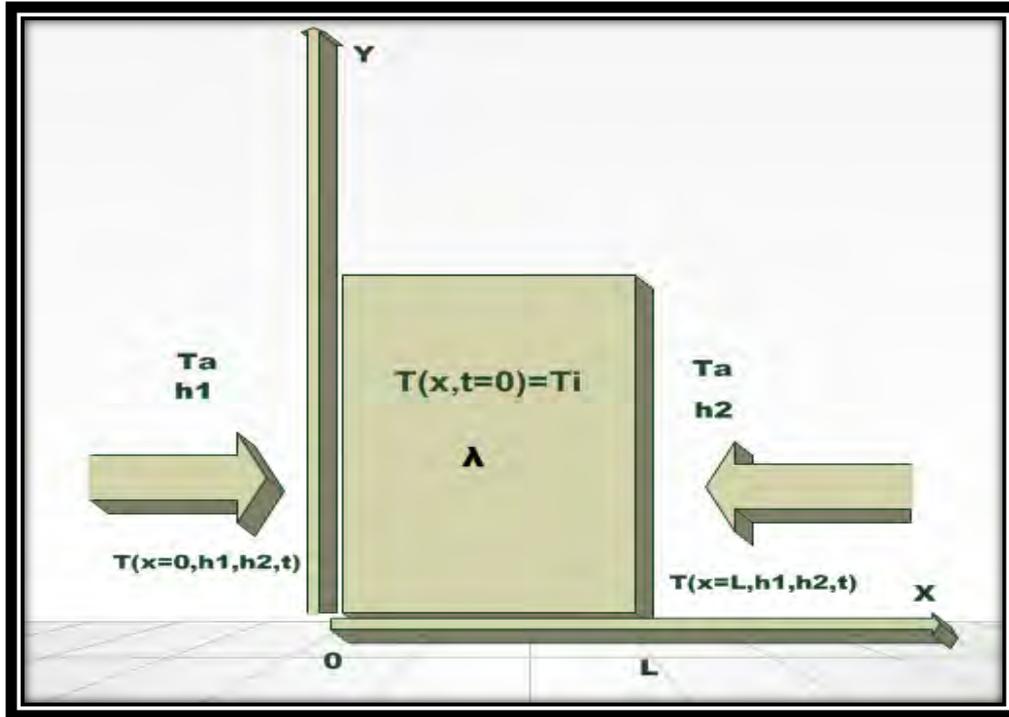


Figure 21 : Echantillon à étudier constituée de l'isolant thermique filasse-plâtre avec $L=0.05m$, $T_a=30C$ et $T_i=10C$

λ : Conductivité thermique qui est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction ($W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)

ϕ : densité de flux de chaleur ($W. m^{-2}$)

L: Longueur du mur (m)

h_1 : est le coefficient d'échange thermique à la face avant.

h_2 : est le coefficient d'échange thermique à la face arrière.

h_1 et h_2 sont des coefficient d'échange quantifiant le flux d'énergie traversant un milieu par unité de surface.

T_a : La température ambiante du matériau

T_i : La température initiale du matériau

Le matériau filasse-plâtre est supposé à une température initiale

$$T(x, h_1, h_2, t = 0) = T_i = 10^{\circ}C$$

II.2.2 Equation de la chaleur a une dimension

La quantité de chaleur à travers une paroi est donnée par la loi de Fourier, dans un milieu isotrope [9] .

$$\vec{\Phi} = \vec{J} = -\lambda \cdot \overrightarrow{grad}T(x, h_1, h_2, t) \quad (II.1)$$

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Avec,

$\vec{\Phi}$: est le vecteur densité surfacique de flux thermique.

L'équation de la chaleur dans un système a une dimension est donnée par :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \Delta T + P + \vec{\nabla} \lambda (\vec{\nabla} T) \quad (\text{II.2})$$

Dans notre étude la conductivité est constante : $\vec{\nabla} \lambda (\vec{\nabla} T) = 0$

Il n'y a pas de source et de puits de chaleur interne on a $P_p = 0$ [10], [11].

L'équation de la chaleur devient :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \Delta T \quad (\text{II.3})$$

$$\text{Posons } \alpha = \frac{\lambda}{\rho c} \quad (\text{II.4})$$

L'équation devient :

$$\Delta T(x, h_1, h_2, t) - \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial t} = 0 \quad (\text{II.5})$$

Nous avons une équation de la diffusion de la chaleur dans le matériau filasse-plâtre.

Nous allons résoudre cette équation pour déterminer l'expression de la température.

II.2.3 Expression Mathématique de la Température

II.2.3.1 Résolution de l'équation de la chaleur a une dimension

Nous allons résoudre l'équation de la chaleur à une dimension

$$\Delta T(x, h_1, h_2, t) - \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial t} = 0 \quad (\text{II.6})$$

En appliquant les coordonnées cartésiennes à une dimension, nous obtenons alors :

$$\frac{\partial^2 T(x, h_1, h_2, t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial t} = 0 \quad (\text{II.7})$$

Nous allons résoudre l'équation de la chaleur (II.6)

$T = T(x, h_1, h_2, t)$: est la température (°C) du matériau à une profondeur x (m) et a un temps t (s) avec des coefficients d'échanges à la face avant et à la face arrière. L'équation (II.8) donne la relation entre diffusivité α , conductivité thermique λ , masse volumique ρ et la chaleur massique c pour le filasse-plâtre.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (\text{II.8})$$

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

α : Le coefficient de diffusivité thermique est une grandeur physique qui caractérise la capacité d'un matériau continu à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau ($m^2.s^{-1}$)

λ : La conductivité thermique ($W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$)

ρ : La masse volumique du matériau ($kg.m^{-2}$)

C : la chaleur spécifique ($J.Kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)

Les conditions aux limites :

Les relations (II.9) et (II.10) sont les conditions aux limites qui traduisent la conservation du flux aux interfaces du matériau filasse-plâtre et la condition initiale est donnée par l'équation (II.11)

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial x} \Big|_{x=L} = -h_2 [T(L, h_1, h_2, t) - T_a] \quad (II.9) \\ \lambda \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial x} \Big|_{x=L} = -h_2 [T(L, h_1, h_2, t) - T_a] \quad (II.10) \\ T(x, h_1, h_2, t = 0) = T_i \quad (II.11) \end{array} \right.$$

Pour résoudre l'équation (1) nous allons faire l'adimensionnalisation de l'équation de la chaleur en posant :

$$\theta(u, \tau) = \frac{T(x, h_1, h_2, t) - T_a}{T(x, h_1, h_2, t = 0) - T_a} = \frac{T(x, h_1, h_2, t) - T_a}{T_i - T_a} \quad (II.12)$$

Avec $\theta(u, \tau)$: température réduite correspondante au régime transitoire ;

$$u = \frac{x}{L} ; u \text{ est une variable réduite d'espace} \quad (II.13)$$

$$\text{et } \tau = \frac{\alpha.t}{L^2} ; \tau = F_0 : \text{ est la variable réduite de temps} \quad (II.14)$$

En appliquant l'adimensionnalisation, l'équation de la chaleur (II 7) devient :

$$\frac{\partial^2 \theta(u, \tau)}{\partial u^2} = \frac{\partial \theta(u, \tau)}{\partial \tau} \quad (II.15)$$

Nous déterminons la température réduite en régime transitoire $\theta(u, \tau)$ du mur plan

A partir de (II 9) et de (II 10), nous obtenons les conditions aux limites :

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \theta(u, \tau)}{\partial \tau} \Big|_{u=0} = \frac{h_1 \cdot L}{\lambda} \theta(0, \tau) \end{array} \right. \quad (\text{II.16})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \theta(u, \tau)}{\partial \tau} \Big|_{u=1} = -\frac{h_2 \cdot L}{\lambda} \theta(1, \tau) \end{array} \right. \quad (\text{II.17})$$

La méthode de séparation des variables **[II.2]**,

Cherchons la solution de l'équation (II 15) sous la forme variable réduite séparable d'espace et de temps donnée par la relation (10) : **[II.3]**

$$\theta(u, \tau) = U(u) \cdot H(\tau) \quad (\text{II.18})$$

En utilisant les relations (II 15) et (II 18) nous obtenons celle de (II 19) :

$$\frac{1}{U(u)} \cdot \frac{\partial^2 U(u)}{\partial u^2} = \frac{1}{H(\tau)} \cdot \frac{\partial H(\tau)}{\partial \tau} = -\beta^2 \quad (\text{II.19})$$

β : est une constante positive

A partir de la relation (11) nous obtenons deux équations différentielles (domaines spatiale et temporelle) :

-L'équation différentielle en temps est donnée par (II.20) :

$$\frac{1}{H(\tau)} \cdot \frac{\partial H(\tau)}{\partial \tau} = -\beta^2 \quad (\text{II.20})$$

-L'équation différentielle en espace (II.21) s'écrit :

$$\frac{1}{U(u)} \cdot \frac{\partial^2 U(u)}{\partial u^2} = -\beta^2 \quad (\text{II.21})$$

Les conditions aux limites équation de l'espace **[II.3]**

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 U(u)}{\partial u} \Big|_{u=0} = B_{i1} U(0) \end{array} \right. \quad (\text{II.22})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 U(u)}{\partial u} \Big|_{u=L} = -B_{i2} U(1) \end{array} \right. \quad (\text{II.23})$$

Avec $B_{i1} = \frac{h_1 \cdot L}{\lambda}$: Nombre de Biot à la face avant et (II.24)

$B_{i2} = \frac{h_2 \cdot L}{\lambda}$: Nombre de Biot à la face arrière (II.25)

L'équation temporelle (12) a pour solution :

$$H(\tau) = H(0) \cdot e^{-\beta^2 \tau} = H(0) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_d}} \quad (\text{II.26})$$

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

En posant $\tau_d = \frac{1}{\beta^2}$;

(II.27)

Nous obtenons $H(\tau) = H(0).e^{-\frac{\tau}{\tau_d}}$ (II.28)

Avec τ_d : Constante de temps réduite et $\beta_n \neq 0$.

L'équation différentielle (13) a pour solution :

$$U(u) = a_n \cos(\beta_n u) + b_n \sin(\beta_n u) \quad (II.29)$$

Avec, $n \in \mathbb{N}$:

a_n et b_n les coefficients déterminés à partir des conditions aux limites (14) et (15)

$$\begin{cases} \beta_n b_n = B_{i1} a_n & (II.30) \\ -\beta_n a_n \sin(\beta_n) + \beta_n b_n \cos(\beta_n) = -B_{i2} [a_n \cos(\beta_n) + b_n \sin(\beta_n)] & (II.31) \end{cases}$$

II.2.3.2 Equation transcendante

L'expression (19) nous permet de trouver l'équation transcendante (20) :

$$\tan(\beta_n) = \frac{\frac{h_2 L}{\lambda} \beta_n + \beta_n \frac{h_1 L}{\lambda}}{\beta_n^2 - \frac{h_1 \cdot h_2 \cdot L^2}{\lambda^2}} \quad (II.32)$$

➤ **Détermination des valeurs propres par la méthode graphique.**

L'expression (32) transcendante est scindée en deux fonctions :

-La fonction trigonométrique notée $ft(\beta_n)$ et

$$ft(\beta_n) = \tan(\beta_n) \quad (II.33)$$

-La fonction homogène notée $fh(\beta_n)$

$$fh(\beta_n) = \frac{\frac{h_2 L}{\lambda} \beta_n + \beta_n \frac{h_1 L}{\lambda}}{\beta_n^2 - \frac{h_1 \cdot h_2 \cdot L^2}{\lambda^2}} \quad (II.34)$$

En traçant sur le graphe les fonctions $ft(\beta_n)$ et $fh(\beta_n)$ en fonction de β_n on obtient les courbes de la figure 22.

Nous traçons la courbe transcendante pour des différentes valeurs du coefficient d'échanges à la face avant et à la face arrière.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

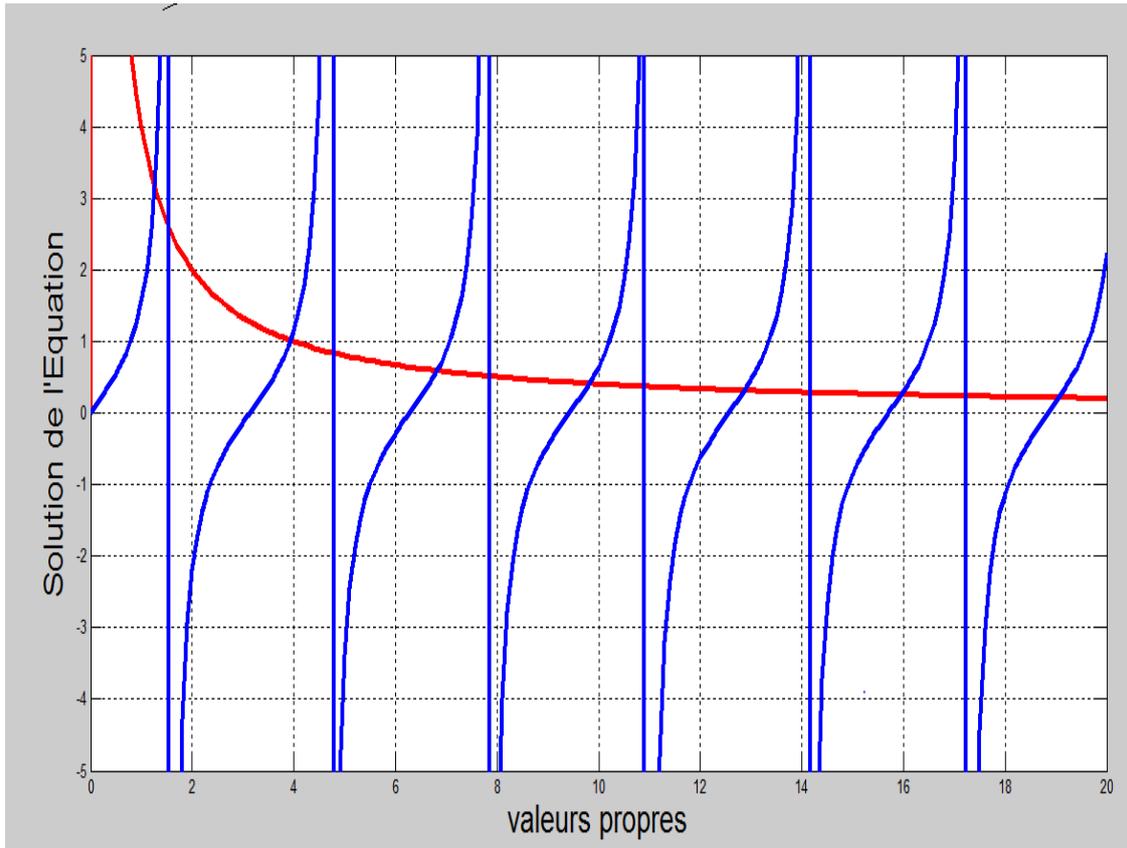


Figure 22: Détermination graphique des valeurs propres (β_n) de l'équation transcendante

Dans ce figure nous présentons l'évolution de $f_t(\beta_n)$ et $f_h(\beta_n)$ en fonction des valeurs propres de l'équation transcendante pour différentes valeurs des coefficients. L'intersection des deux courbes $f_h(\beta_n)$ et $f_t(\beta_n)$ correspond à la solution. Le tableau 1 résume les valeurs propres trouvées de β_n .

Tableau II.1 : Les valeurs propres de β_n de l'équation.

n	1	2	3	4	5
β_n	1.2	3.5	6.5	9.6	12.7

Nous obtenons une multitude de solution β_n pour différents valeurs de h_1 et h_2 .
 Donc nous obtenons la solution partielle de l'équation de la chaleur (23).

$$\theta(u, \tau) = U(u).H(\tau) \tag{II.35}$$

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

L'utilisation de la technique de Sturm-Liouville [II. 8] nous permet de donner la solution de l'équation (7).

$$\theta(u, \tau) = \sum_n [a_n \cos(\beta_n u) + b_n \sin(\beta_n u)] H(0) e^{-\frac{\tau}{\tau_d}} \quad (\text{II.36})$$

Les coefficients a_n , b_n et $T(0)$ sont obtenus en appliquant la condition de normalisation.

-Calculons a_n et b_n

Nous utilisons la condition de normalisation de $U(u)$ pour trouver les constantes a_n et b_n

[II. 4]

$$\int_0^1 U(u)^2 du = 1$$

(II.37)

$$a_n = \left[a_{1n} + \left(\frac{h_1 L}{\lambda \beta_n} \right)^2 a_{2n} + \frac{h_1 L}{2 \lambda \beta_n^2} a_{3n} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{II.38})$$

Les coefficients b_n sont déterminés à partir de l'expression (II.18)

$$b_n = \frac{h_1 L}{\lambda \beta_n} \left[a_{1n} + \left(\frac{h_1 L}{\lambda \beta_n} \right)^2 a_{2n} + \frac{h_1 L}{2 \lambda \beta_n^2} a_{3n} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{II.39})$$

$$\text{Avec } a_{1n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4 \beta_n} \sin(2 \beta_n) \quad (\text{II.40})$$

$$a_{2n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{4 \beta_n} \sin(2 \beta_n) \quad (\text{II.41})$$

$$a_{3n} = 1 - \cos(2 \beta_n) \quad (\text{II.42})$$

➤ **Calcul $H(0)$:**

Le développement en série de la fonction orthogonale $U(u)$ permet de calculer $T(0)$.

$$H(0) = \int_0^1 U(u) \theta(u, 0) du \quad (\text{II.43})$$

$$H(0) = [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \quad (\text{II.44})$$

Avec, $H_{1n}(0)$ et $H_{2n}(0)$ sont déterminés [II.5] à l'aide des intégrales d'Euler-Fourier

II.2.3 Expression de la Température :

Les intégrales d'Euler-Fourier nous permettent d'obtenir les constantes $H_{1n}(0)$ et $H_{2n}(0)$

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

$$H_{1n}(0) = \frac{\sqrt{\gamma}}{(\beta_n^2 + \gamma) \left[\sqrt{\gamma} \cosh(\sqrt{\gamma}) + \frac{h_2 \cdot L}{\lambda} \sinh(\sqrt{\gamma}) \right]} \left\{ \left[\sqrt{\gamma} \sinh(\sqrt{\gamma}) + \beta_n \sin(\beta_n) \right] + \frac{h_2 \cdot L}{\lambda} \left[\cosh(\sqrt{\gamma}) - \cos(\beta_n) \right] \right\} \quad (\text{II.45})$$

$$H_{2n}(0) = \frac{h_1 \cdot L}{\lambda(\beta_n^2 + \gamma) \left[\sqrt{\gamma} \cosh(\sqrt{\gamma}) + \frac{h_2 \cdot L}{\lambda} \sinh(\sqrt{\gamma}) \right]} \left\{ \left[\sqrt{\gamma} \cosh(\sqrt{\gamma}) - \sin(\beta_n) \right] + \frac{h_2 \cdot L}{\lambda} \left[\sinh(\sqrt{\gamma}) - \frac{\sqrt{\gamma}}{\beta_n} \cos(\beta_n) \right] \right\} \quad (\text{II.46})$$

$$\theta(u, \tau) = \sum_n \left[a_n \cos(\beta_n u) + b_n \sin(\beta_n u) \right] H(0) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_d}} \quad (\text{II.47})$$

Nous obtenons l'expression de la température réduite de l'équation de diffusion de la chaleur et elle est donnée par l'expression (31) :

$$\theta\left(\frac{x}{L}, \frac{\alpha \cdot t}{L^2}\right) = \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot \left[\cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} \quad (\text{II.48})$$

En combinant les équations (6) et (31) ainsi nous obtenons l'expression de la température finale :

$$T(x, h_1, h_2, t) = T_a + (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot \left[\cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} \quad (\text{II.49})$$

A partir de l'expression (33) nous allons tracer la température en fonction des différents paramètres thermo physiques.

II.3 Evolution de la Température dans le matériau filasse-plâtre :

Les profils des courbes de la température, de densité d'écoulement de la chaleur nous permettent d'apprécier le comportement matériau **[II. 10]** filasse dans l'isolation.

II.3.1 Evolution de la Température en fonction de la profondeur :

Dans ce paragraphe nous allons tracer la température en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant h_1 .

II.3.1.1 Evolution de la Température en fonction de la profondeur pour différentes valeurs du coefficient d'échange

A partir de l'isolant thermique filasse-plâtre nous obtenons tous les courbes de la température pour une diffusivité $(\alpha = 2,07 \cdot 10^{-7} m^2 \cdot s^{-1})$ et de conductivité thermique $(\lambda = 0,15 W \cdot m^{-1} \cdot C^{-1})$.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant de la température et de la densité de flux de chaleur, nous présentons la figure 1. Donc nous avons tracé la courbe de température en fonction de la profondeur pour différentes valeurs des coefficients d'échange à la face avant en fixant $h_2 = 0,005 W.m^{-2}.C^{-1}$.

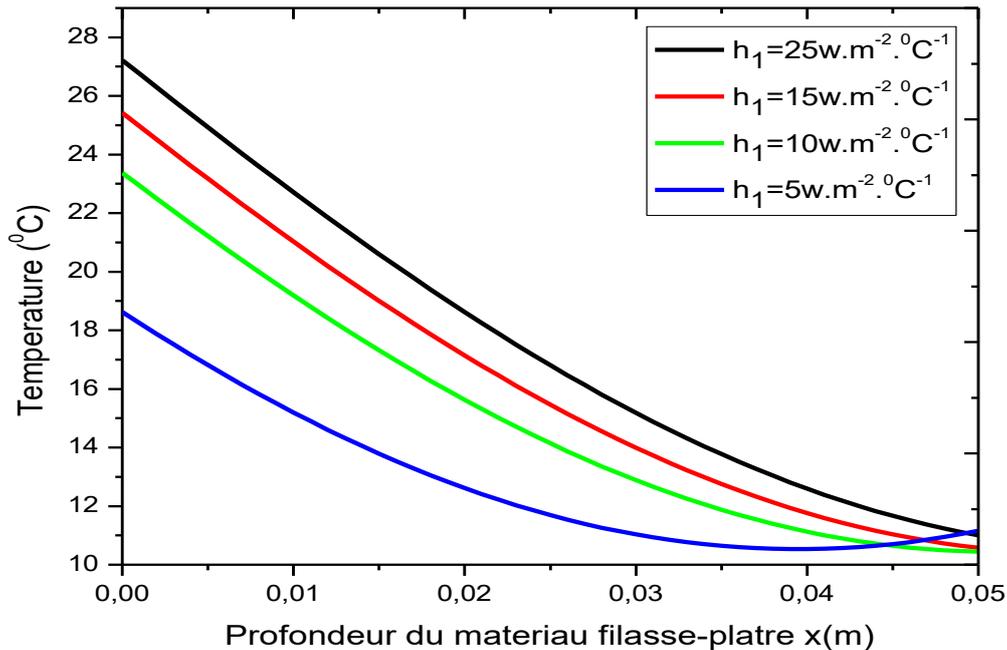


Figure 23: Evolution de la température en fonction de la profondeur du matériau sous l'influence du coefficient à la face avant, $t = 100s$ et $h_2 = 0.005 W.m^{-2}.C^{-1}$

Sur la figure 1, la température à $x = 0$ décroît quand on s'éloigne de la face avant du matériau puis nous atteignons la température initiale T_i du matériau filasse-plâtre quand la profondeur devient importante.

Nous remarquons pour $x = 0$ la quantité de chaleur échangée au niveau de la face avant est d'autant plus importante que le coefficient d'échange à la face avant est faible.

Si le coefficient d'échange à la face avant diminue, nous notons une décroissance légère de la température.

