

LE REGIME REGULIER : UNE METHODE ADAPTEE A LA MESURE DE LA DIFFUSIVITE THERMIQUE DES MATERIAUX ANISOTROPES

VIANOU A., TOUKOUROU A. C. et AWANTO C.
Laboratoire d'Etudes et Recherches en Techniques Industrielles,
CPU, 01 BP 2009, Cotonou, Université Nationale du Bénin

(Reçu le 23 mai 1996 ; Révisé le 17 mars 1998 ; Accepté le 10 mai 1998)

RESUME

Le problème pour la plupart des méthodes expérimentales comme la méthode impulsionnelle dite méthode Flash, la méthode du Régime Périodique, la méthode du Fil Chaud etc... est la difficulté pour celles-ci d'identifier les paramètres caractérisant les transferts de la chaleur dans les matériaux anisotropes. Ce problème devient complexe si le matériau est un milieu non homogène. L'utilisation de ces méthodes d'identification traditionnelles pour des matériaux non homogènes n'est justifiée que dans la mesure où le comportement de leur élément de volume représentatif peut être assimilé à celui d'un milieu homogène équivalent. A l'heure actuelle aucun critère général n'est explicitement formulé quant au domaine de validité de cette hypothèse. Quant à l'anisotropie on peut étudier le transfert de chaleur dans un milieu orthotrope pour lequel les coefficients de conductivité se réduisent à trois valeurs et correspondent chacune à une direction principale de conduction perpendiculaire aux deux autres. La méthode du régime régulier que nous avons développée se prête bien à une telle analyse et cet article rapporte les étapes de la modélisation et les résultats de mesure de diffusivité obtenus avec quelques variétés de bois découpés en échantillons cylindriques droits et courts. Les conclusions de ces investigations permettent d'envisager avec intérêt l'utilisation de cette méthode expérimentale pour l'établissement d'une banque de données des paramètres thermophysiques des matériaux locaux de construction d'anisotropie particulière.

Mots Clés : Diffusivité thermique, propriétés thermophysiques, matériaux anisotropes, thermophysiques du matériau bois, matériaux locaux de construction, régime régulier.

ABSTRACT

This paper describes a series of experiments which we conducted on an experiment setup based on "regular-state" method for the determination of thermal diffusivities for the principal directions of heat conduction in anisotropic material. The results are based on experimental studies on finite circular cylinder isotropic samples of wood.

The authors show the possibilities of the method for the determination of the thermophysical properties of anisotropic building materials.

Key words : Thermophysical properties of the wood, anisotropic materials thermal diffusivities, regular state, thermal diffusivity of building materials.

INTRODUCTION

La mesure de la diffusivité thermique sur le matériau anisotrope soulève quelques difficultés et la 13^{ème} Conférence Européenne sur les propriétés thermophysiques (qui s'est tenue à Lisbonne (1993) a montré la diversité des techniques métrologiques mais aussi la nécessité de perfectionner les méthodes d'identification traditionnelles ou de développer de nouvelles méthodes capables de faciliter une

modélisation adaptée aux milieux solides non homogènes en général et aux milieux anisotropes en particulier. La méthode du Régime Régulier que nous avons développée permet de répondre à cette dernière préoccupation. Le Laboratoire d'Etudes et Recherches en Techniques Industrielles instrumente déjà certains matériaux d'anisotropie particulière pour la mesure de la diffusivité thermique.

Principe et modèle mathématique

a) Principe

Si l'on désire effectuer l'expérience du Régime Régulier sur des éprouvettes cylindriques de matériau anisotrope ayant deux directions principales de conduction, il faut connaître l'expression du champ thermique en considérant les transferts de chaleur bidimensionnels avec des coordonnées cylindriques ainsi que le montre la Figure 1. Pour simplifier le schéma d'anisotropie nous considérons une éprouvette pour laquelle les axes d'anisotropie sont confondus avec ses axes de coordonnées. Cette dernière, initialement à la température uniforme T_0 et ayant une capacité volumique ρc supposée indépendante de la température est plongée dans un bain thermostaté T_f homogène. Le bain est brassé de manière que le coefficient d'échange thermoconvectif entre le fluide et la surface de l'éprouvette soit suffisamment élevé. Un appareillage de mesures permet d'obtenir le thermogramme chronologique représentant l'évolution de la température locale en un point de l'éprouvette ainsi que le montre la Figure 2. L'exploitation des

thermogrammes des échantillons de différentes dimensions permet alors de remonter aux diffusivités associées aux deux directions principales de conduction lorsqu'on s'appuie sur la solution analytique exacte du problème.

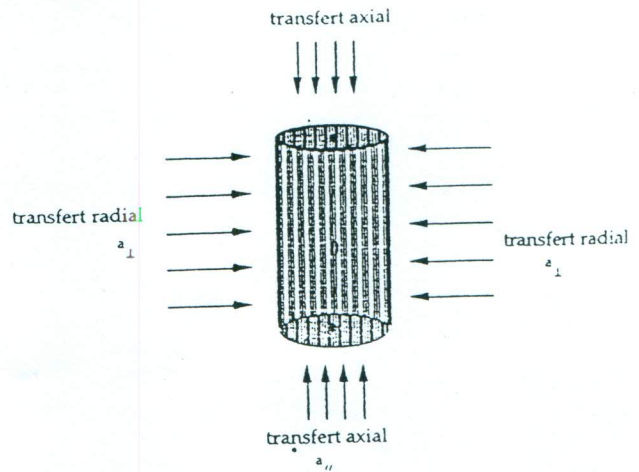


Figure I : Transfert de chaleur dans une éprouvette cylindrique de matériau orthotrope.