Sur la courbe nous constatons une légère diminution de la température pour les faibles valeurs de la profondeur. Cette diminution est due à la rétention de la chaleur de proche en proche dans le matériau filasse-plâtre.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Ceci s'explique par le fait que le matériau filasse-plâtre commence à restituer de la chaleur. Et la restitution est très importante à la face arrière. Donc c'est le phénomène de convection qui l'emporte sur la conduction dans la zone sensible aux sollicitations climatiques extérieures, c'est-à-dire aux faibles valeurs de la profondeur.

Donc nous allons tracer les courbes de température en fonction de la profondeur pour différentes valeurs des coefficients d'échange à la face avant en fixant.

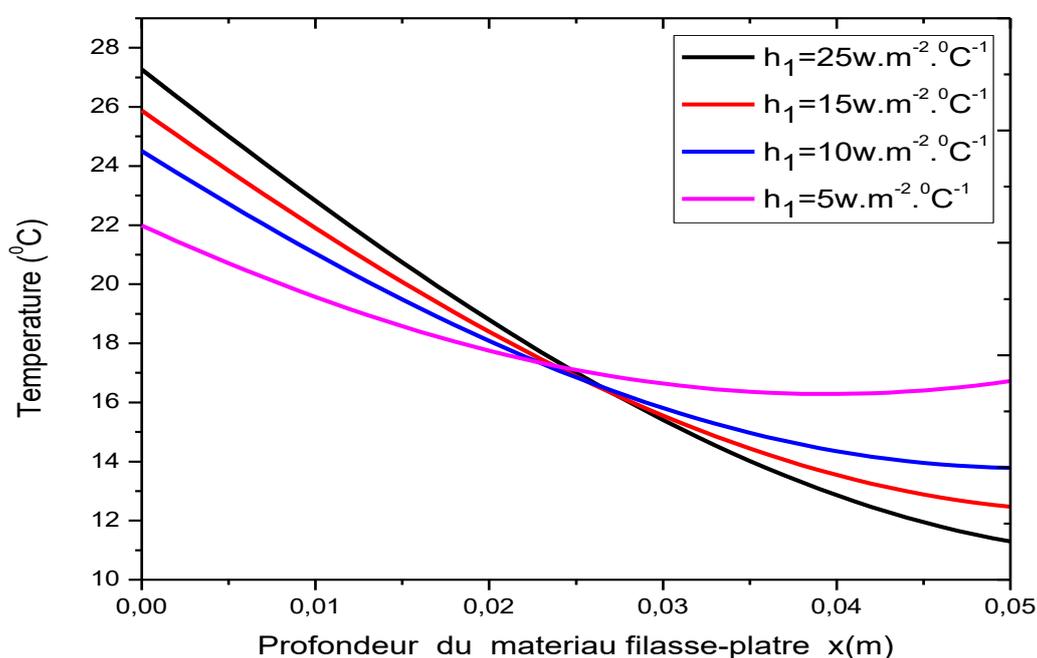


Figure 24: Evolution de la température en fonction de la profondeur du matériau sous l'influence du coefficient à la face avant, $t = 100s$ et $h_2 = 0.005 W.m^{-2} .C^{-1}$

Pour la figure 24 nous constatons une diminution progressive de la température en fonction de la profondeur en éloignant de la face avant. Nous étudions la température initiale du matériau lorsque la profondeur devient importante.

Pour les courbes nous obtenons le même profil, c'est-à-dire pour $x=0$ m, nous notons une absorption de la chaleur et le réchauffement par le matériau filasse-plâtre. Nous remarquons que la température diminue lorsque la profondeur augmente.

En ce point de rencontre on observe une inversion des courbes ; ce qui correspond à la tendance qu'a le matériau filasse-plâtre à restituer de la chaleur sur de faibles couches.

II.3.1.2. Evolution de la Température en fonction de la profondeur pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face arrière :

Nous avons tracé l'évolution de la température en fonction de la profondeur du matériau filasse-plâtre sous l'influence du coefficient d'échange à la face arrière.

Pour des faibles valeurs de la profondeur nous constatons une légère diminution de la température.

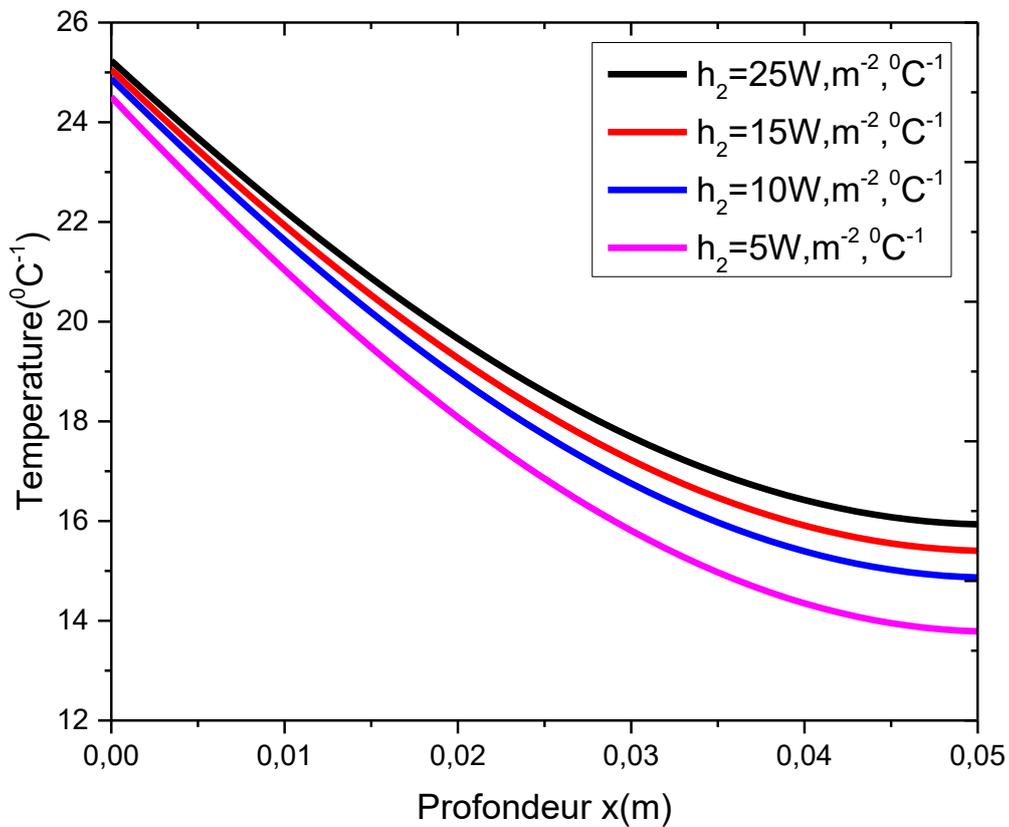


Figure 25: Evolution de la température en fonction de la profondeur du matériau sous l'influence du coefficient d'échange à la face arrière, $t = 100\text{s}$ et $h_1 = 10 \text{ W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$

Nous avons tracé l'évolution de la température en fonction de la profondeur du matériau filasse-plâtre sous l'influence du coefficient d'échange à la face arrière.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

La température est d'autant plus importante à la paroi du matériau que le coefficient d'échange convectif h_2 est faible. Elle diminue progressivement voire même s'atténue à la température initiale du matériau.

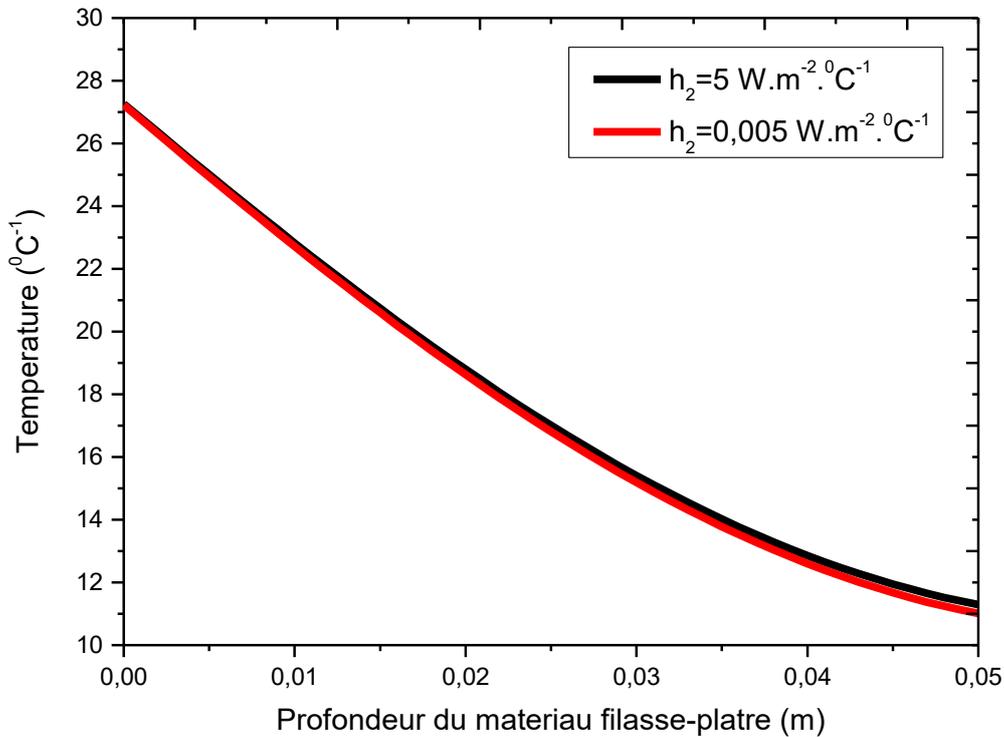


Figure 26: Evolution de la température en fonction de la profondeur du matériau sous l'influence du coefficient d'échange à la face arrière, $t = 100s$ et $h_1 = 25 \text{ W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$

Nous avons tracé l'évolution de la température en fonction de la profondeur du matériau sous l'influence du coefficient d'échange à la face arrière. Nous avons le même profil c'est-à-dire, nous constatons pour les faibles valeurs de la profondeur, la température est maximale. Et pour les grandes valeurs de la profondeur, il diminue progressivement. Cela est signifié que le matériau a emmagasiné de la chaleur juste à la face avant et au fur et à mesure il commence à restituer de la chaleur.

II.3.1.3. Evolution de la Température en fonction de la profondeur pour différentes du temps

Nous allons tracer la température en fonction de la profondeur sous l'influence du temps

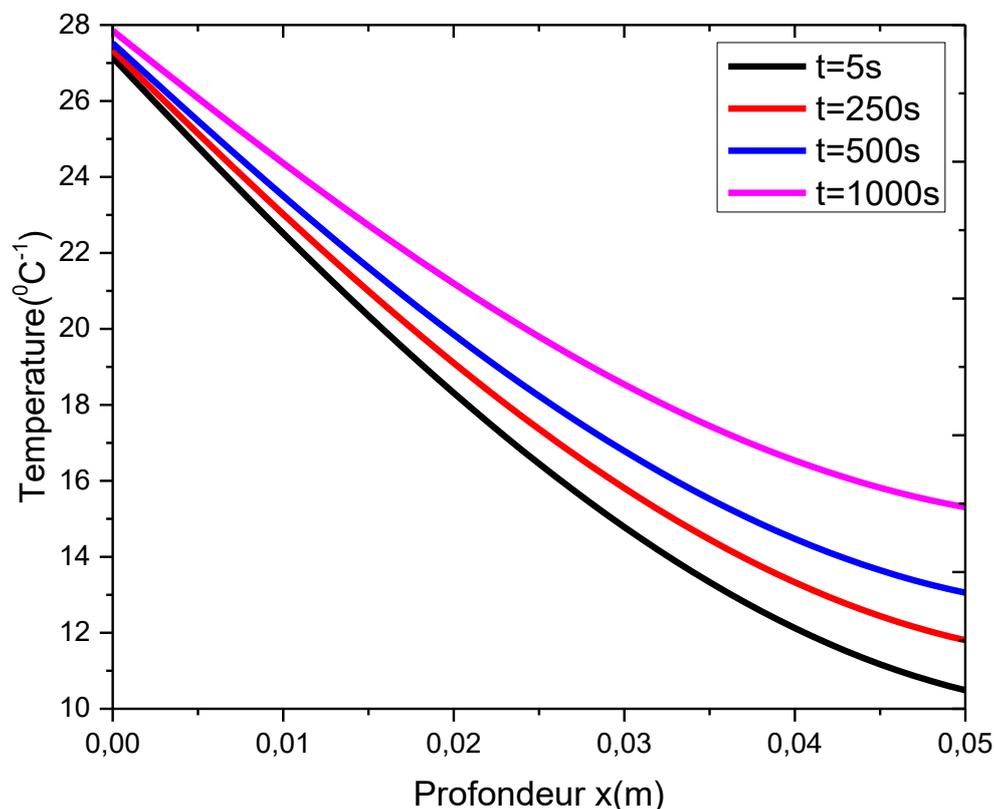


Figure 27: Evolution de la Température en fonction de la profondeur sous l'influence du temps, $h1=15 W.m^{-1} . ^\circ C^{-1}$ et $h2=0.05 W.m^{-2} . ^\circ C^{-1}$

Nous avons tracé l'évolution de la température en fonction de la profondeur du matériau sous l'influence du temps. Nous remarquons pour les faibles valeurs de la profondeur la température est maximale et lorsque la profondeur du matériau filasse-plâtre augmente, elle diminue jusqu'à atteindre la température initiale du matériau. Donc le temps diminue avec la température.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Cette diminution de la température est due à la restriction de la chaleur à l'extérieur par le matériau. Cette diminution est due à la dissipation de la chaleur de proche en proche dans le matériau.

II.3.1.4. Evolution de la Température en fonction de la profondeur pour différentes de la diffusivité thermique

Nous allons tracer la température en fonction de la profondeur sous l'influence de la diffusivité thermique.

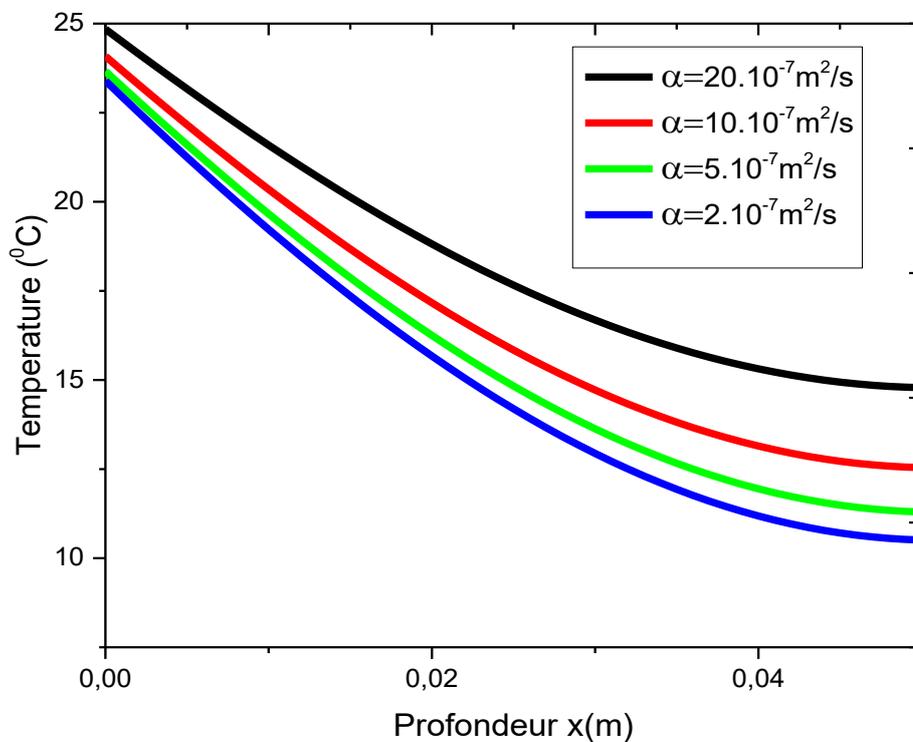


Figure 28: Evolution de la température en fonction de la Profondeur l'influence sous la diffusivité thermique $h1=10 \text{ W.m}^{-1} .^{\circ}\text{C}^{-1}$, $h2=0.05 \text{ W.m}^{-1} .^{\circ}\text{C}^{-1}$ et $t=100\text{s}$.

Nous avons tracé l'évolution de la température en fonction de la profondeur sous l'influence de la diffusivité. La température décroît lorsque la profondeur du matériau filasse-plâtre augmente. La diffusivité thermique est grande si la valeur de la paroi est très importante. Ce qui correspond à la propriété du matériau filasse-plâtre à conduire la chaleur sur une surface

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

par unité de temps. Nous remarquons pour les faibles valeurs de la diffusivité thermique correspond à des faibles vitesses de propagation et nous observons une rapide atténuation de la température.

Puisque la diffusivité thermique et la masse volumique sont inversement proportionnelle ; pour les faibles valeurs de la masse volumique correspondent à une diffusivité thermique élevée. Ce qui montre que le matériau devient dense et accapare une quantité de chaleur élevée. Et enfin pour les grandes valeurs de la diffusivité thermique nous observons une rétention de la chaleur.

II.3.2 Evolution de la Température en fonction du coefficient d'échange à la face avant : **II.3.2.1 Evolution de la Température en fonction du coefficient d'échange à la face avant pour différentes valeurs de la profondeur :**

Pour différentes valeurs de la profondeur, nous obtenons la figure 29.

La courbe de la température en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 .

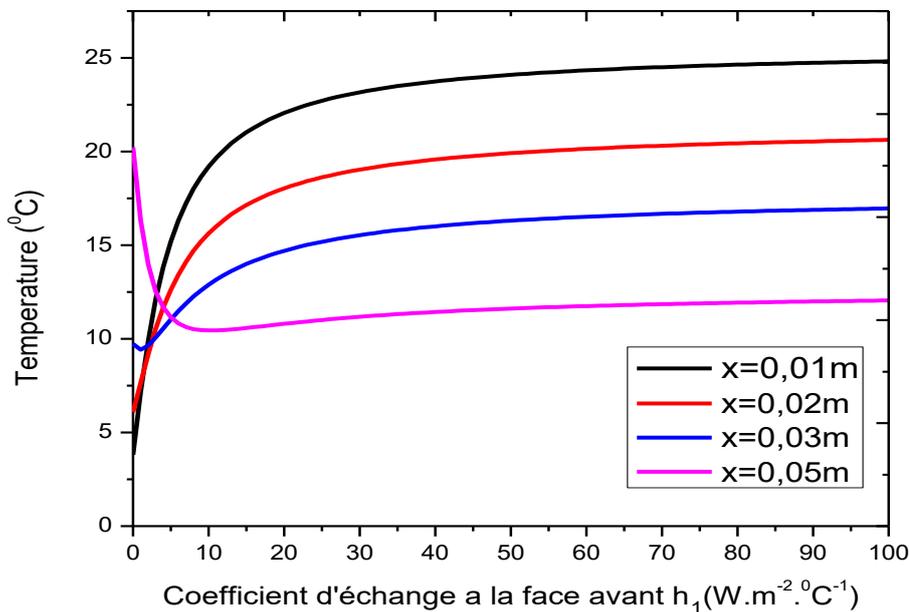


Figure 29: Evolution de la température en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 , $t = 100s$ et $h_2 = 0.005 W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

.La température augmente avec le coefficient d'échange à la face avant h_1 puis devient constant aux grandes valeurs de h_1 . Donc le matériau filasse-plâtre emmagasine de l'énergie thermique.

La température est d'autant plus importante que le coefficient d'échange à la face avant est élevée.

Lorsque le coefficient d'échange à la face avant croît, la température augmente. La température devient constante à partir d'une certaine valeur de la profondeur.

Pour $x = 0.05\text{m}$, nous notons une apparition d'un coefficient seuil ce qui montre une diminution légère de la température à la face arrière du matériau.

Ce qui correspond à de faibles échanges de chaleur entre le fluide et la paroi du matériau. Le coefficient d'échange convectif traduit de manière empirique les échanges de chaleur entre le matériau et son environnement.

Dans la figure 30 nous allons tracer la température en fonction du coefficient d'échange à la face avant.

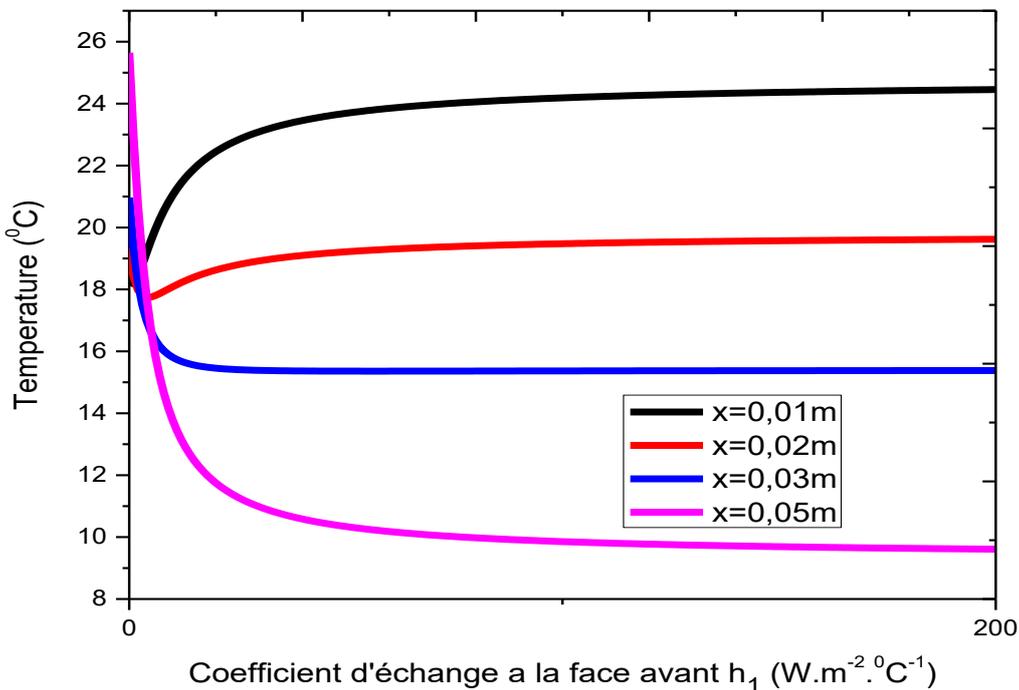


Figure 30: Evolution de la température en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 , $t = 100\text{s}$ et $h_2 = 5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{°C}^{-1}$

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Nous constatons une augmentation de la température pour les deux premières courbes puis deviennent constant aux grandes valeurs de h_1 jusqu'à atteindre un palier. Ce qu'on appelle l'équilibre thermique.

Nous notons une diminution de la température pour les deux dernières courbes et deviennent constantes. Ce qui montre qu'il y a un coefficient d'échange seuil.

Evolution de la Température en fonction du coefficient d'échange à la face avant pour différentes valeurs de la diffusivité :

Nous allons tracer la température en fonction du coefficient d'échange à la face avant pour différentes valeurs de la diffusivité thermique.

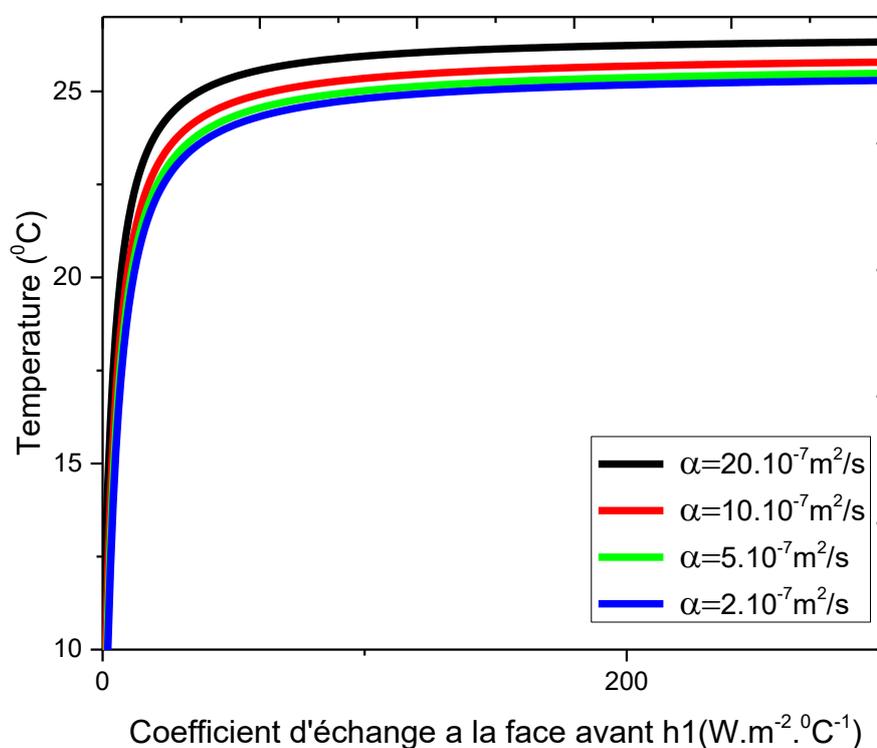


Figure 31 : Evolution de la température en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 sous l'influence de la diffusivité $\alpha=0.01m$, $h_2=0.05 W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$ et $t=100s$

Nous constatons que la température augmente avec le coefficient d'échange à la face avant h_1 avant d'atteindre une valeur limite. Au-delà de $h_1=25 W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$ le phénomène d'échange de chaleur s'atténue et la température du matériau est environ $25 ^\circ C$ qui est proche celui du

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

milieu ambiant. Pour Les faibles valeurs de la diffusivité thermique correspondant à une augmentation de la densité volumique du matériau filasse-plâtre cela entraine à une défavorisation de l'échange de chaleur par convection.

En effet, l'influence de la profondeur et de la diffusivité thermique sont observable. Nous constatons que l'augmentation du coefficient d'échange à la face avant h_1 favorise les échanges de chaleur entre la paroi du matériau filasse-plâtre et le fluide constituant le milieu ambiant.

5) Evolution de la Température en fonction du coefficient d'échange à la face arrière :

Nous allons tracer la température en fonction du coefficient d'échange à la face arrière h_2 sous l'influence de la profondeur.

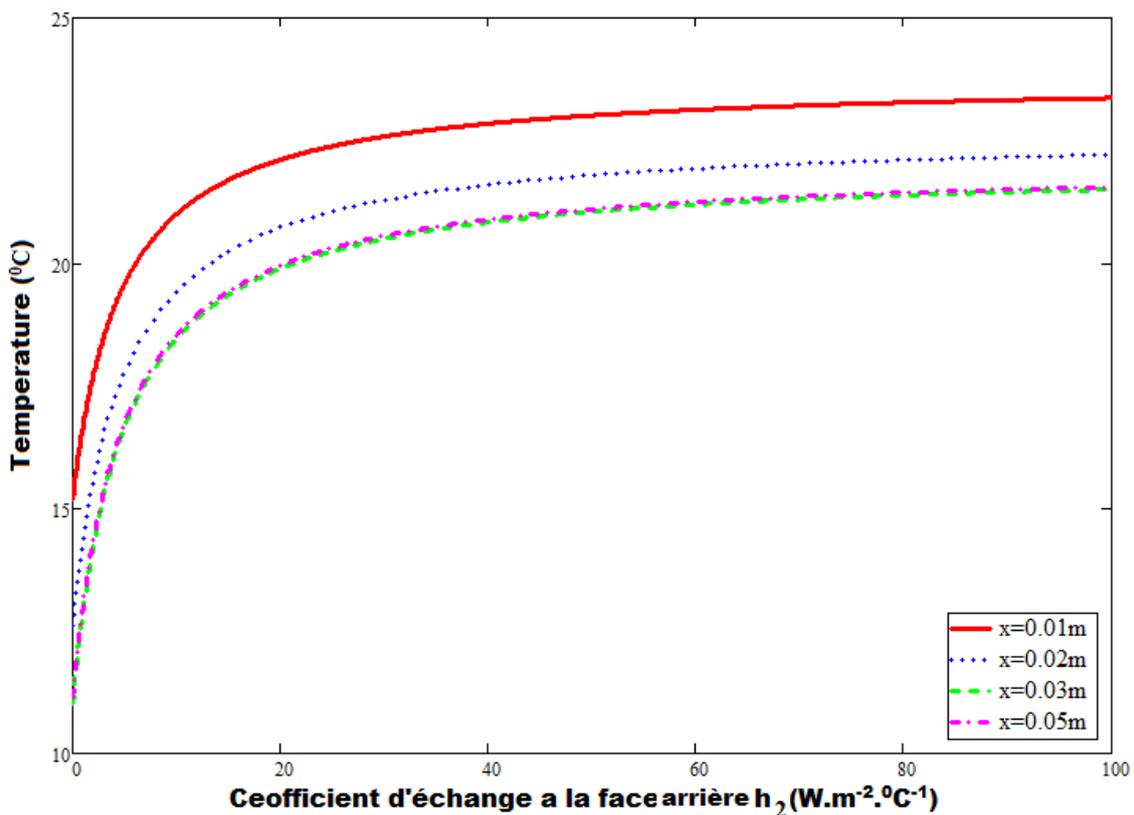


Figure 32: Evolution de la Température en fonction du coefficient d'échange à la face arrière sous l'influence de la profondeur $h_1=25W.m^{-2}.°C^{-1}$ et $t=100s$

Dans ce figure nous avons tracé la température en fonction du coefficient d'échange à la face arrière sous l'influence de la profondeur.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Pour des faibles valeurs du coefficient d'échange à la face arrière nous avons une augmentation progressive de la température.

Nous allons tracer la température en fonction du coefficient d'échange à la face arrière h_2 sous l'influence de la profondeur.

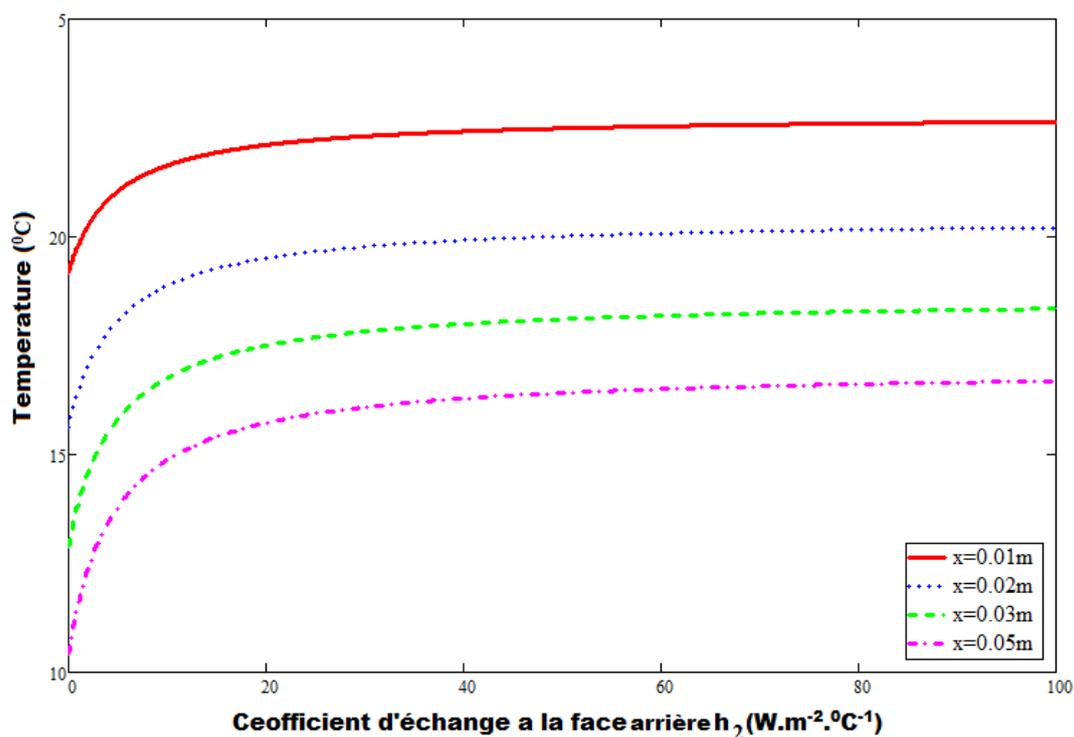


Figure 33: Evolution de la Température en fonction du coefficient d'échange à la face arrière sous l'influence de la profondeur $h_1=5W.m^{-2}.°C^{-1}$ et $t=100s$

Dans cette figure nous avons tracé la température en fonction du coefficient d'échange à la face arrière sous l'influence de la profondeur.

Pour des faibles valeurs du coefficient d'échange à la face arrière nous avons une augmentation lente de la température. Ainsi l'équilibre thermique est atteint à partir d'une certaine valeur du coefficient d'échange à la face arrière h_2 .

II.3.2.2 Evolution de la Température en fonction du temps :

II.3.2.2.1 Evolution de la Température en fonction du temps pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant :

Dans cette figure nous allons tracer les profils de la température en fonction du temps pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant.

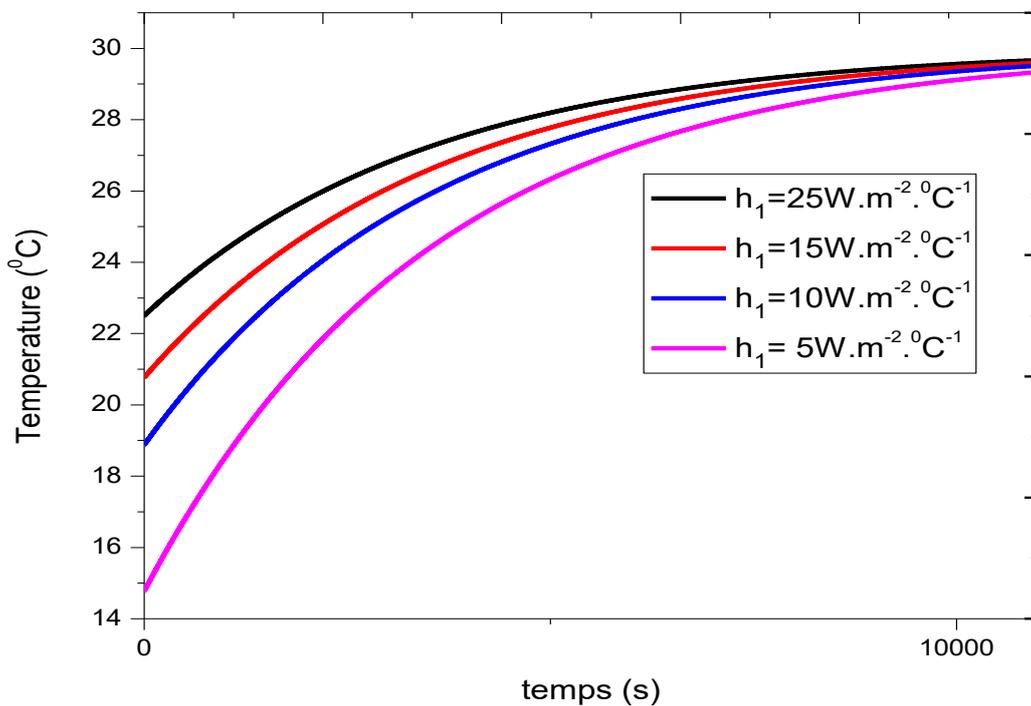


Figure 34 : Evolution de la température en fonction du temps matériau, sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant, $x = 0.01 \text{ m}$ et $h_2 = 0.005 \text{ W.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}$

Dans cette figure nous avons tracé la température en fonction du temps sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant.

Nous notons une augmentation de la température en fonction du temps.

Pour des grandes valeurs de la température la figure 9, nous constatons que chaque point du matériau filasse-plâtre atteint un palier. Cette augmentation se trouve à l'intérieur du

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

matériau. Ceci est dû à l'emmagasinement de la chaleur et aussi au phénomène de stockage dans le matériau filasse-plâtre.

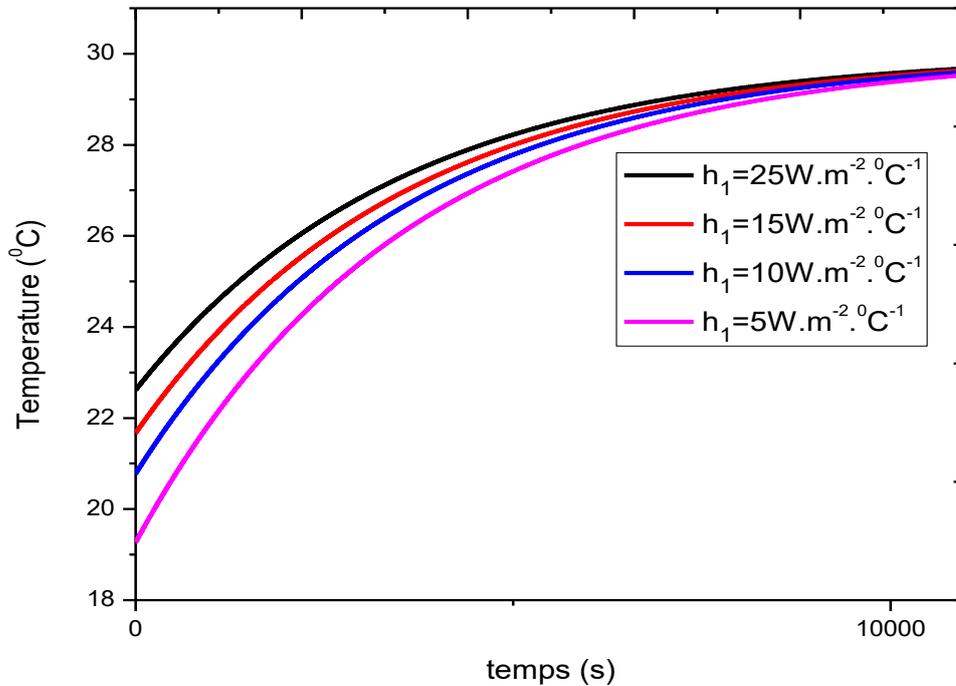


Figure 35: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction du temps, $x=0.01\text{m}$ et $h_2=5\text{W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$

Pour la figure 35 nous avons tracé la température en fonction du temps. En fixant la profondeur et le coefficient d'échange à la face arrière nous avons obtenu les différents profils de la température pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant. Ainsi nous constatons une augmentation de la température jusqu'à atteindre un palier. Ce qui permet le matériau filasse-plâtre d'emmagasiner l'énergie thermique.

II.3.2.2.1 Evolution de la Température en fonction du temps pour différentes valeurs de la diffusivité thermique :

Nous allons tracer la température en fonction du temps sous l'influence de la diffusivité thermique.

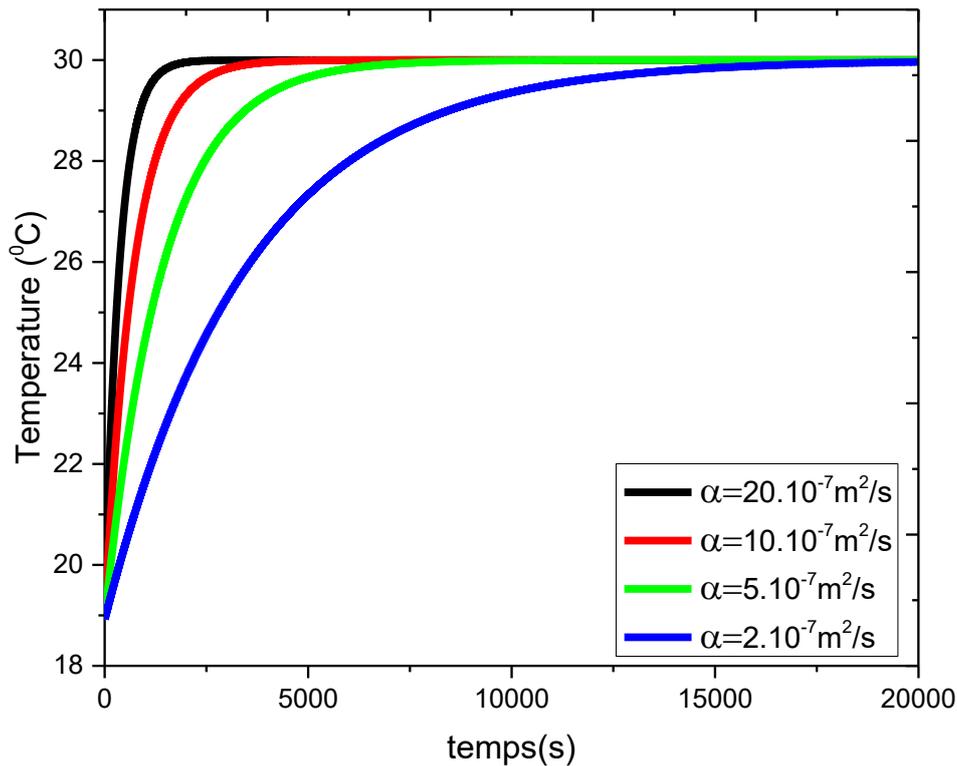


Figure 36 : Evolution de la température en fonction du temps sous l'influence de la diffusivité $x=0.01\text{m}$, $h_1=10\text{W.m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, $h_2=0.05\text{W.m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ et $t=100\text{s}$

Nous notons une augmentation de la température en fonction du temps. L'augmentation de la diffusivité thermique favorise l'emménagement de la chaleur dans le matériau dans le matériau filasse-plâtre. Cette augmentation est atténuée à la température ambiante du matériau 30 °C. On atteint l'équilibre thermique. Cela nous permet de faire une analogie entre la diffusivité thermique et la vitesse surfacique. Son augmentation entraîne une diffusion plus rapide de la chaleur à travers le matériau. On retient non seulement des échanges importants de chaleurs pour les faibles valeurs du temps, mais aussi les grandeurs intrinsèques du matériau, à savoir, la profondeur du matériau et la diffusivité thermique.

7) Evolution de la Température en fonction de Logarithme du temps :

71) Température en fonction de Logarithme du temps :

Nous allons tracer la température en fonction de logarithme du temps sous l'influence de la diffusivité thermique

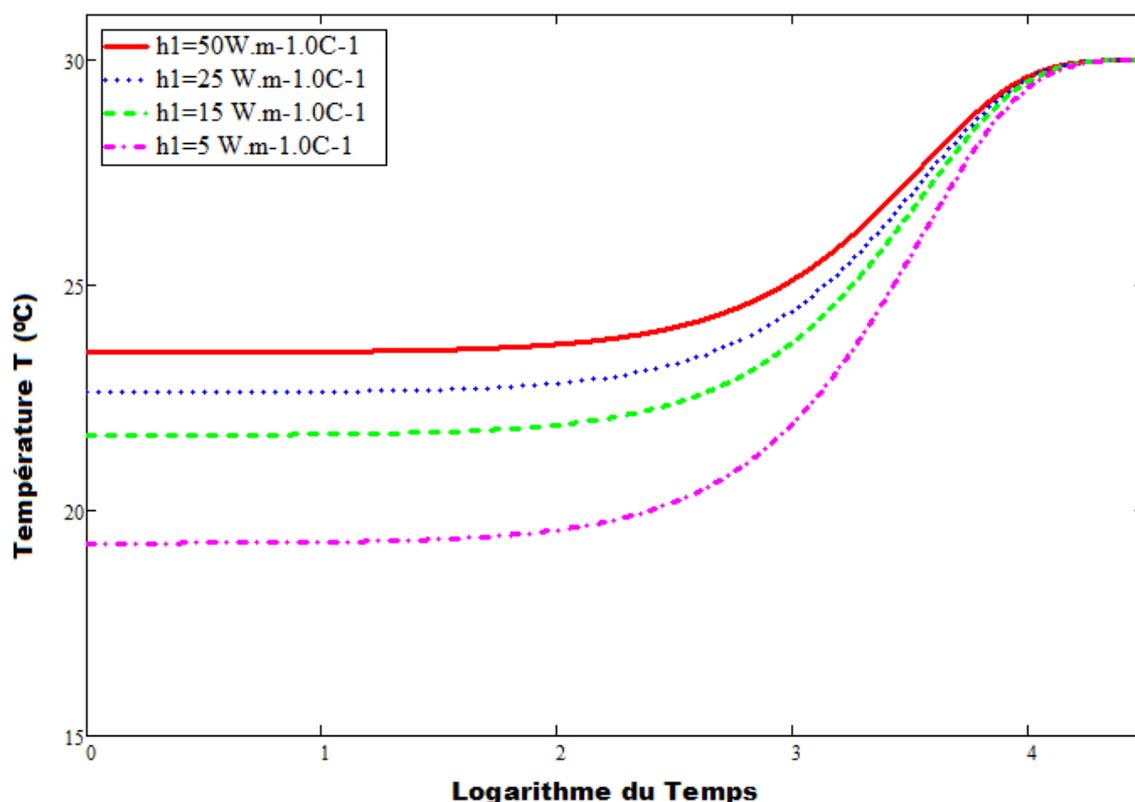


Figure 37: Evolution de la Température en fonction de Logarithme du Temps pour divers valeurs de h_1 , $x=0.01m$ et $h_2=5W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$

Nous avons tracé l'évolution de la température en fonction de logarithme du temps sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant.

Pour les faibles valeurs du temps nous constatons que la température est constante. Pour un temps supérieur à 2s, la température augmente pour atténuer la température ambiante du matériau. Ce qui correspond à un emmagasinement de la chaleur.

II.2.4 Expression de la Densité de flux de chaleur

La loi fondamentale de Fourier, régissant le flux de chaleur dans une paroi homogène, s'exprime par la formule.

$$\Phi(x, h_1, h_2, t) = -\lambda \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial x} \quad (\text{II.50})$$

La présence d'une densité de flux de chaleur suivant les directions transversales montrent la dissipation de la chaleur suivant les directions transversales [II.1]. Si une partie de la chaleur est emmagasinée par le matériau sur des couches d'épaisseur faible, une autre partie est transmise suivant différentes directions pourvu qu'il existe un gradient de température. : [II.1]

La densité du flux de chaleur notée Φ qui est le flux thermique par unité de surface (W.m^{-2}) comme suit :

En généralisant la relation à une configuration unidimensionnelle :

$$\Phi(x, h_1, h_2, t) = -\lambda \cdot \vec{\nabla} T(x, h_1, h_2, t) \quad (\text{II.51})$$

Avec, l'opérateur ($\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x}$) désigne le vecteur gradient.

Nous dérivons la température, $T(x, h_1, h_2, t)$ en fonction de x .

$$\Phi(x, h_1, h_2, t) = -\lambda \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial x} \quad (\text{II.52})$$

En appliquant le produit de la dérivée de la température par rapport à la composante suivante x et la conductivité thermique λ . Nous obtenons l'expression de la densité de flux de chaleur:

$$\Phi(x, h_1, h_2, t) = \lambda \cdot (T_i - T_a) \cdot \delta \theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot \left[\frac{\beta_n}{L} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) - \frac{h_1}{\lambda} \cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} \quad (\text{II.53})$$

A partir de l'expression (35) nous traçons la densité de flux de chaleur en fonction des différents paramètres.

II.3.1 Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur :

Dans ce paragraphe nous allons tracer la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant h_1 .

II.3.1.1 Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur pour différentes valeurs du coefficient d'échange :

A partir de l'isolant thermique filasse-plâtre nous obtenons toutes les courbes de la densité de flux de chaleur pour une diffusivité ($\alpha = 2,07.10^{-7} m^2.s^{-1}$) et de conductivité thermique ($\lambda = 0,15W.m^{-1}.C^{-1}$).

-Pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant de la densité de flux de chaleur, nous présentons la figure 2. Donc nous avons tracé la courbe de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur pour différentes valeurs des coefficients d'échange à la face avant en fixant $h_2 = 0,005W.m^{-2}.C^{-1}$.

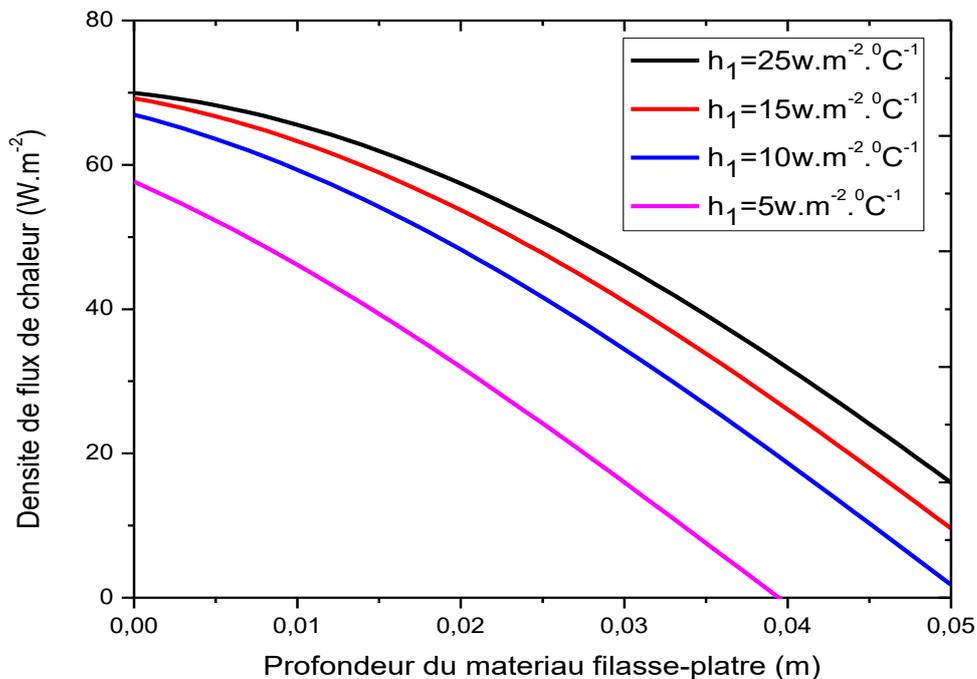


Figure 38: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur du matériau, $t = 100s$ et $h_2 = 0.005 W.m^{-2} C^{-1}$

Sur la figure 2 nous avons une décroissance de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant. Nous notons une décroissance qui est moins brutale sur la courbe où $h_1 = 25W.m^{-2}.C^{-1}$ que sur les autres.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Aux faibles valeurs de la profondeur correspondent des valeurs élevées de la densité de flux de chaleur.

Sur ces courbes nous constatons une légère diminution de la densité de flux de chaleur pour les faibles valeurs de la profondeur.

Le tableau 1 donne les valeurs moyennes des paramètres caractéristiques thermophysiques d'un mur simple constituée de filasse plâtre pour un temps de 100 s et une température ambiante T_a de 30°C.

Tableau 1 : Les différentes valeurs de la diffusivité thermique, la conductivité thermique et le coefficient d'échange thermique du matériau filasse-plâtre pour $t = 100$ $h_2 = 0,005 W.m^{-2}.C^{-1}$

Diffusivité thermique	Conductivité thermique	Coefficient d'échange thermique	
		$h_1 (W / m^2 C)$	$h_2 (W / m^2 C)$
$\alpha (m^2 .s^{-1})$	$\lambda (W / m.C)$	25 ; 15 ; 10 ; 5	0.005
$2,07.10^{-7}$	0.15		

Nous avons tracé la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Nous allons tracer la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant.

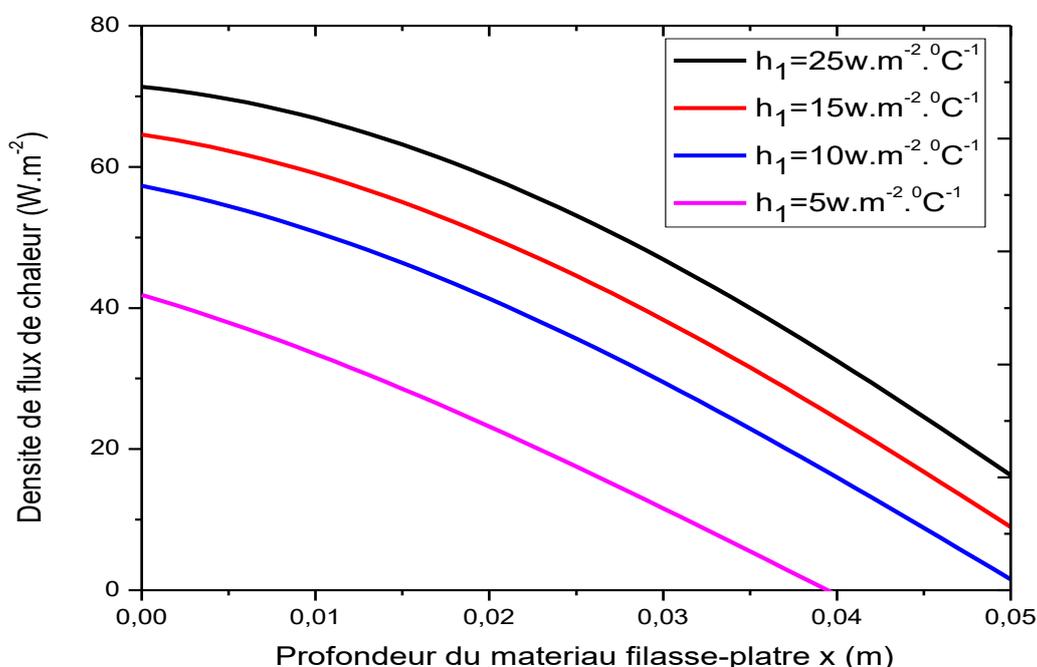


Figure 39: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur du matériau, $t = 100s$ et $h_2 = 5 \text{ W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$

Pour la figure 4 nous notons aussi une diminution légère de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur du matériau filasse-plâtre sous l'influence du coefficient à la face avant. Nous remarquons qu'il y a une absorption qui est causée par la diminution de la densité de flux de chaleur par le matériau.

La densité de chaleur entrant dans le matériau filasse-plâtre est d'autant plus importante que le coefficient d'échange thermique à la face avant est grand au voisinage de la face avant, c'est-à-dire dans la zone sensible aux échanges de chaleur.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Tableau 3: Différentes valeurs de la diffusivité thermique, la conductivité thermique et le coefficient d'échange thermique du matériau filasse-plâtre pour $t = 100s$ et $h_2 = 5W.m^{-2}.C^{-1}$

Diffusivité thermique	Conductivité thermique	Coefficient d'échange thermique	
		$h_1(W/m^2.C)$	$h_2(W/m^2.C)$
$\alpha(m^2.s^{-1})$	$\lambda(W/m.C)$		
$2,07.10^{-7}$	0.15	25 ; 15 ; 10 ; 5	5

II.3.1.2 Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur pour différentes valeurs de la diffusivité thermique:

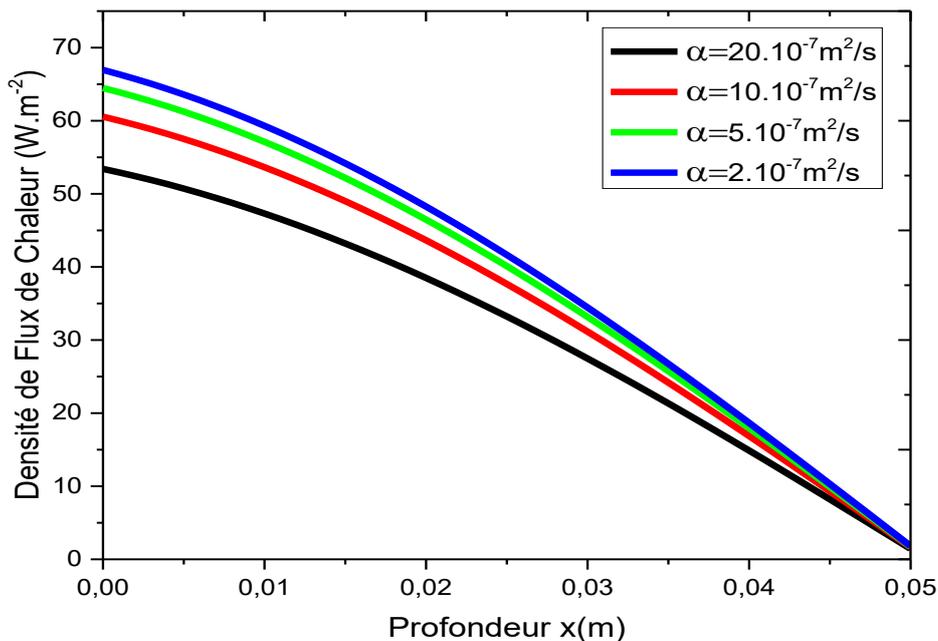


Figure 40 : Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur pour différentes valeurs de la diffusivité thermique $h_1 = 10W.m^{-2}.C^{-1}$, $h_2 = 0.05 W.m^{-2}.C^{-1}$ et $t = 100s$

Nous remarquons plus la densité de flux de chaleur est importante plus diffusivité thermique est faible. La diminution de la densité de flux de chaleur traduit la propriété du matériau filasse-plâtre à conduire la chaleur sur une surface par unité de temps. Nous notons une diminution rapide de la densité de flux de chaleur correspondant aux faibles valeurs de la

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

diffusivité thermique. Ceci est dû au fait qu'elles correspondent à une importante densité volumique du matériau filasse-plâtre.

II.3.2 Evolution de la densité de flux de chaleur thermique en fonction du coefficient d'échange à la face avant :

II.3.2.1 Evolution de la densité de flux de chaleur pour différentes valeurs de la profondeur :

Pour différentes valeurs de la profondeur, nous obtenons la figure 41. La courbe de la température en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 .

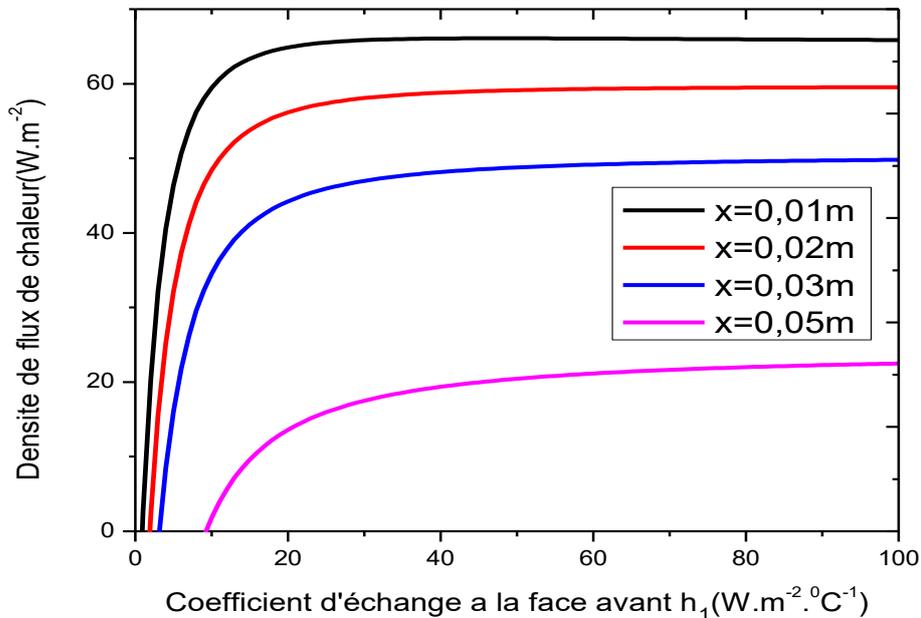


Figure 41: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 , $t = 100s$ et $h_2 = 0.005 W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$

La densité de flux de chaleur augmente avec le coefficient d'échange à la face avant h_1 puis devient constant aux grandes valeurs de h_1 . Donc le matériau filasse-plâtre emmagasine de l'énergie thermique.

La densité de flux de chaleur est d'autant plus importante que le coefficient d'échange à la face avant est élevé.

Lorsque le coefficient d'échange à la face avant croît, la densité de flux de chaleur augmente.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

La densité de flux de chaleur devient constante à partir d'une certaine valeur de la profondeur. Le flux de chaleur moyen en un point du matériau augmente avec le coefficient d'échange thermique à la face avant du matériau puis devient constant aux grandes valeurs de h_1 . Le matériau emmagasine de l'énergie. [II. 11]

Dans la figure 42 nous allons tracer la densité de flux de chaleur en fonction du coefficient d'échange à la face avant.

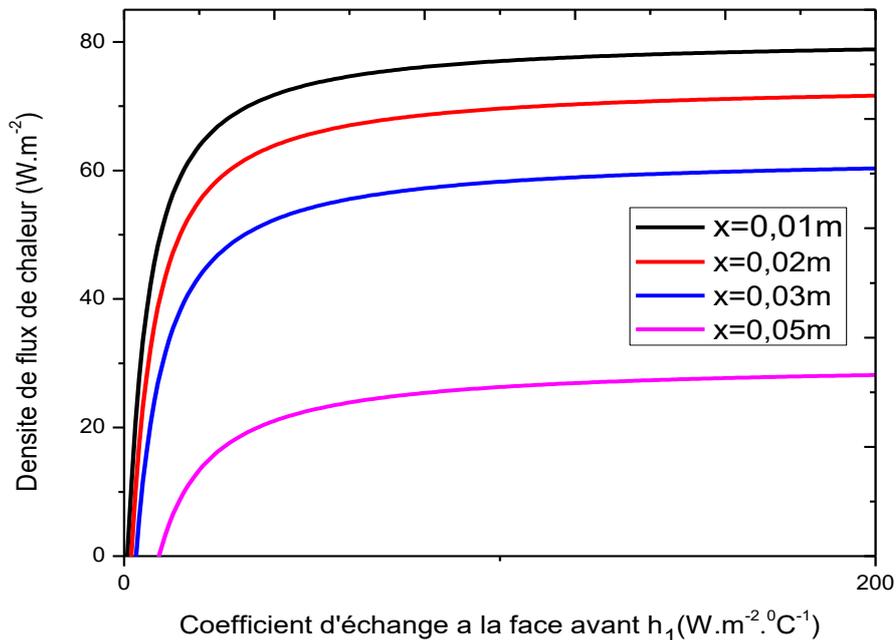


Figure 42: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 , $t = 100s$ et $h_2 = 5 W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$

Nous avons une réduction de la densité de flux de chaleur aux faibles valeurs du coefficient d'échange à la face avant ce qui montre l'échange de chaleur entre le fluide et la face avant du matériau est faible.

La densité de flux de chaleur augmente avec le coefficient d'échange à la face avant puis deviennent constant aux grandes valeurs de h_1 .

Nous constatons une augmentation de la densité de flux de chaleur pour les différentes courbes jusqu'à atteindre un palier.

II.3.2.2 Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction du coefficient thermique pour différentes valeurs de la diffusivité thermique :

Nous allons tracer la densité de flux de chaleur en fonction du coefficient d'échange sous l'influence de la diffusivité thermique.

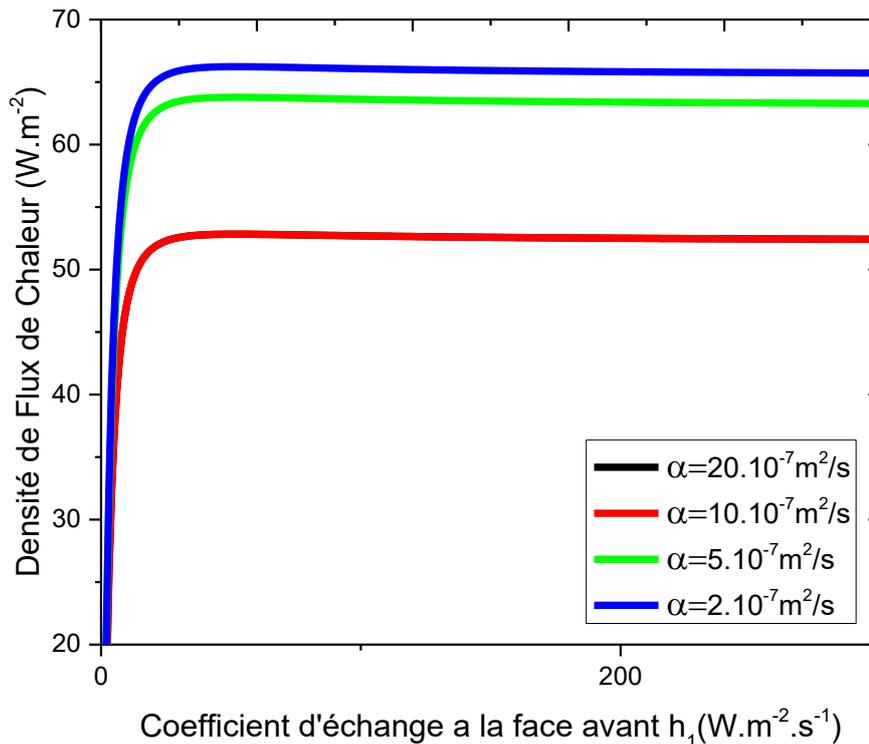


Figure 43 : Evolution de la densité de flux de chaleur pour différentes valeurs de la profondeur, $x=0.01m$, $h_2=0.05 W.m^{-2} .^{\circ}C^{-1}$ et $t=100s$

Nous constatons que la densité de flux de chaleur augmente avec le coefficient d'échange à la face avant h_1 puis devient constant. Au-delà d'une certaine valeur de h_1 , le phénomène d'échange de chaleur s'atténue : ce qu'on appelle l'équilibre thermique. Les faibles valeurs de la diffusivité thermique correspondant à une densité volumique élevée du matériau favorisent moins les échanges de chaleur par convection ; cela entraîne la densité de flux de chaleur est faible. Plus la densité de flux de chaleur est importante plus la diffusivité thermique est grande.

II.4 Evolution la densité de flux de chaleur thermique en fonction du temps :

II.4.1 Evolution la densité de flux de chaleur pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant :

Dans ce figure nous allons tracer le profil de la densité de flux de chaleur en fonction du temps pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant.

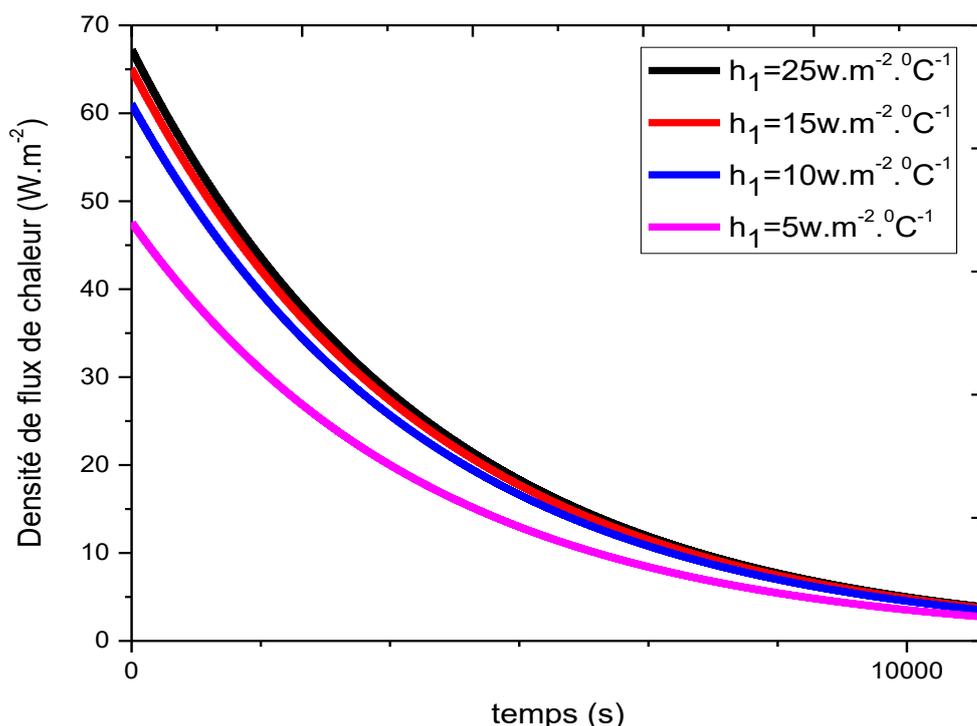


Figure 44: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction du temps, sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant, $x = 0.01m$ et $h_2 = 0.005 W.m^{-2}.^0C^{-1}$

Dans cette figure nous avons tracé la densité de flux de chaleur en fonction du temps sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant.

Nous avons noté une diminution de la densité de flux de chaleur en fonction du temps.

Pour des grandes valeurs de la température de la figure 44, nous constatons que chaque point du matériau filasse-plâtre atteint un palier. Cette diminution se trouve à l'intérieur du matériau. Ceci est dû à une perte de la chaleur dans le matériau filasse-plâtre.

CHAPITRE II : MODÉLISATION A UNE DIMENSION DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Dans ce figure nous allons tracer le profil de la densité de flux de chaleur en fonction du temps pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant.

C

Figure 45: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction du temps, $x = 0.01m$ et $h_2 = 5 W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$

Pour la figure 45 nous avons tracé la densité de flux de chaleur en fonction du temps. Nous notons une diminution de la densité de flux de chaleur en fonction du temps pour différents valeurs du coefficient d'échange. Ces courbes ont le même profil ; elles décroissent avec le temps. Cette diminution est due à une perte d'énergie dans le matériau filasse-plâtre.

II.4.2 Evolution la densité de flux de chaleur en fonction du temps pour différentes valeurs de la diffusivité thermique :

Nous allons tracer la densité de flux de chaleur en fonction du temps sous l'influence de la diffusivité thermique

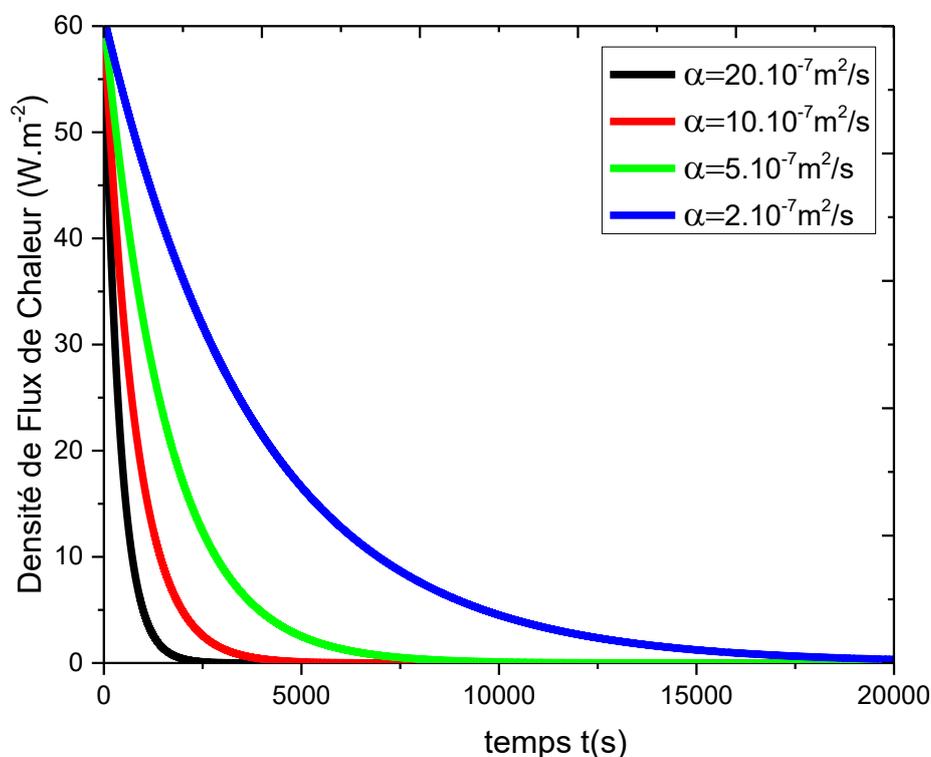


Figure 46 : Evolution la densité de flux de chaleur en fonction du temps pour différentes valeurs de la diffusivité thermique, $x=0.01m$, $h_1=10 W.m^{-2}.^0C^{-1}$ et $h_2=0.05W.m^{-2}.^0C^{-1}$

Nous notons une diminution de la densité de flux de chaleur en fonction du temps. L'augmentation de la diffusivité thermique favorise la dissipation de la chaleur dans le matériau filasse-plâtre. Cette diminution est atténuée sur la température d'isolation optimale 0^0C . On atteint l'équilibre thermique. Cela nous permet de faire une analogie entre la diffusivité thermique et la vitesse surfacique. Son augmentation entraîne une diffusion plus rapide de la chaleur à travers le matériau et aussi ne favorise pas la rétention de la chaleur dans le matériau. On retient non seulement des échanges importants de chaleurs pour les faibles valeurs du temps, mais aussi les grandeurs intrinsèques du matériau, à savoir, la profondeur du matériau et la diffusivité thermique.

II.5 Evolution de la densité de flux de chaleur thermique en fonction de Logarithme du temps :

II.5.1 Densité de flux en fonction de Logarithme du temps :

Nous allons tracer la densité de flux de chaleur en fonction de logarithme du temps sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant.

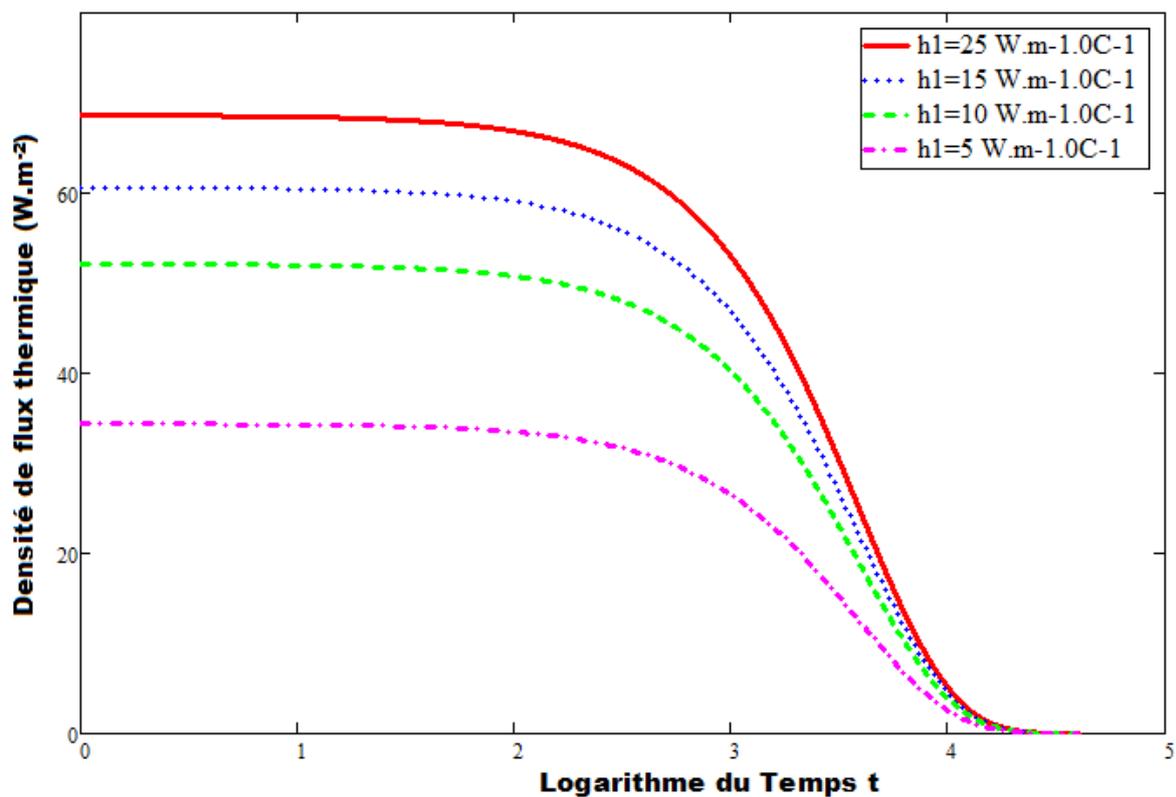


Figure 47: Evolution de la Densité de Flux de Chaleur en fonction du logarithme du temps pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant, $x=0.01m$ et $h_2=5W.m^{-2}.^0C^{-1}$

Conclusion :

L'étude du mur simple constitue de filasse-plâtre en régime transitoire a conduit à la solution analytique de la température et de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur, du coefficient d'échange des deux faces, du temps et de la diffusivité thermique. Pour cela lorsque nous traçons la température en fonction des paramètres :

Nous avons trouvé que l'augmentation de la profondeur entraine la diminution de la température.

De même que l'augmentation du coefficient d'échange à la face avant, à la face arrière et du temps entraînent une augmentation de la température.

Ensuite après l'étude de la densité de flux de chaleur nous avons obtenu :

Une augmentation de la profondeur et du temps entraînent une diminution de la densité de flux de chaleur.

Et enfin sous l'influence de la profondeur et de la diffusivité thermique, nous notons une augmentation de la densité de flux de chaleur et du coefficient d'échange a la face avant h_1 .

**CHAPITRE III : Détermination des
paramètres thermophysiques de la
filasse-plâtre par analogie électrique-
thermique**

CHAPITRE III : Détermination des paramètres thermophysiques de la filasse-plâtre par analogie électrique- thermique

III .1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons étudier le transfert de chaleur par analogie électrique thermique. L'économie d'énergie dans la maison exige nécessairement une bonne commande de l'isolation thermique des bâtiments [III. 1].

L'analogie électrique – thermique propose une étude du transfert de chaleur à travers le matériau filasse- plâtre à partir de la Résistance thermique et la capacité thermique.

L'évolution de la résistance thermique du matériau permet de prévoir le comportement thermique du matériau.

Nous déterminons les paramètres électriques équivalents du matériau filasse-plâtre.

III 2. Analogie entre grandeurs thermiques et électriques

La qualité de l'isolation thermique est mesurée par son inertie thermique. L'étude par l'analogie électrique-thermique montre premièrement les phénomènes du stockage de chaleur [III. 1].

L'analogie électrique thermique nous permet de déterminer la résistance thermique et la capacité thermique.

Tableau 4:Equivalence entre les grandeurs Electriques et les grandeurs Thermiques

Grandeurs électriques		Grandeurs thermiques	
Expressions	Unités	Expressions	Unités
Intensité : $I = \frac{dq}{dt}$	A	Densité de Flux : $\Phi = -\lambda \frac{dT}{dx}$	W.m ⁻²
Différence de potentielle : ΔV	V	Différence de Température : ΔT	⁰ C
Impédance électrique $Z = \frac{\Delta V}{I}$	Ω	Résistance Thermique $R_{th} = \frac{\Delta T}{\Phi}$	⁰ C/ W.m ⁻²
Capacité électrique : $C = \frac{Q}{V}$	F	Capacité Thermique : $C = \frac{\int \Phi dt}{\Delta T}$	W.m ⁻² . ⁰ C ⁻¹

III 3. Variation de la température en fonction de la densité de flux de chaleur :

III 3.1. Evolution de la densité de flux thermique en fonction de la température sous l'influence de la profondeur

Nous avons tracé la densité de flux de chaleur en fonction de la température sous l'influence de la profondeur.

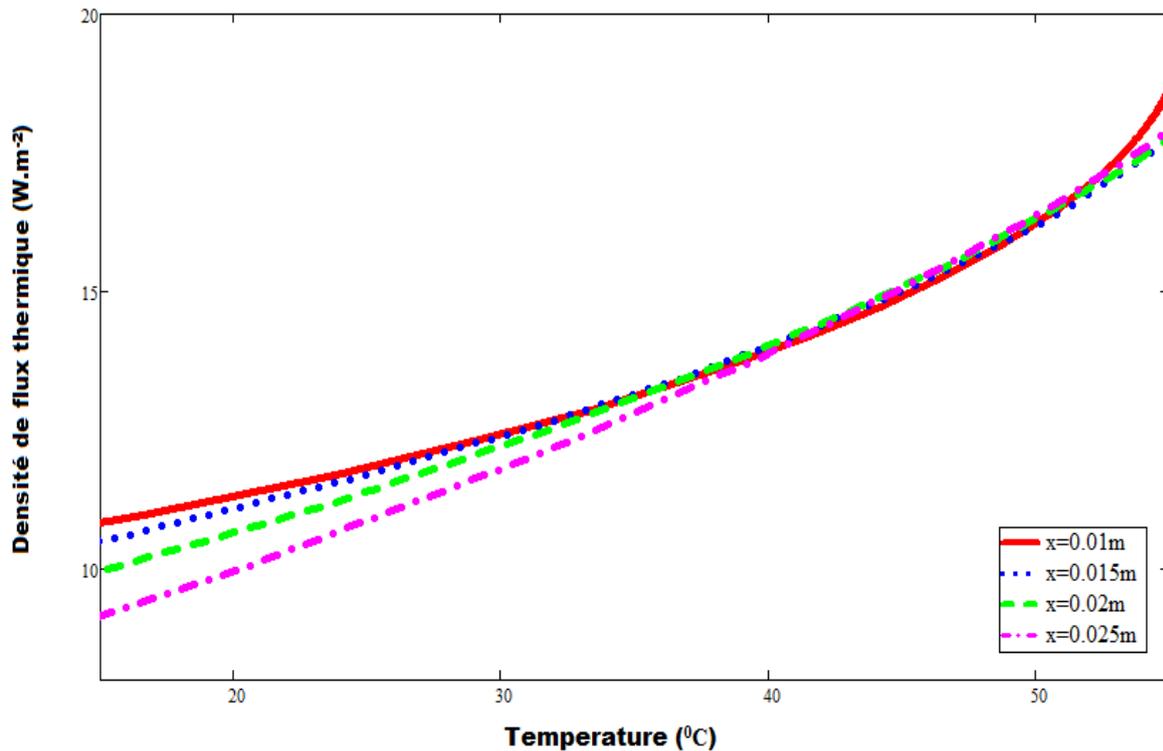


Figure 48: Evolution de la densité de flux de chaleur en fonction de la température pour différents valeurs de la profondeur, $h_1=25W.m^{-2}.^0C^{-1}$ et $t=100s$

Dans cet profil nous avons tracé la densité de flux de chaleur en fonction de la température sous l'influence de la profondeur en fixant le coefficient d'échange à la face avant.

Nous remarquons que la densité de flux de chaleur augmente avec la température.

III 4.2 Evolution de la densité de flux thermique en fonction de la température sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant :

Nous allons tracer la densité de flux de chaleur en fonction de la température sous l'influence du coefficient à la face avant.

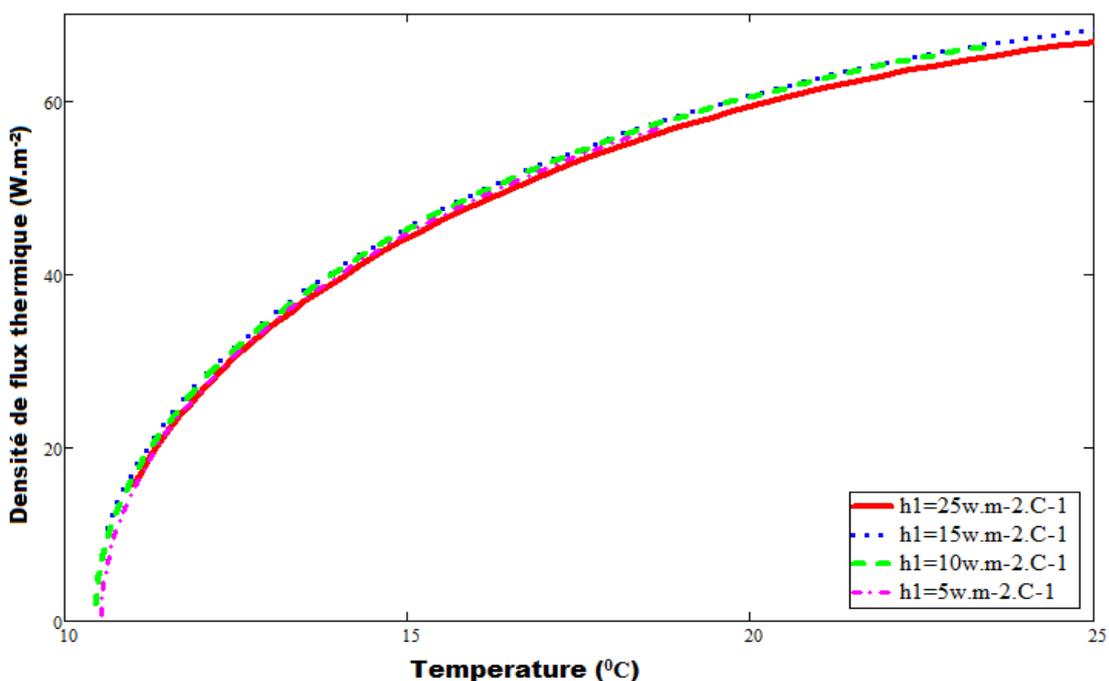


Figure 49: Evolution de la densité en fonction de la densité de la température pour différents du coefficient d'échange à la face avant $h_2=0.005W.m^{-2}.^0C^{-1}$ et $t=100s$

Sur la figure 49, nous avons une croissance du flux de chaleur en fonction de la température avec les différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant.

La caractéristique flux (Φ)-Température (T) nous permet de mettre en exergue l'existence d'une résistance au niveau du matériau filasse-plâtre.

CHAPITRE III : DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES THERMOPHYSIQUES DE LA FILASSE-PLÂTRE PAR ANALOGIE ÉLECTRIQUE- THERMIQUE

II.5 Evolution de la variation de température en fonction de la densité de flux de chaleur à travers le matériau filasse-plâtre :

Nous allons tracer la variation température en fonction de la densité de chaleur l'influence du coefficient d'échange à la face avant

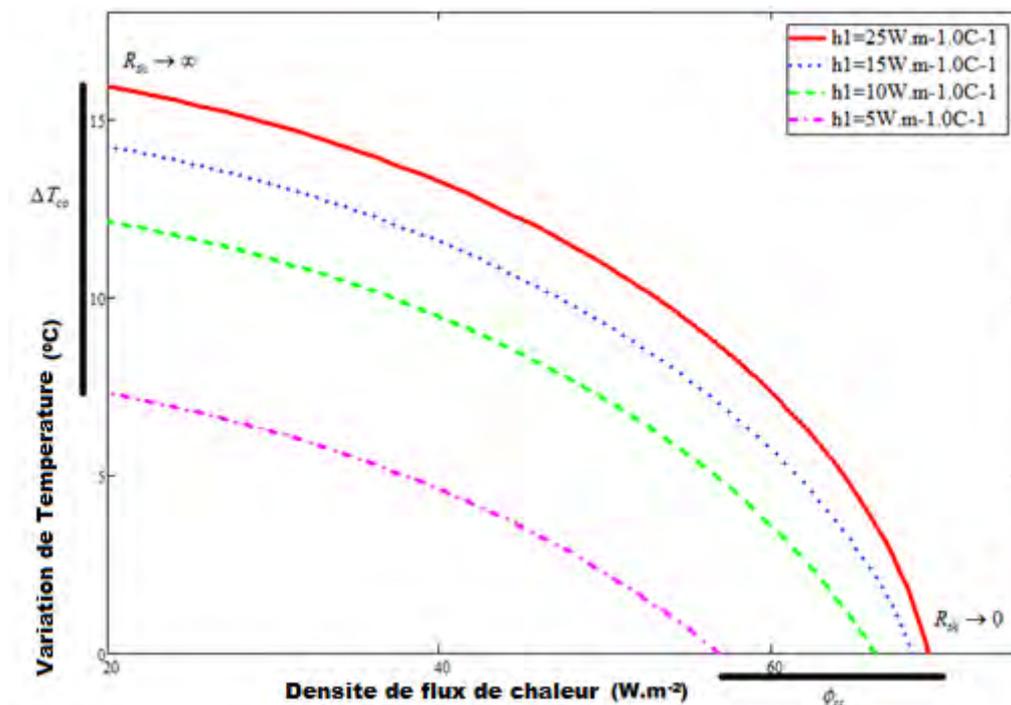


Figure 50: Variation de température en fonction de la densité de flux de chaleur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant h_1

Sur la figure 50, nous avons une décroissance de la variation de la température en fonction de la densité de flux de chaleur avec des courbures différentes. Cette décroissance est moins brutale sur la figure. Pour des faibles valeurs de la densité de flux de chaleur correspondent à des valeurs élevées de la variation de température. Au niveau du matériau la caractéristique flux (Φ)-Température (T) nous permet de mettre en exergue l'existence d'une résistance.

III 6. Etude de la Capacité Thermique d'un mur simple constitué de filasse-plâtre :

Nous pouvons définir la capacité thermique d'un matériau comme étant une grandeur

CHAPITRE III : DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES THERMOPHYSIQUES DE LA FILASSE-PLÂTRE PAR ANALOGIE ÉLECTRIQUE- THERMIQUE

permettant de quantifier la possibilité quand un corps absorbe ou restitue de l'énergie par échange thermique au cours d'une transformation pendant laquelle sa température varie.

Si nous parlons de la capacité nous automatique à l'inertie thermique qui est la capacité d'un matériau à accumuler de l'énergie thermique pour une masse donnée quand sa température augmente

III 6.1 Expression de la Capacité Thermique :

L'analogie électrique thermique nous permet de déterminer la capacité thermique [III.2]:

$$i \longrightarrow \phi \text{ et } \Delta v \longrightarrow \Delta T$$

L'expression de la capacité est donnée par :

$$C(x, h_1, h_2, t) = \frac{q}{\Delta V} \quad (\text{III.1})$$

La capacité thermique est exprimée en Farad (F).

Par analogie électrique thermique nous obtenons la formule de la capacité thermique suivante :

$$C(x, h_1, h_2, t) = \frac{\int_0^t \Phi(x, h_1, h_2, t) dt}{\Delta T(x, h_1, h_2, t)} \quad (\text{III.2})$$

Nous calculons l'intégrale qui est au numérateur :

$$\int_0^t \Phi dt = \int_0^t \lambda \cdot (T_i - T_a) \cdot \delta \theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot \left[\frac{\beta_n}{L} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) - \frac{h_1}{\lambda} \cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} dt \quad (\text{III.3})$$

Après intégration nous obtenons

$$\int_0^t \Phi dt = \frac{L^2}{\alpha(\beta_n^2 + \gamma)} \lambda \cdot (T_i - T_a) \cdot \delta \theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot \left[\frac{\beta_n}{L} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) - \frac{h_1}{\lambda} \cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot \left[e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} - 1 \right] \quad (\text{III.4})$$

$$T(0, h_1, h_2, t) = T_a + (T_i - T_a) \cdot \delta \theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} \quad (\text{III.5})$$

$$T(x, h_1, h_2, t) = T_a + (T_i - T_a) \cdot \delta \theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot \left[\cos\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} \quad (\text{III.6})$$

En régime dynamique transitoire, entre la face avant et une position de profondeur x du matériau, nous avons la différence de température :

CHAPITRE III : DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES THERMOPHYSIQUES DE LA FILASSE-PLÂTRE PAR ANALOGIE ÉLECTRIQUE- THERMIQUE

$$T(0, h_1, h_2, t) - T(x, h_1, h_2, t) = (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \left[1 - \left(\cos\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) \right) \right] \left[H_{1n}(0) + H_{2n}(0) \right] e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} \beta_n^2} \quad (\text{III.7})$$

$$\Delta T = T(0, h_1, h_2, t) - T(x, h_1, h_2, t) \quad (\text{III.8})$$

Maintenant nous obtenons l'expression finale de la capacité :

$$C(x, h_1, h_2, t) = \frac{\frac{L^2}{\alpha(\beta_n^2 + \gamma)} \cdot \lambda \cdot \sum_n a_n^2 \cdot \left[\frac{\beta_n}{L} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) - \frac{h_1}{\lambda} \cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \left[e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} \beta_n^2} - 1 \right]}{\sum_n a_n^2 \left[1 - \left(\cos\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) \right) \right] e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} \beta_n^2}} \quad (\text{III.9})$$

III 6.2 Evolution de la Capacité Thermique :

Dans cette étude nous allons tracer l'évolution de la capacité thermique en fonction de la profondeur, du temps et du coefficient d'échange à la face avant.

III 6.2.1 Evolution de la capacité thermique en fonction de la profondeur :

Nous allons tracer la capacité thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant pour voir le comportement du matériau en profondeur.

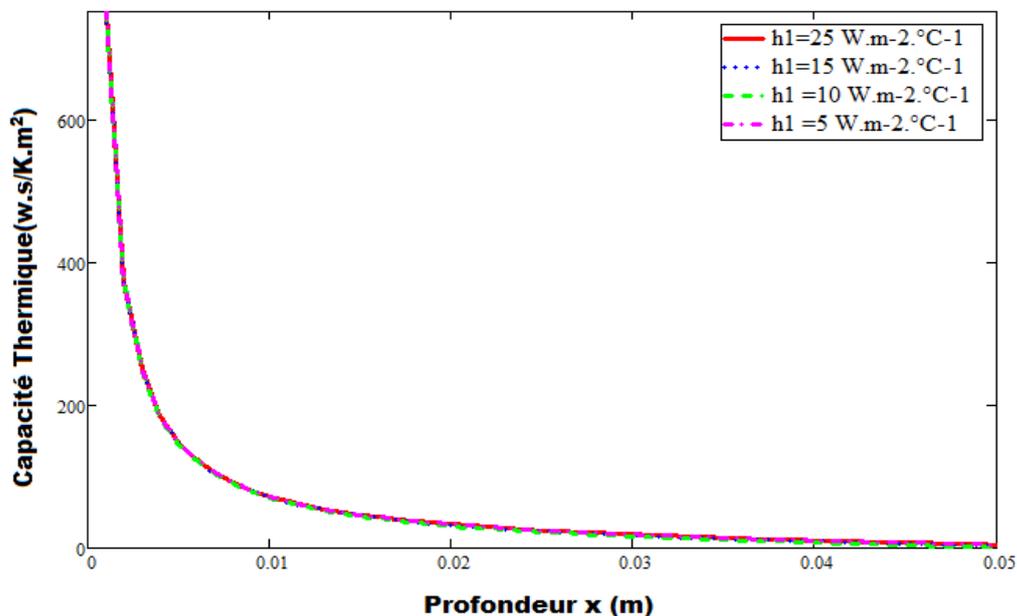


Figure 51: Evolution de la capacité thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant $h_2=0.05 \text{ W.m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, $t=100\text{s}$.

CHAPITRE III : DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES THERMOPHYSIQUES DE LA FILASSE-PLÂTRE PAR ANALOGIE ÉLECTRIQUE- THERMIQUE

Pour les faibles valeurs de la profondeur nous constatons que la capacité thermique est maximale. Elle commence à diminuer progressivement jusqu'à une certaine valeur minimale puis s'annule. Cette diminution est due à la dissipation de l'énergie thermique dans le matériau. Ce qui entraîne que le matériau a une bonne inertie thermique.

Nous allons tracer la capacité thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du temps.

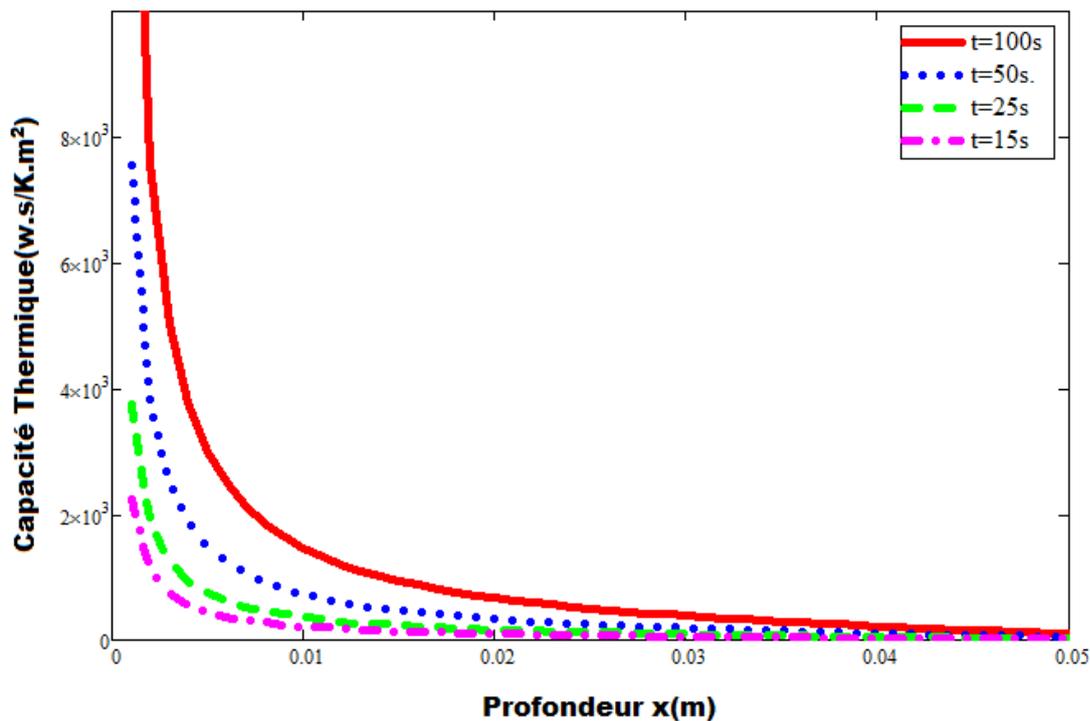


Figure 52: Evolution de la capacité thermique en fonction de la profondeur Sous l'influence du temps, $h_1=25W.m^{-2}.^0C^{-1}$ et $h_2=0.05W.m^{-2}.^0C^{-1}$

Nous remarquons pour les faibles valeurs de la profondeur, la capacité thermique est maximale et elle commence à diminuer jusqu'à une valeur nulle. Cette diminution est due à une dissipation de l'énergie. Ce qui montre que le matériau a la capacité de restituer de l'énergie thermique. Ce qui démontre aussi que le matériau a une bonne inertie thermique du matériau filasse-plâtre.

II 6.2.2 Evolution de la capacité thermique en fonction du temps :

Nous allons étudier l'évolution de la capacité thermique en fonction du temps sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant.

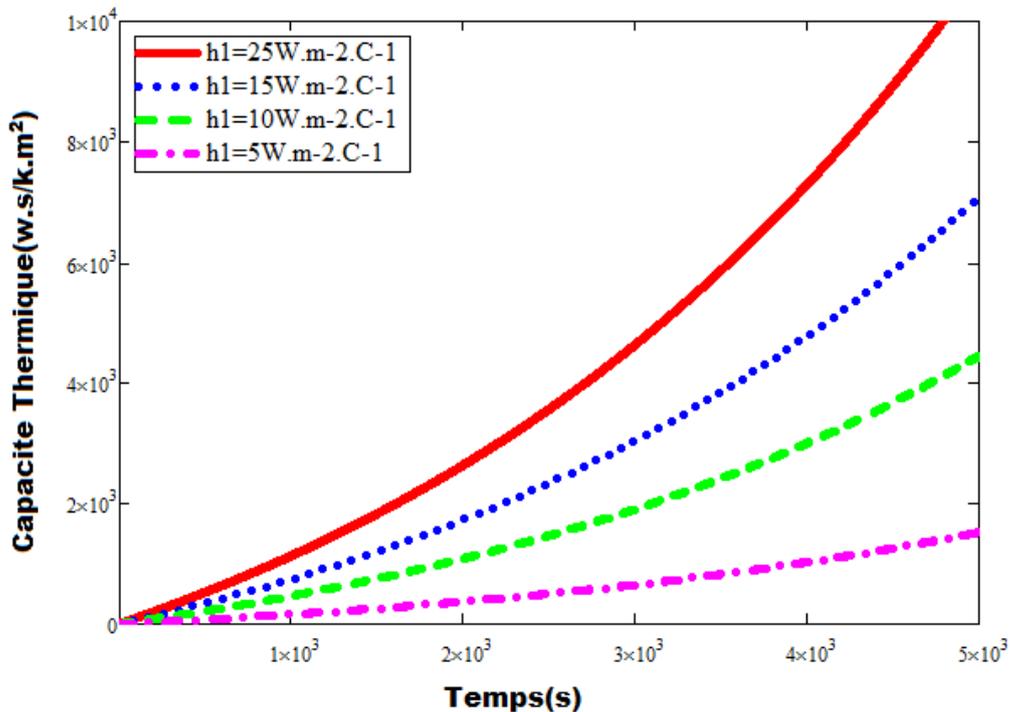


Figure 53: Evolution de la capacité thermique en fonction du temps sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant, $x=0.05\text{m}$, $h_2=0.05\text{W.m}^{-2}.\text{C}^{-1}$

Nous avons tracé la capacité thermique en fonction du temps sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant. Pour des faibles valeurs du temps la capacité est minimale et elle augmente progressivement au fur et à mesure.

Lorsque la capacité thermique augmente alors la profondeur du matériau filasse-plâtre diminue. Nous notons que le matériau a une bonne inertie thermique. Il est la capacité d'accumuler de l'énergie thermique.

II 6.3 Evolution de la capacité thermique en fonction du coefficient d'échange à la face avant

Nous allons étudier l'évolution de la capacité thermique en fonction du coefficient d'échange à la face avant sous l'influence de la profondeur.

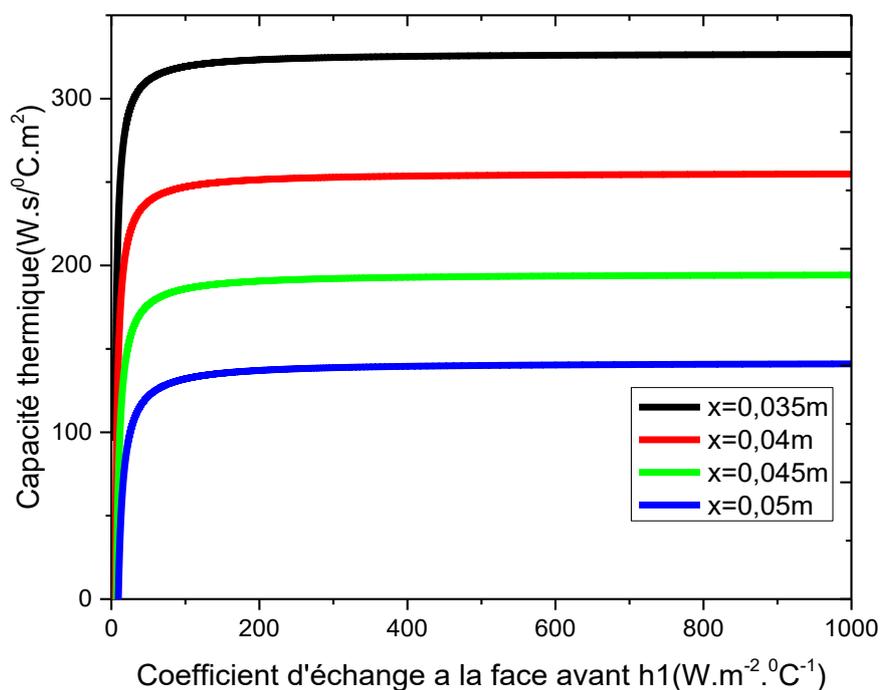


Figure 54 : Evolution de la capacité thermique R_{th} en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 , $h_2=0.05W.m^{-2}.°C^{-1}$ et $t=100s$

Nous avons tracé la capacité thermique C_{th} en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 sous l'influence de la profondeur du matériau filasse-plâtre.

Nous avons une brusque augmentation de la capacité thermique pour des faibles valeurs du coefficient d'échange à la face avant h_1 . Elle est constante à une certaine. Nous avons un emmagasinement d'énergie thermique ce qui correspond à une bonne inertie thermique. Alors nous avons atteint le régime permanent.

Conclusion :

Pour valoriser les matériaux locaux comme filasse-plâtre, kapok-plâtre il est indispensable de connaître les paramètres thermophysiques.

L'analogie électrique – thermique propose une étude du transfert de chaleur à travers le matériau filasse- plâtre à partir de la capacité thermique.

La caractéristique flux (Φ)-Température (T) nous permet de mettre en exergue l'existence d'une résistance au niveau du matériau filasse-plâtre.

**CHAPITRE IV : Etude de la Résistance
Thermique d'un matériau Filasse - plâtre**

Chapitre IV : Etude de la Résistance thermique du matériau filasse-plâtre

IV.1 Introduction :

La résistance thermique caractérise les phénomènes d'échanges de chaleur à la paroi du matériau (coefficients d'échange thermique, pulsation excitatrice) et de transfert de chaleur dans le matériau par conduction (conductivité thermique de l'isolant). [IV1]

Différents modèles d'étude du transfert thermique (milieu fini, milieu semi infini ou milieu fini) sont proposés pour la caractérisation de matériau. Des techniques de mesures permettent ainsi de déterminer des paramètres thermophysiques (conductivité thermique, effusivité thermique, coefficient de diffusivité thermique...). [IV2, IV3]

Nous proposons enfin, une étude sur la résistance thermique (énergie emmagasinée ou dissipée) dans le matériau en adoptant une analogie électrique – thermique [IV 4, IV 5].

IV.2 Calcul de la Résistance thermique R_{th}

Elle dépend du (λ) et de l'épaisseur du matériau. En isolant, le but recherché est de diminuer le flux de chaleur traversant une paroi. Plus la résistance au flux de chaleur offerte par un matériau d'une épaisseur donnée est élevée, plus le matériau est isolant.

$$R = \frac{L}{\lambda} \text{ (} ^\circ\text{C/ W.m}^{-2}\text{)}$$

Avec

L : l'épaisseur du matériau exprimée en mètre (m)

λ : La conductivité thermique ($\text{W.m}^{-2}.^\circ\text{C}^{-1}$)

$$\lambda = 0.15 \text{ W.m}^{-2}.^\circ\text{C}^{-1}$$

$$L = 0.05 \text{ m}$$

$$R = 0.33 \text{ } ^\circ\text{C/ W.m}^{-2}$$

IV 3. Expression de la Résistance Thermique R_{th}

L'introduction de la Résistance thermique R_{th} a permis de caractériser de manière succincte le transfert thermique à partir d'une analogie électrique thermique.

La résistance thermique exprime sa résistance au passage d'un flux de conduction thermique.

CHAPITRE IV : ETUDE DE LA RÉSISTANCE THERMIQUE DU MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

La résistance thermique R_{th} est donnée par l'expression suivante [IV 3] :

$$\Delta T = \frac{1}{S} \left[\frac{1}{h_1} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_2} \right] \cdot \Phi \quad (IV.1)$$

$$\Delta T = R_{th} \cdot \Phi \quad (IV.2)$$

Avec,

$$R_{th} = \frac{1}{S} \left[\frac{1}{h_1} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_2} \right] \quad (IV.3)$$

Avec

$$R_{cv1} = \frac{1}{h_1 S} : \text{La résistance thermique d'un mur plan à la face avant.}$$

$R_{cd} = \frac{L}{\lambda S}$: apparaît comme la résistance thermique d'un mur plan d'épaisseur L , de conductivité thermique λ et de surface latérale S .

$$R_{cv2} = \frac{1}{h_2 S} : \text{La résistance thermique d'un mur plan à la face arrière.}$$

La surface $S=1\text{m}^2$;

$R_{th} = \left[\frac{1}{h_1} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_2} \right]$: L'expression de la résistance thermique d'un mur soumis à des sollicitations climatiques extérieures en régime permanent.

$$R_{th} = R_{cv1} + R_{cd} + R_{cv2}$$

IV 4. Coefficient global d'échange thermique K du matériau filasse-plâtre

Le transfert thermique à travers le matériau est caractérisé par le coefficient global d'échange thermique. Le coefficient global d'échange thermique K dépend des coefficients d'échange thermique, de la conductivité thermique λ , etc.

Par analogie électrique-thermique l'expression du coefficient global d'échange thermique K est donnée ;

$$\frac{1}{K} = R_{th} = \frac{1}{S} \left[\frac{1}{h_1} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_2} \right] \quad (IV.4)$$

$$K = \frac{1}{R_{th}} \quad (IV.5)$$

CHAPITRE IV : ETUDE DE LA RÉSISTANCE THERMIQUE DU MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

L'influence du coefficient d'échange thermique montre la nécessité de maîtriser l'environnement extérieur du matériau. [IV. 2]

L'expression de la Température du matériau filasse-plâtre :

$$T(x, h_1, h_2, t) = T_a + (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot \left[\cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} \quad (\text{IV.6})$$

Pour $x = 0$, c'est-à-dire à la face avant du matériau nous obtenons la température suivante :

$$T(0, h_1, h_2, t) = T_a + (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} \quad (\text{IV.7})$$

L'expression de la densité de flux de chaleur est donnée par :

$$\Phi(x, h_1, h_2, t) = -\lambda(T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot \left[\frac{\beta_n}{L} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) - \frac{h_1}{\lambda} \cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} \quad (\text{IV.8})$$

Nous obtenons l'expression de la variation de température :

$$T(0, h_1, h_2, t) - T(x, h_1, h_2, t) = (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} \cdot \left\{ 1 - \left[\cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \right\} \quad (\text{IV.9})$$

$$\Delta T(x, h_1, h_2, t) = T(0, h_1, h_2, t) - T(x, h_1, h_2, t) \quad (\text{IV.10})$$

$$\Delta T(x, h_1, h_2, t) = (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} \cdot \left\{ 1 - \left[\cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \right\} \quad (\text{IV.11})$$

La Résistance thermique qui est le rapport entre la variation de la température et la densité de flux de chaleur, est donnée par la relation [IV.6]. La résistance thermique R_{th} d'un matériau définit en régime transitoire par la relation : (III.10).

$$R_{th}(x, h_1, h_2, t) = \frac{\Delta T(x, h_1, h_2, t)}{\Phi(x, h_1, h_2, t)}$$

(IV.12)

$\Delta T(x, h_1, h_2, t)$ étant l'écart de température entre les deux faces du matériau filasse-plâtre.

$\Phi(x, h_1, h_2, t)$ le flux de chaleur qui traverse le matériau filasse-plâtre.

Donc nous obtenons l'expression de la Résistance thermique en fonction des différents paramètres thermo-physique.

CHAPITRE IV : ETUDE DE LA RÉSISTANCE THERMIQUE DU MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

$$R_{th}(x, h_1, h_2, t) = \frac{T(0, h_1, h_2, t) - T(x, h_1, h_2, t)}{\Phi(x, h_1, h_2, t)} \quad (IV.13)$$

D'après la relation (!) nous obtenons l'expression de la Résistance thermique du matériau filasse-plâtre :

$$R_{th}(x, h_1, h_2, t) = \frac{1 - \left[\cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right]}{\left[-\frac{\lambda \beta_n}{L} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + h_1 \cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right]} \quad (IV.14)$$

Avec cette expression nous allons étudier l'évolution de la résistance thermique en fonction des différents paramètres thermophysiques.

Plus la résistance thermique R_{th} est grand, plus l'isolation n'est performante.

IV 5. Evolution de la Résistance thermique en fonction de la profondeur

Dans cette partie nous traçons la résistance thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant et aussi en fonction du coefficient d'échange sous l'influence de la profondeur.

IV 5.1. Evolution de la Résistance Thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant

Pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant de la Résistance thermique, nous présentons, à la figure 54, les courbes de la Résistance thermique en fonction de la profondeur du matériau plan filasse-plâtre.

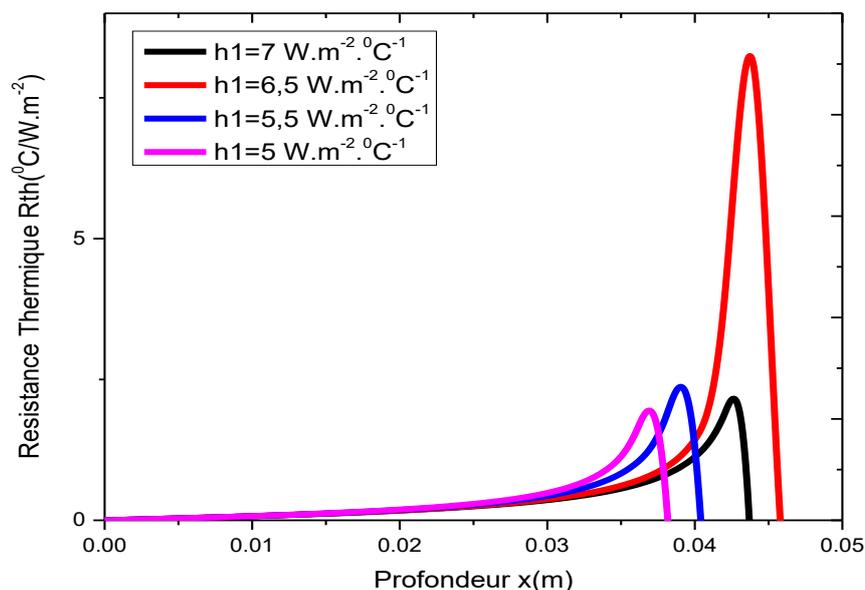


Figure 55: Evolution de la Résistance thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant, avec $h_2=0.05 W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$ et $t=100s$

Dans ce profil nous avons tracé la résistance thermique en fonction de la profondeur pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face avant. Nous constatons pour les faibles valeurs de la profondeur, la résistance thermique s'annule jusqu'à une certaine valeur. La résistance thermique commence à augmenter à partir de $x = 0.03m$. Au fur et à mesure qu'on s'approche les grandes valeurs de la profondeur, la résistance thermique augmente progressivement jusqu'à atteindre un maximum c'est-à-dire le gradient positif ($\frac{dR_{th}}{dx} > 0$). Cette augmentation signifie l'emmagasinement de la chaleur. Ce maximum correspond au gradient nul ($\frac{dR_{th}}{dx} = 0$) c'est-à-dire le stockage de la chaleur. Et enfin nous remarquons une diminution de la résistance thermique correspond au gradient négatif ($\frac{dR_{th}}{dx} < 0$). Cette diminution correspond à la dissipation de la chaleur dans le matériau filasse-plâtre. L'augmentation de la résistance thermique traduit une perte de plus en plus importante dans le matériau correspondant ainsi à une caractéristique favorable de l'isolant thermique. [IV. 1]. A

CHAPITRE IV : ETUDE DE LA RÉSISTANCE THERMIQUE DU MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

partir de l'allure de chaque courbe de ces deux figures, on constate qu'après le maximum de la résistance thermique. Après elle commence à diminuer brutalement.

Tableau 5 : Valeurs de la profondeur pour chaque maximum

$h_1 (W.m^{-2}.C^{-1})$	6.5	7	6	5
$x(m)$	0.045	0.043	0.04	0.037

Nous remarquons lorsque la profondeur augmente le maximum se déplace en profondeur.

IV 5.2. Evolution de la Résistance Thermique Relative en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant

Nous allons tracer pour chaque courbe de la résistance thermique celles de la Résistance Thermique Relative.

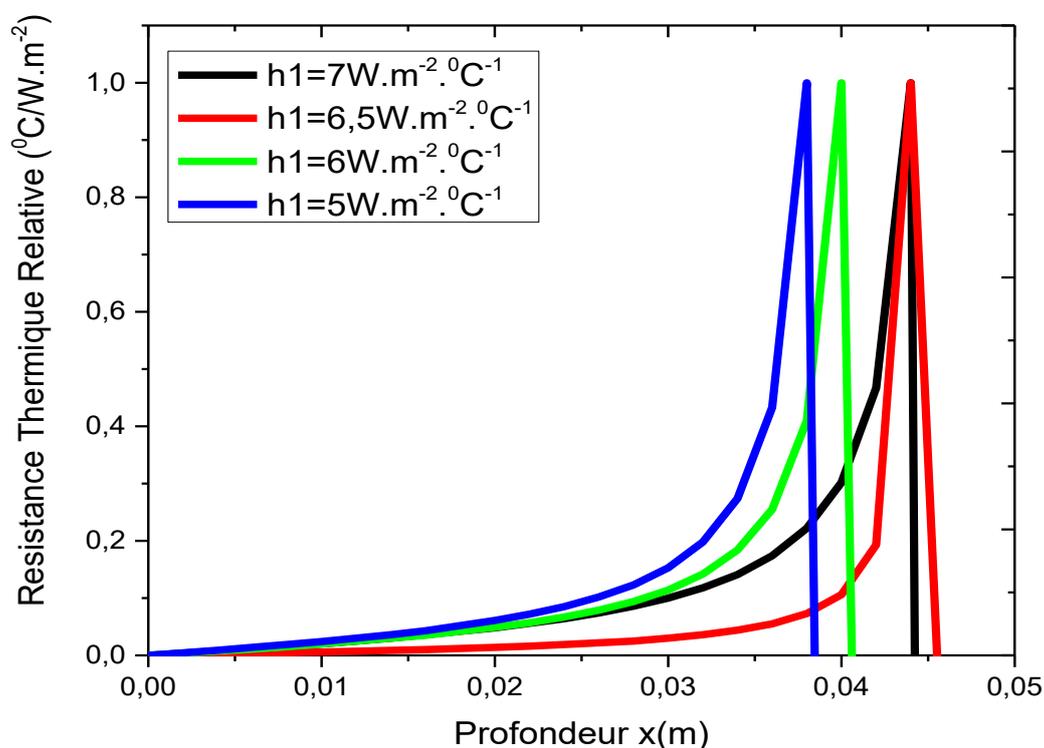


Figure 56: Evolution de la Résistance thermique Relative en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant, $h_2=0.05W.m^{-2}.C^{-1}$ et $t=100s$

CHAPITRE IV : ETUDE DE LA RÉSISTANCE THERMIQUE DU MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Pour voir le déplacement de la chaleur dans le matériau filasse-plâtre.

A partir de l'allure de chaque courbe de la figure, nous constatons après le maximum de la résistance thermique relative, on constate qu'il y a une chute de résistance thermique à partir $1^{\circ}\text{C}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Cela est dû à la capacité du matériau à emmagasiner de la chaleur et confirme que le filasse plâtre est un bon isolant thermique.

Tableau 6 : Valeurs de la profondeur pour chaque maximum

$h_1(\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{C}^{-1})$	7	6.5	6	5
$x(\text{m})$	0.045	0.045	0.04	0.037

IV 5.2. Evolution de la Résistance en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face arrière :

Pour différentes valeurs du coefficient d'échange à la face arrière de la Résistance thermique, nous présentons, à la figure 3, les courbes de la Résistance thermique en fonction de la profondeur du matériau plan filasse-plâtre.

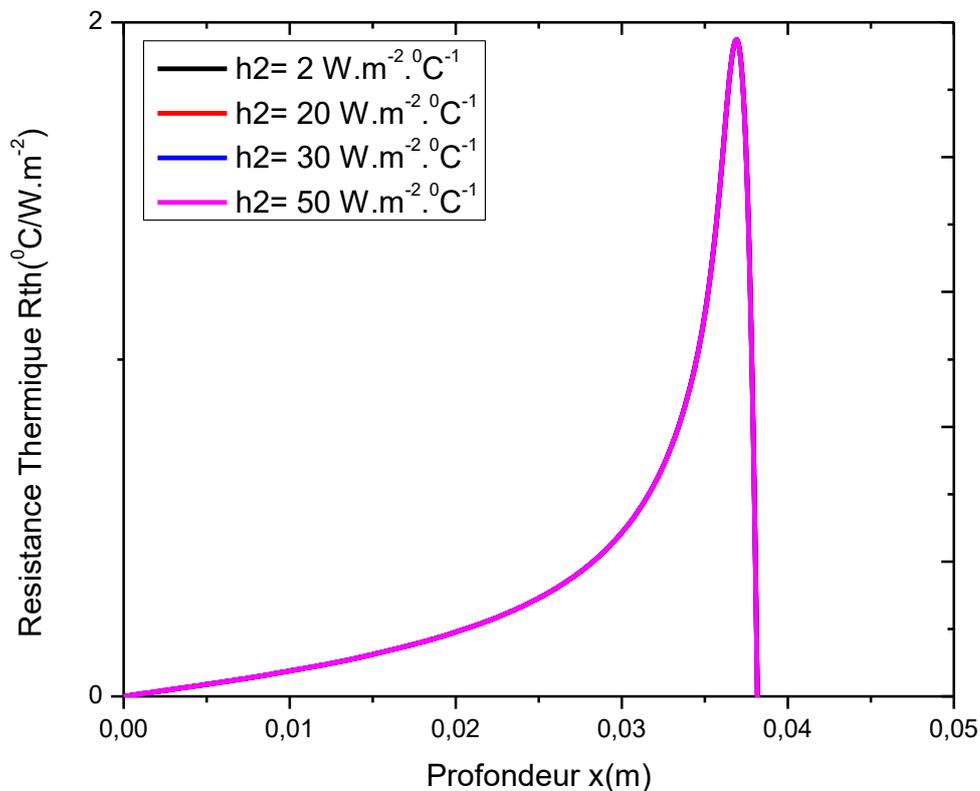


Figure 57: Evolution de la Résistance thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face arrière

Dans ce profil nous avons tracé la résistance thermique en fonction de la profondeur sous l'influence du coefficient d'échange à la face avant. Nous avons une augmentation progressivement de la résistance thermique pour les faibles valeurs de la profondeur jusqu'à atteindre un maximum de $R_{th} = 1.9 W.m / ^{\circ} C$ pour $x = 0.035 m$. Après nous obtenons une brusque diminution de la résistance thermique.

IV 5.3 Evolution de la Résistance en fonction du coefficient d'échange a la face avant:

Nous avons trace la résistance thermique en fonction du coefficient d'échange a la face avant sous l'influence de la profondeur

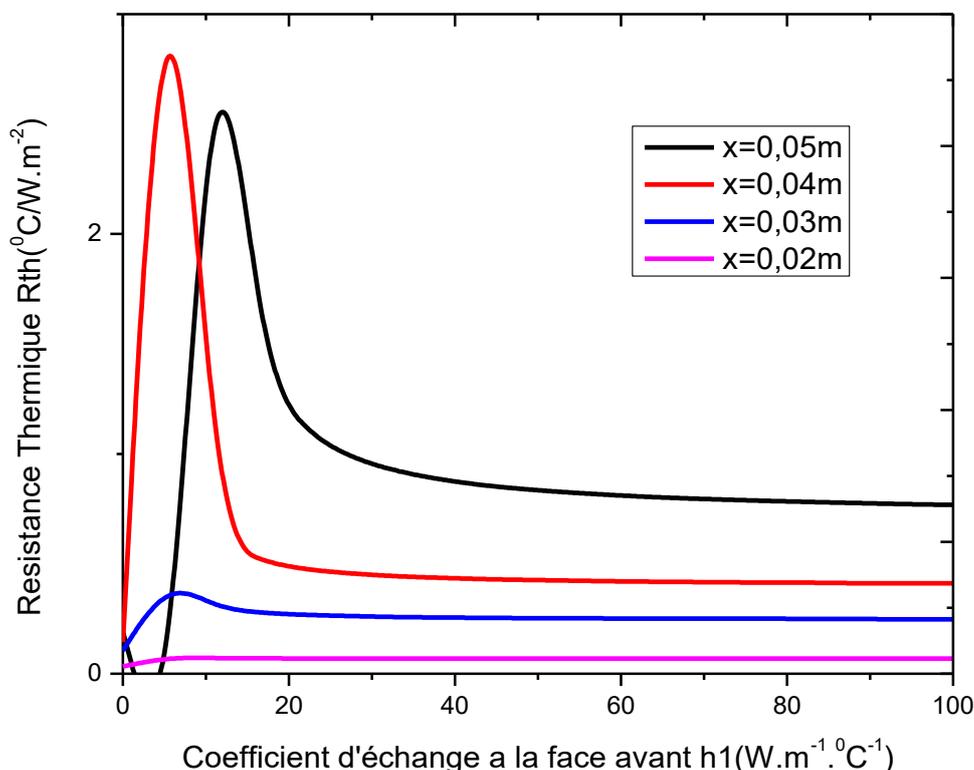


Figure 58: Evolution de la résistance thermique en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 , avec $h_2=0.05W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$ et $t=10s$.

Nous avons tracé la résistance thermique en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 sous l'influence de la profondeur.

Pour les faibles valeurs du coefficient d'échange à la face avant h_1 nous constatons que la résistance thermique augmente. Ce qui correspond à un gradient positif c'est-à-dire l'emmagasinement de la chaleur dans le matériau. A $10^{\circ}C/W.m^2$ la résistance thermique est maximale. Ce qui correspond à un stockage de la chaleur.

A partir de $10^{\circ}C/W.m^2$ nous remarquons que la résistance thermique diminue. Ce qui correspond à un gradient négatif c'est-à-dire la dissipation de la chaleur dans le matériau filasse-plâtre.

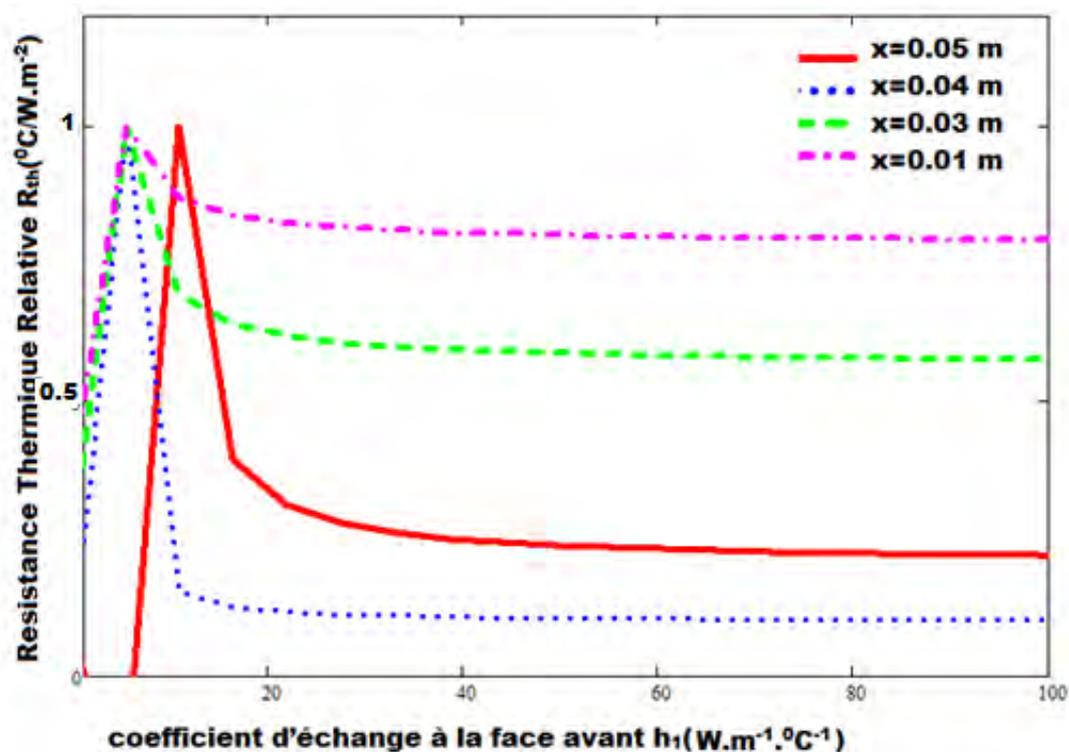


Figure 59: Evolution de la Résistance thermique Relative en fonction du coefficient d'échange à la face avant sous l'influence de la profondeur

Nous avons tracé la résistance thermique relative en fonction du coefficient d'échange à la face avant h_1 sous l'influence de la profondeur.

Pour les faibles valeurs du coefficient d'échange à la face avant h_1 nous constatons que la résistance thermique augmente. Ce qui correspond à un gradient positif c'est-à-dire l'emménagement de la chaleur dans le matériau. A $1^{\circ}C/W.m^2$ la résistance thermique est maximale. Ce qui correspond à un stockage de la chaleur.

A partir de $1^{\circ}C/W.m^2$ nous remarquons que la résistance thermique diminue. Ce qui correspond à un gradient négatif c'est-à-dire la dissipation de la chaleur dans le matériau filasse-plâtre.

CHAPITRE IV : ETUDE DE LA RÉSISTANCE THERMIQUE DU MATÉRIAU FILASSE-PLÂTRE

Conclusion :

L'étude du transfert thermique en coordonnées cartésiennes à une dimension a été proposée pour la caractérisation du matériau filasse-plâtre.

A partir du modèle mathématique, les courbes d'évolution de la résistance thermique du matériau, ont permis de montrer les zones de fréquences très importantes entraînant un transfert de chaleur. Lorsque la profondeur augmente la résistance thermique diminue.

**Conclusion générale
et Perspectives**

Conclusion générale et Perspectives

Ce travail avait pour objectif de déterminer le rôle des fibres naturelles, la caractérisation des phénomènes d'emménagement d'énergie thermiques et d'inertie d'un matériau filasse-plâtre en régime transitoire.

Cette étude du transfert thermique a été subdivisée en deux grandes parties.

Dans la première partie nous avons faite une étude bibliographie qui est composée de deux sous parties :

Dans la première sous partie nous avons traité les différentes techniques de mesures des grandeurs thermiques caractéristiques du matériau constituées des fibres naturelles et des matérielles de construction (filasse-plâtre, kapok-plâtre,...etc.).

Ces méthodes nous permettent de déterminer et de calculer la diffusivité thermique, la conductivité thermique, les coefficients d'échanges thermiques de différentes sortes de matériau.

Dans la deuxième sous partie nous avons fait une présentation de la filasse c'est-à-dire son origine, ses caractéristiques et son utilisation et aussi celle du plâtre.

Dans le deuxième chapitre nous développons une nouvelle méthode de caractérisation thermique du matériau filasse-plâtre en traçant la température et la densité de flux de chaleur pour différents paramètres.

La résolution de l'équation du transfert de chaleur a une dimension à travers le matériau filasse-plâtre a permis de déterminer l'expression de la température et de la densité de flux au premier chapitre.

L'évolution de la température et de la densité de flux de chaleur en fonction de la profondeur du matériau filasse-plâtre, du coefficient d'échange convectif h_1 et la diffusivité thermique sont été réalisées.

Le coefficient échange à la face avant à plus d'influence que celui de la face arrière.

Dans le troisième chapitre nous appliquons cette nouvelle détermination des paramètres thermophysiques de la filasse-plâtre par analogie électrique-thermique.

Dans les quatre chapitres nous avons réalisé la résistance thermique en fonctions différentes paramètres thermophysiques.

En fin nous pouvons élargir notre travail en utilisant comme perspectives.

Le régime dynamique fréquentiel :

- la filasse seule, le lin ou le kapok-plâtre,
- En faisant l'étude à deux dimensions ou à trois dimensions,

Le régime dynamique transitoire

- la filasse seule, le lin ou le kapok-plâtre,
- le kenaf

Références

Références

Références de l'introduction generale :

- [1] I. Diagne, M. Dieng, M. L. Sow , A. Wereme, F. Niang – G. Sissoko, « Estimation de la couche d'isolation thermique efficace d'un matériau Kapok-plâtre en régime dynamique fréquentiel », CIFEM2010, Edition Université de Rennes 1, pp 394-399, 2010.
- [2] Seydou FAYE, Mohamed Sidya OULD BRAHIM, Youssou TRAORE, Aliou DIOUF, Moussa DIENG, Abdoulaye Korka DIALLO, Issa DIAGNE, Hawa LY DIALLO, Gregoire SISSOKO « Study by Analytical Method of Transient Regime of Thermal Transfer Through a Insulation Material Tow-Plaster - Influence Coefficient of Thermal Exchange” IPASJ International Journal of Computer Science (IJCS) Volume 4, Issue 7, pp 1-9, July 2016.
- [3] Harouna Bal, Yves Jannot, Salif Gaye, Frank Demeurie, “Measurement and modelisation of the thermal conductivity of a wet composite porous medium: Laterite based bricks with millet waste additive”, Construction and Building Materials 41, pp 586–593, 2013.
- [4] M.L. Voumbo, A. Wereme and G. Sissoko, “Characterization of Local Insulators: Sawdust and Wool of Kapok”, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 2(2): pp 138-142, 2010.
- [5] Jannot Y., Meukam P., «Simplified estimation method for the determination of the thermal effusivity using a low cost hot strip”, Measurement Science and Technology, vol.15, 2004.
- [6] I. Diagne, B. Fleur, M. O. Sidya, S. Gaye, G. Sissoko, « Détermination de paramètres thermiques d'un matériau en Régime dynamique fréquentiel à partir de diagrammes de Bode et de représentations de nyquist », Journal des Sciences, Vol. 8, N° 2, pp 88 – 98, 2008.
- [7] Marechal J.C. et Devisme J.M. "Diffusivite thermique des materiaux de construction: Methode du signal periodique". Annales I.T.B.T.P n° 357, Janvier 1978.
- [8] Marechal J.C. et Devisme J.M. "Métrologie thermique des matériaux isolants par mesure du flux en régime transitoire. Matériaux et constructions", vol.7 N° 41, 1974.
- [9] MERICQ (J.M.). - "Détermination de la diffusivité des matériaux conducteurs par analyse en réponse d'un échantillon à une sollicitation périodique". Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université Paris 6, 1976.
- [10] A. Diouf, I. Diagne, M.S. Oul Brahim, M.L. Sow, F. Niang and G. Sissoko “

Study in Cylindrical Coordinates of the Heat Transfer through a Two Material-Thermal Impedance” Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 5(22): 5159-5163, 2013.

[11] Noboru Kagawa, Atsushi Matsuguchi, Kenichi Yamaya, Koichi Watanabe “Measurements of isobaric heat capacity of R32” international journal of refrigeration, N 35, pp 1014-1020, 2012.

[12] Dong, Shuo Li, Yang Yao, Yiqiang Jiang, Yu Tian , Hao Tian “Defrosting performances of a multi-split air source heat pump with phase change thermal storage” international journal of refrigeration, N 55, pp 49-59, 2015.

[13] L.J. Fischer, S. von Arx, U. Wechsler, S. Züst, J. Worlitschek, “Phase change dispersion properties, modeling apparent heat capacity” international journal of refrigeration, N 74, pp 238-251, 2017.

[14] TAN Changhua and XU Mingzhen “Determination of minority carrier bulk generation lifetime and surface generation velocity by the CCWT method “ Chin .J. Semicond . 6(2), pp 185-189, March 1985.

[15] Guo-cai Dai, Qing-hai Miao, Zhong-zao Ren, Zhen-xun Zheng and Hong-lei Ma “Transient behaviour of short-circuit current and open-circuit voltage in a-Si: H solar cells”, solar Cells, 31, pp 279-281, 1991.

Références du chapitre I :

[I. 1] Thèse Aliou Diouf

« étude transfert de chaleur en régime dynamique fréquentiel dans un matériau cylindrique : détermination des paramètres thermophysiques de la filasse » 25/01/ 2014.

[I. 2] « Filasse de lin pour étancher des raccords filetés en métal ». 6150110 - Griffon Filasse Poupée 200 g. Bison International B.V. - P.O. Box 160 - NL 4460 AD Goes. www.griffon.eu.

[I.3] Eve S., Gomina M., Gmouh A., Samdi A., Moussa R., Orange G., J. Eur. Ceram. Soc., 22 pp 2269-2275, 2002.

[I.4] Joshi R., Thomas J., Adam R., Journal of Materials in Civil Engineering, 4, 212-225, 1992.

[I.5] Ali M.A., Grimer F.J., J. Mater. Sci., 4 (1969), 389-395.

[I.6] Hernández-Olivares F., Oteiza I., De Villanueva L., Fire and Materials, 19 (1994), 77-80.

- [I.7] Sumathy C.T., Dharakumar M., Saroja Devi M., Saccubai S., J. Appl. Polym. Sci., 63 (1997), 1251-1257.
- [I.8] Guozhong L., Yanzhen Y., Zhongjian Z., Jianquan L., Changchun L., Cem. Concr. Res., 33 (2003), 43-46.
- [I.9] Hernández-Olivares F., Oteiza I., De Villanueva L., Composite Structures, 22, 3(1992) 123-137.
- [I.10] Gmouh A., Eve S., Samdi A., Moussa R., Hamel J., Gomina M., Materials Science and Engineering A, 352 (2003) 325-332.
- [I.11] J.C. Damfeu, P. Meukam, Y. Jannot, « Modélisation et mesure des propriétés thermiques d'isolation fibres végétales par la méthode de la plaque chaude asymétrique et radiale méthode des flux », Thermochemica Acta 630, pp : 64–77, 2016.
- [I.12] F.R. De Hoog, A improved method for numerical inversion of Laplace transforms, Soc. Ind. Appl. Math. 3 (1982) 357–366.
- [I.13] G. Sissoko, M. Adj, D. Azilinson, V. Sambou, A. Wereme, « caractérisation par phénomènes thermiques transitoires d'une dalle en béton récupératrice d'énergie solaire », Journal des Sciences .Vol. 1, N° 2 (2001) 36-46.
- [I.14] Legrand O., Vignon J.M., Point R. et Brun M. - Etude des transferts thermiques locaux et instantanés dans la chambre de combustion d'un moteur diesel en régime transitoire. Revue Générale de Thermique. Sept 1995, tome 34-n°405, p. 557-565.
- [I.15] Reinhard H. - Equations aux dérivées partielles : fondements et applications. Dunod Université, 1987.
- [I.16] Bah A. B. B. « Caractérisation de matériaux par phénomènes thermiques transitoires : Application à une dalle en béton récupératrice d'énergie solaire ». Thèse de Docteur-Ingénieur, UCAD de Dakar, 1996.
- [I.17] M.L. Voumbo, A. Wereme and G. Sissoko, "Characterization of Local Insulators: Sawdust and Wool of Kapok", Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 2(2): 138-142, 2010.
- [I.18] Goldstein, R.J., E.R.G. Eckert, W.E. Ibele, S.V. Patankar, T.W. Simon, T.H. Kuehn, P.J. Strykowski and J.V.R. Heberlein, 2005. Heat transfer - a review of 2002 literature, Int. J. Heat Mass Tran., 48(5): 819- 927. Murdocco.
- [I.19] M. S. Ould Brahim, S.Tamba, M.Sarr, A. Diene, I. Diagne, F. Niang, G. Sissoko, « Caractérisation d'un matériau isolant thermique filasse-plâtre à partir de l'impédance

thermique en régime dynamique fréquentiel », Journal des Sciences, Vol. 10, N° 3, pp 46 – 54, 2010.

[I.20] M. L. Voumbo, « Contribution à l'étude des caractéristiques thermophysiques des matériaux locaux: application au kapok », Thèse de Doctorat d'état, FST/UCAD, Février 2008, Sénégal.

[I.21]. Y. Jannot , A. Degiovanni, G. Payet, «Thermal conductivity measurement of insulating materials with a three layers device» International Journal of Heat and Mass Transfer 52 (2009), 1105–1111 ,Vol.7, N°3, pp. 48 -52 , 2007.

[I.22] J.C Marechal and J.M. Devisme, „Diffusivité Thermique des Matériaux de Construction:

Méthode du Signal Périodique“, Annales I.T.B.T.P, N°357, Janvier 1978.

[I.23] TAN Changhua and XU Mingzhen “Determination of minority carrier bulk generation lifetime and surface generation velocity by the CCWT method “ Chin .J. Semicond . 6(2), 185-189 (March 1985).

[I.24] Kenawy S.H., Darweesh H.H., Radwan M.M., Ind. Ceram., 22, 2 (2002), 97-101.

[I.25] Coquard P., Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université de Grenoble (1992).

Références du chapitre II

[II.1] Issa Diagne, Moussa Dieng, Mamadou L. Sow Alhadi Wereme b, Fadel Niang, Grégoire Sissoko « Transfert de chaleur en régime dynamique fréquentiel Dans un matériau a trois dimensions : étude de l'impédance Dynamique équivalente du matériau kapok » CIFEM 2010 – ART-4-134.

[II.2] Marechal J.C. & Devisme J.M, « Diffusivité thermique des matériaux de construction : Méthode du signal périodique », Annales I.T.B.T.P n° 357, Janvier 1978.

[II.3] REINHARD (H.), « Equations aux dérivées partielles : fondements et applications », Dunod Université, 1987.

[II.4] ANDRE (A.), « Compléments de mathématiques Massons 6ème édition 1982 ».

[II.5] A. Bejan, “The boundary layer regime in a porous layer with uniform heat flux from side,”

International Journal of Heat Mass Transfer, vol. 26, N° 9, pp. 1339-1346, 1983

[II.6] Voumbo, M. L., A. Wareme and G. Sissoko, “Characterization of Local Insulators: Sawdust and Wool of Kapok,” Res.J. Appl. Sci. Eng. Technol. 2(2): 138-142, 2010.

- [II.7] Ould Brahim, M.S., I. Diagne, S. Tamba, F. Niang and G. Sissoko, "Characterization of the minimum effective layer of thermal insulation material tow-plaster from the method of thermal impedance," Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol., 3(4): 337-343, 2011.
- [II.8] M. Dieng, I. Diagne, B. Fleur, A. Kane, M.L. Sow, F. Niang and G. Sissoko, "Study of Heat Transfer in a Kapok Material from the Convective Heat Transfer Coefficient and the Excitation Pulse of Solicitations External Climatic," Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 5(6): 1959-1962, 2013.
- [II.9] J. Fourier, Théorie analytique de la chaleur, Editons Jacques Gabay, 2004.
- [II.10] A. DIENG, L. Ould HABIBOULAHY, A. S. MAÏGA, A. DIAO et G. SISSOKO, Impedance spectroscopy method applied to electrical parametres: determination on bifacial silicom solar cell under magnetic field , Journal des Sciences, 2007, Vol. 7, no 3, PP. 48-52.
- [II.9] G. Goudet, Traité d'électricité, Editions Masson et C⁺, Paris 1975.
- [II.10] A. Diouf, I. Diagne, M. Dieng, M.S.Ould Brahim, A. Wereme, G. Sissoko, « Transfert de chaleur en regime dynamique frequentiel dans unMateriau cylindrique : etude de l'impedance dynamique equivalente de la Filasse ». J. Sci.Vol. 10, N° 1, 23 – 33, 2010.
- [II.11] I. Diagne, B. Fleur, M. O. Sidya, S. Gaye, G. Sissoko, « détermination de paramètres thermiques d'un matériau en Régime dynamique fréquentiel à partir de diagrammes de Bode et de représentations de nyquist » J. Sci.Vol. 8, N°: 2, pp : 88 – 98, 2008.

Références du chapitre III:

- [III.1] Dahli, M. and R. Toubal, "Thermal insulation material made from household waste and olive", Rev. Renew. Energ. 13(2): 339-346. 2010.
- [III.2] Abdoulaye Korika Diallo, Makinta Boukar, Mamadou Babacar Ndiaye, Alassane Diene, Paul Demba, Issa Diagne, Mohamed Sidya Ould Brahim and Grégoire Sissoko "Study of the Equivalent Electrical Capacity of a Thermal Insulating Kapok-plaster Material in Frequency Dynamic Regime Established" Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 8(20): pp 2141-2145, 2014.
- [III.3] P. Meukam, Y. Jannot, A. Noumowe and T.C Kofane
" Thermo physical characteristics of economical building materials", Construction and Building Materrials, Volume 18, issue 6, July 2004.

Références du chapitre IV :

- [IV.1] M. S. Ould Brahim, S.Tamba, M.Sarr, A. Diène, I. Diagne, F. Niang, G. Sissoko : « caractérisation d'un matériau isolant thermique filasse-plâtre à partir de l'impédance thermique en régime dynamique fréquentiel » Journal des Sciences, Volume 10, N° 3, pp 46 – 54, 2010.
- [IV.2] A. Diouf , I. Diagne¹, M. Dieng¹, M.S.Ould Brahim, A. Wereme², G. Sissoko « Transfert de chaleur en régime dynamique fréquentiel dans un matériau cylindrique: étude de l'impédance dynamique équivalente de la filasse » Journal des . Sciences.Vol. 10, N° 1 (2010) 23 – 33.
- [IV.2] Y Jannot., P Meukam " Simplified estimation method for the determination of the thermal effusivity using a low cost hot strip",., Measurement Science and Technology, vol.15, 2004.
- [IV.3] J.C Marechal. & J.M. Devisme "Diffusivité thermique des matériaux de construction: Méthode du signal périodique". Annales I.T.B.T.P n° 357, Janvier 1978.
- [IV.4] Issa Diagne, Moussa Dieng, Mamadou L. Sow, Alhadi Wereme, Fadel Niang, Grégoire Sissoko « Estimation de la couche d'isolation thermique efficace d'un matériau kapok-plâtre en régime dynamique fréquentiel » Cifem2010 – ART-5-135, pp 394 – 399, 2010.
- [IV.5] A. Dieng, L. Ould Habiboulahi, A. S Maïga, A. Diao, G. Sissoko, « Impedance spectroscopy method applied to electrical parameters determination on bifacial silicon solar cell under magnetic field » Journal des sciences, volume 7, N° 3 pp 48-52 (2007).
- [IV.6] Jean-Marie Devisme *, Thierry Langlet, Omar Douzane, Jean-Marc Roucoult, Michèle Quéneudec, « Étude théorique et expérimentale de fluxmètres à « gradient transversal » pour la thermique du bâtiment » Int. J. Therm. Sci. 40, 205–215, 2001.

ANNEXES MATHÉMATIQUES

Annexes Mathématiques

II.2.2 Equation de la chaleur a une dimension

La quantité de chaleur à travers une paroi est donnée par la loi de Fourier, dans un milieu isotrope [9]

$$\vec{\Phi} = \vec{J} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad}T}(x, h_1, h_2, t)$$

Avec,

$\vec{\Phi}$: est le vecteur densité surfacique de flux thermique.

L'équation de la chaleur dans un système a une dimension est donnée par :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \Delta T + P + \vec{\nabla} \lambda (\vec{\nabla} T) \quad (1)$$

Dans notre étude la conductivité est constante : $\vec{\nabla} \lambda (\vec{\nabla} T) = 0$

Il n y a pas de source et de puits de chaleur interne on a $P_p = 0$ [10], [11].

L'équation de la chaleur devient :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \Delta T \quad (2)$$

$$\text{Posons } \alpha = \frac{\lambda}{\rho c} \quad (3)$$

L'équation devient :

$$\Delta T(x, h_1, h_2, t) - \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

Nous avons une équation de la diffusion de la chaleur dans le matériau filasse-plâtre.

Nous allons résoudre cette équation pour déterminer l'expression de la température.

II.2.3 Expression mathématique de la température

II.2.3.1 Résolution de l'équation de la chaleur a une dimension

Nous allons résoudre l'équation de la chaleur à une dimension :

$$\Delta T(x, h_1, h_2, t) - \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

En appliquant les coordonnées cartésiennes à une dimension, nous obtenons alors :

$$\frac{\partial^2 T(x, h_1, h_2, t)}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial t} = 0 \quad (6)$$

Nous allons résoudre l'équation de la chaleur (6)

$T = T(x, h_1, h_2, t)$: est la température (°C) du matériau à une profondeur x (m) et a un temps t (s) avec des coefficients d'échanges à la face avant et à la face arrière. L'équation (2) donne la relation entre diffusivité α , conductivité thermique λ , masse volumique ρ et la chaleur massique c pour le filasse-plâtre.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (2)$$

α : Le coefficient de diffusivité thermique ($m^2 \cdot s^{-1}$)

λ : La conductivité thermique ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$)

ρ : La masse volumique du matériau ($kg \cdot m^{-3}$)

c : la chaleur spécifique ($J \cdot Kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)

Les conditions aux limites :

Les relations (3) et (4) sont les conditions aux limites qui traduisent la conservation du flux aux interfaces du matériau filasse-plâtre et la condition initiale est donnée par l'équation (5)

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = h_1 [T(0, h_1, h_2, t) - T_a] \quad (3) \\ \lambda \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial x} \Big|_{x=L} = -h_2 [T(L, h_1, h_2, t) - T_a] \quad (4) \\ T(x, h_1, h_2, t = 0) = T_i \quad (5) \end{array} \right.$$

Pour résoudre l'équation (1) nous allons faire l'adimensionnalisation de l'équation de la chaleur en posant :

$$\theta(u, \tau) = \frac{T(x, h_1, h_2, t) - T_a}{T(x, h_1, h_2, t=0) - T_a} = \frac{T(x, h_1, h_2, t) - T_a}{T_i - T_a} \quad (6)$$

Avec $\theta(u, \tau)$: température réduite correspondante au régime transitoire ;

$$u = \frac{x}{L}; \text{ u est une variable réduite d'espace}$$

$$\text{Et } \tau = \frac{\alpha \cdot t}{L^2}; \tau = F_0 : \text{ est la variable réduite de temps}$$

En appliquant l'adimensionnalisation, l'équation de la chaleur (1) devient :

$$\frac{\partial^2 \theta(u, \tau)}{\partial u^2} = \frac{\partial \theta(u, \tau)}{\partial \tau} \quad (7)$$

Nous déterminons la température réduite en régime transitoire $\theta(u, \tau)$ du mur plan

A partir de (3) et de (4), nous obtenons les conditions aux limites :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \theta(u, \tau)}{\partial \tau} \Big|_{u=0} = \frac{h_1 \cdot L}{\lambda} \theta(0, \tau) \\ \frac{\partial \theta(u, \tau)}{\partial \tau} \Big|_{u=1} = -\frac{h_2 \cdot L}{\lambda} \theta(1, \tau) \end{array} \right. \quad (8)$$

La méthode de séparation des variables [2],

Cherchons la solution de l'équation (7) sous la forme variable réduite séparable d'espace et de temps donnée par la relation (10) : [3]

$$\theta(u, \tau) = U(u) \cdot H(\tau) \quad (10)$$

En utilisant les relations (7) et (10) nous obtenons celle de (11) :

$$\frac{1}{U(u)} \cdot \frac{\partial^2 U(u)}{\partial u^2} = \frac{1}{H(\tau)} \cdot \frac{\partial H(\tau)}{\partial \tau} = -\beta^2 \quad (11)$$

B : est une constante positive.

A partir de la relation (11) nous obtenons deux équations différentielles (domaines spatiale et temporelle) :

➤ L'équation différentielle en temps est donnée par (12) :

$$\frac{1}{H(\tau)} \cdot \frac{\partial H(\tau)}{\partial \tau} = -\beta^2 \quad (12)$$

➤ L'équation différentielle en espace (13) s'écrit :

$$\frac{1}{U(u)} \cdot \frac{\partial^2 U(u)}{\partial u^2} = -\beta^2 \quad (13)$$

Les conditions aux limites équation (13) de l'espace [3] :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 U(u)}{\partial u} \Big|_{u=0} = B_{i1} U(0) \\ \frac{\partial^2 U(u)}{\partial u} \Big|_{u=L} = -B_{i2} U(1) \end{array} \right. \quad (14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 U(u)}{\partial u} \Big|_{u=L} = -B_{i2} U(1) \end{array} \right. \quad (15)$$

Avec $B_{i1} = \frac{h_1 \cdot L}{\lambda}$ et $B_{i2} = \frac{h_2 \cdot L}{\lambda}$

L'équation temporelle (12) a pour solution :

$$H(\tau) = H(0) \cdot e^{-\beta^2 \tau} = H(0) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_d}} \quad (16)$$

En posant : $\tau_d = \frac{1}{\beta^2}$;

Nous obtenons $H(\tau) = H(0) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_d}}$

Avec, τ_d : Constante de temps réduite et $\beta_n \neq 0$.

L'équation différentielle (13) a pour solution :

$$U(u) = a_n \cos(\beta_n u) + b_n \sin(\beta_n u) \quad (17)$$

Avec, $n \in \mathbb{N}$

a_n et b_n les coefficients déterminés à partir des conditions aux limites (14) et (15).

$$\begin{cases} \beta_n b_n = B_{i1} a_n \\ -\beta_n a_n \sin(\beta_n) + \beta_n b_n \cos(\beta_n) = -B_{i2} [a_n \cos(\beta_n u) + b_n \sin(\beta_n u)] \end{cases} \quad (18)$$

(19)

L'expression (19) nous permet de trouver l'équation transcendante (20) :

$$\tan(\beta_n) = \frac{\frac{h_2 L}{\lambda} \beta_n + \beta_n \frac{h_1 L}{\lambda}}{\beta_n^2 - \frac{h_1 \cdot h_2 \cdot L^2}{\lambda^2}} \quad (20)$$

➤ **Détermination des valeurs propres par la méthode graphique**

L'équation transcendante est scindée en deux fonctions :

-La fonction trigonométrique notée $f_t(\beta_n)$ et

$$f_t(\beta_n) = \tan(\beta_n) \quad (21)$$

-La fonction homogène notée $f_h(\beta_n)$

$$f_h(\beta_n) = \frac{\frac{h_2 L}{\lambda} \beta_n + \beta_n \frac{h_1 L}{\lambda}}{\beta_n^2 - \frac{h_1 \cdot h_2 \cdot L^2}{\lambda^2}} \quad (22)$$

Donc nous obtenons la solution partielle de l'équation de la chaleur (23).

$$\theta(u, \tau) = U(u) \cdot H(\tau) \quad (23)$$

L'utilisation de la technique de Sturm-Liouville [8] nous permet de donner la solution de l'équation (7).

$$\theta(u, \tau) = \sum_n [a_n \cos(\beta_n u) + b_n \sin(\beta_n u)] H(0) \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_d}} \quad (24)$$

Les coefficients a_n , b_n et $T(0)$ sont obtenus en appliquant la condition de normalisation.

-Calcul a_n et b_n :

Nous utilisons la condition de normalisation de $U(u)$ pour trouver les constantes a_n et b_n [4]

$$\int_0^1 U(u)^2 du = 1 \quad (25)$$

$$a_n = \left[a_{1n} + \left(\frac{h_1.L}{\lambda.\beta_n} \right)^2 a_{2n} + \frac{h_1.L}{2.\lambda.\beta_n^2} a_{3n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

Les coefficients b_n sont déterminés à partir de l'expression (18)

$$b_n = \frac{h_1.L}{\lambda.\beta_n} \left[a_{1n} + \left(\frac{h_1.L}{\lambda.\beta_n} \right)^2 a_{2n} + \frac{h_1.L}{2.\lambda.\beta_n^2} a_{3n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

$$\text{Avec } a_{1n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4.\beta_n} \sin(2\beta_n)$$

$$a_{2n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{4.\beta_n} \sin(2\beta_n)$$

$$a_{3n} = 1 - \cos(2\beta_n)$$

- Calcul $H(0)$:

Le développement en série de la fonction orthogonale $U(u)$ permet de calculer $T(0)$.

$$H(0) = \int_0^1 U(u).\theta(u,0)du$$

(28)

$$H(0) = [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)]$$

(29)

Avec, $H_{1n}(0)$ et $H_{2n}(0)$ sont déterminés [5] à l'aide des intégrales d'Euler-Fourier.

II.2.3 Expression de la Température

Les intégrales d'Euler-Fourier nous permettent d'obtenir les constantes $H_{1n}(0)$ et $H_{2n}(0)$

$$H_{1n}(0) = \frac{\sqrt{\gamma}}{(\beta_n^2 + \gamma) \left[\sqrt{\gamma} \cosh(\sqrt{\gamma}) + \frac{h_2.L}{\lambda} \sinh(\sqrt{\gamma}) \right]} \left\{ \left[\sqrt{\gamma} \sinh(\sqrt{\gamma}) + \beta_n \sin(\beta_n) \right] + \frac{h_2.L}{\lambda} \left[\cosh(\sqrt{\gamma}) - \cos(\beta_n) \right] \right\} \quad (30)$$

$$H_{2n}(0) = \frac{h_1.L}{\lambda(\beta_n^2 + \gamma) \left[\sqrt{\gamma} \cosh(\sqrt{\gamma}) + \frac{h_2.L}{\lambda} \sinh(\sqrt{\gamma}) \right]} \left\{ \left[\sqrt{\gamma} \cosh(\sqrt{\gamma}) - \sin(\beta_n) \right] + \frac{h_2.L}{\lambda} \left[\sinh(\sqrt{\gamma}) - \frac{\sqrt{\gamma}}{\beta_n} \cos(\beta_n) \right] \right\} \quad (31)$$

$$\theta(u, \tau) = \sum_n \left[a_n \cos(\beta_n u) + b_n \sin(\beta_n u) \right] H(0).e^{-\frac{\tau}{\tau_d}}$$

Nous obtenons l'expression de la température réduite de l'équation de diffusion de la chaleur et elle est donnée par l'expression (31) :

$$\theta\left(\frac{x}{L}, \frac{\alpha.t}{L^2}\right) = \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \left[\cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] e^{-\frac{\alpha.t}{L^2} [\beta_n^2]} \quad (32)$$

En combinant les équations (6) et (31) ainsi nous obtenons l'expression de la température finale :

$$T(x, h_1, h_2, t) = T_a + (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \left[\cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] e^{-\frac{\alpha.t}{L^2} [\beta_n^2]} \quad (33)$$

II.2.4 Expression de la Densité de flux de chaleur

La loi fondamentale de Fourier, régissant le flux de chaleur dans une paroi homogène, s'exprime par la formule.

$$\Phi(x, h_1, h_2, t) = -\lambda \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial x}$$

La densité du flux de chaleur notée Φ qui est le flux thermique par unité de surface ($W.m^{-2}$) comme suit :

En généralisant la relation à une configuration unidimensionnelle :

$$\Phi(x, h_1, h_2, t) = -\lambda \cdot \vec{\nabla} T(x, h_1, h_2, t)$$

Avec, l'opérateur ($\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x}$) désigne le vecteur gradient.

Nous dérivons la température, $T(x, h_1, h_2, t)$ en fonction de x.

$$\Phi(x, h_1, h_2, t) = -\lambda \frac{\partial T(x, h_1, h_2, t)}{\partial x} \quad (34)$$

En appliquant le produit de la dérivée de la température par rapport à la composante suivante x et la conductivité thermique λ . Nous obtenons l'expression de la densité de (34) :

$$\Phi(x, h_1, h_2, t) = \lambda \cdot (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \left[\frac{\beta_n}{L} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) - \frac{h_1}{\lambda} \cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] e^{-\frac{\alpha.t}{L^2} [\beta_n^2]}$$

III 3.2 Expression de la Résistance Thermique R_{th} :

La résistance thermique R_{th} est donnée par l'expression suivante [3] :

$$\Delta T = \frac{1}{S} \left[\frac{1}{h_1} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{h_2} \right] \cdot \Phi$$

$$\Delta T = R_{th} \cdot \Phi$$

Avec,

$$R_{th} = \frac{1}{S} \left[\frac{1}{h_1} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{h_2} \right]$$

Nous obtenons l'expression de la variation de température :

$$T(0, h_1, h_2, t) - T(x, h_1, h_2, t) = (T_i - T_a) \cdot \delta \theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} \left\{ 1 - \left[\cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \right\}$$

La Résistance thermique qui est le rapport entre la variation de la température et la densité de flux de chaleur, est donnée par la relation (?)

$$R_{th}(x, h_1, h_2, t) = \frac{\Delta T(x, h_1, h_2, t)}{\Phi(x, h_1, h_2, t)} \quad (?)$$

Avec,

$$\Delta T(x, h_1, h_2, t) = T(0, h_1, h_2, t) - T(x, h_1, h_2, t)$$

Donc nous obtenons l'expression de la Résistance thermique en fonction des différents paramètres thermo-physique.

$$R_{th}(x, h_1, h_2, t) = \frac{T(0, h_1, h_2, t) - T(x, h_1, h_2, t)}{\Phi(x, h_1, h_2, t)}$$

D'après la relation (!) nous obtenons l'expression de la Résistance thermique du matériau filasse-plâtre :

$$R_{th}(x, h_1, h_2, t) = \frac{1 - \left[\cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right]}{\left[\frac{-\lambda \beta_n}{L} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) + h_1 \cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right]}$$

Maintenant cette expression nous permet d'étudier l'évolution de la résistance thermique en fonction des différents paramètres thermophysiques.

III 5.1 Expression de la Capacité Thermique :

L'analogie électrique thermique nous permet de déterminer la capacité thermique [2]:

$$i \longrightarrow \phi \text{ et } \Delta v \longrightarrow \Delta T$$

L'expression de la capacité est donnée par :

$$C(x, h_1, h_2, t) = \frac{q}{\Delta V}$$

La capacité thermique est exprimée en Farad (F).

Par analogie électrique thermique nous obtenons la formule de la capacité thermique suivante :

$$C(x, h_1, h_2, t) = \frac{\int_0^t \Phi(x, h_1, h_2, t) dt}{\Delta T(x, h_1, h_2, t)}$$

Nous calculons l'intégrale qui est au numérateur :

$$\int_0^t \Phi dt = \int_0^t \lambda \cdot (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \left[\frac{\beta_n}{L} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) - \frac{h_1}{\lambda} \cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} dt$$

$$\int_0^t \Phi dt = \frac{L^2}{\alpha(\beta_n^2 + \gamma)} \lambda \cdot (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \left[\frac{\beta_n}{L} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) - \frac{h_1}{\lambda} \cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \left[e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} - 1 \right]$$

$$T(0, h_1, h_2, t) = T_a + (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]}$$

$$T(x, h_1, h_2, t) = T_a + (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \left[\cos\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]}$$

En régime dynamique transitoire, entre la face avant et une position de profondeur x du matériau, nous avons la différence de température :

$$T(0, h_1, h_2, t) - T(x, h_1, h_2, t) = (T_i - T_a) \cdot \delta\theta_0 \cdot \sum_n a_n^2 \left[1 - \left(\cos\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) \right) \right] \cdot [H_{1n}(0) + H_{2n}(0)] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]}$$

$$\Delta T = T(0, h_1, h_2, t) - T(x, h_1, h_2, t)$$

$$C(x, h_1, h_2, t) = \frac{\frac{L^2}{\alpha(\beta_n^2 + \gamma)} \cdot \lambda \cdot \sum_n a_n^2 \left[\frac{\beta_n}{L} \sin\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) - \frac{h_1}{\lambda} \cos\left(\frac{x}{L} \cdot \beta_n\right) \right] \left[e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]} - 1 \right]}{\sum_n a_n^2 \left[1 - \left(\cos\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) + \frac{h_1 \cdot L}{\lambda \cdot \beta_n} \sin\left(\frac{x}{L} \beta_n\right) \right) \right] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot t}{L^2} [\beta_n^2]}}$$

PUBLICATION INTERNATIONALE:

- **Seydou FAYE, Mohamed Sidya Ould BRAHIM, Youssou TRAORE, Aliou DIOUF, Moussa DIENG, Abdoulaye Korka DIALLO, Issa DIAGNE, Hawa Ly DIALLO, Gregoire SISSOKO** “Study by Analytical Method of Transient Regime of Thermal Transfer Through a Insulation Material Tow-Plaster - Influence Coefficient of Thermal Exchange” IPASJ International Journal of Computer Science (IJCS) Volume 4, Issue 7, pp 1-9, July 2016

Caractérisation des Phénomènes d'Emmagasinement d'Energie Thermiques et d'Inertie d'un Matériau Filasse-Plâtre en Régime Transitoire

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
Groupe International de Recherche en Energie Renouvelable(GIRER)
ECOLE DOCTORALE DE PHYSIQUE, CHIMIE, SCIENCES DE LA TERRE,
DE L'UNIVERS ET DE L'INGENIEUR (ED-PCSTUI)



THESE DE DOCTORAT UNIQUE

Présentée par
M. SEYDOU FAYE

Thèse Unique

Pour obtenir le Diplôme Doctorat d'Université Cheikh Anta Diop
Soutenu le 15 Juillet 2017 devant le Jury

Membres du Jury

Président	Mamadou SARR	Professeur Titulaire	Univ. /THIES
Rapporteurs	Martial ZOUGRANA	Maitre de Conférences	U.F.R/S.E.A
	Senghane MBODJI	Maitre de Conférences	UADB
Examineurs	Issa DIAGNE	Maitre-Assistant	FST/UCAD
	Birame DIENG	Maitre de Conférences	UADB
	Alassane DIENE	Maitre-Assistant	EPT/THIES
Directeurs	Hawa Ly DIALLO	Maitre de Conférences	Univ. /THIES
	Grégoire SISSOKO	Professeur Titulaire	FST/UCAD

Résumé :

Ce travail présente une méthode de détermination des paramètres thermo physiques du matériau filasse-plâtre en régime dynamique Transitoire.

La couche d'isolation efficace du matériau filasse-plâtre a été définie à partir de l'étude de la variation de la température et de la densité de flux de chaleur.

Une analogie électrique- thermique a permis de définir la résistance thermique .Cet résistance va permettre d'accéder à la conductivité thermique et à la diffusivité thermique de la filasse.

L'étude de la température et de la densité de flux de chaleur a permis de proposer un modèle équivalent. Et enfin la résistance thermique est aussi étudiée en fonction des différents paramètres.

Mots Clés : Paramètres thermophysiques, Température, Densité de flux de chaleur -Couche d'isolation thermique efficace – Analogie électrique – thermique - Résistance thermique - Conductivité thermique – Coefficient de diffusivité thermique