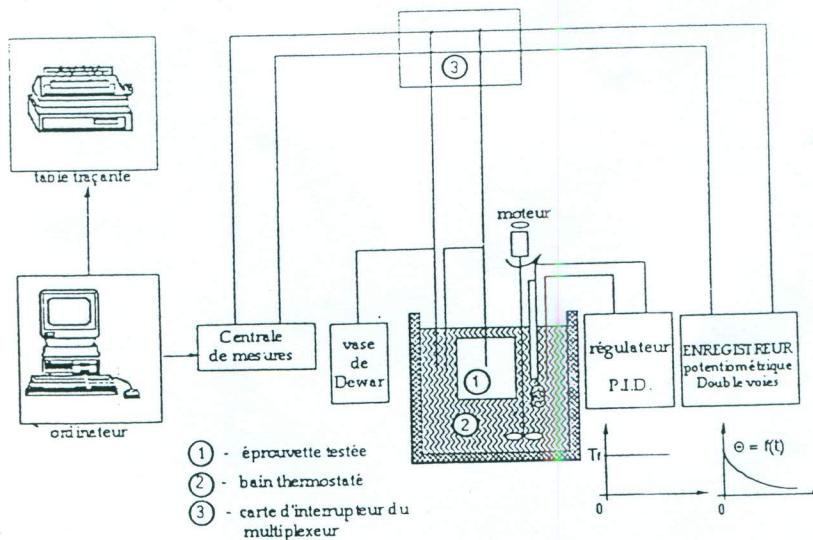


Figure II : Schéma du dispositif expérimental

b) Hypothèses de bases

Les modèles mathématiques que nous allons développer supposent que certaines conditions expérimentales sont vérifiées. Les hypothèses retenues ici sont les suivantes :

- les transferts : Ils sont considérés bidimensionnels: une diffusion suivant l'axe du cylindre et une diffusion radiale de telle sorte que $T = T(x, r, t)$.

- Le milieu : l'échantillon de matériau représente un milieu homogène, orthotrope et dont les propriétés thermiques sont indépendantes de la température. Cela suppose que pendant toute la durée de l'expérience, on néglige l'influence des variations de température sur les valeurs de la capacité thermique volumique ρc_p et sur les conductivités λ_x et λ_r .

- Conditions aux limites : les échanges de chaleur entre le fluide et les surfaces extérieures de l'éprouvette vérifient les conditions mixtes de Fourier.

- Condition initiale : à l'instant initial, la température T_0 de l'éprouvette est uniforme.

c) Mise en équation

Soit u l'écart de température entre un point quelconque du matériau et la référence T_r du thermostat.

$$u = u(x, r, t) = (T(x, r, t) - T_r) \quad (1)$$

Les transferts de chaleur sont régis par les équations suivantes :

$$\lambda_x \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \lambda_r \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \lambda_r \cdot \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} = \rho c_p \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2)$$

Avec les conditions initiales et aux limites suivantes:

$$u(x, r, t)_{t=0} = u_0 \quad \text{et} \quad u(x, r, t)_{t \rightarrow \infty} = 0 \quad (3)$$

$$\lambda_x \frac{\partial u}{\partial x} + h_x u = 0 \quad \text{à} \quad x = \pm e_x \quad (4)$$

$$\lambda_r \frac{\partial u}{\partial r} + h_r u = 0 \quad \text{à} \quad r = R_0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad \text{en} \quad x = 0 \quad 0 < r < R_0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} = 0 \quad \text{en} \quad r = 0 \quad -e_x < x < e_x \quad (7)$$

h_x, h_r , représentent respectivement les coefficients d'échange thermique relativement aux faces circulaires et sur la face latérale.

l_x, l_r désignent respectivement les coefficients de conductivité thermique (conductivités principales) relativement aux directions principales de conduction soit la direction axiale et la direction radiale.

Ces coefficients supposés indépendants de la température sont différents pour rendre compte de l'anisotropie du matériau.

$2e_x$, représente l'épaisseur de l'éprouvette suivant la direction xox' , R_0 est le rayon de l'éprouvette.

d) Résolution du problème

La solution de ce système est obtenue par le développement d'un modèle bidirectionnel à deux températures. Remarquons qu'un cylindre droit court est obtenu par l'intersection d'une plaque infinie et d'un cylindre infini.

On montre [2,3,18] en effet que :

$$\theta = \theta_x \cdot \theta_r \quad (10)$$

où θ est la température réduite définie par :

$$\theta = \frac{u(x, r, t)}{u_0} \quad (11)$$

θ_x, θ_r représentent les températures réduites associées aux transferts de chaleur dans les trois directions principales de conduction et définies par :

$$\theta_x = \frac{u_x(x, y)}{u_0} \quad \theta_r = \frac{u_r(r, t)}{u_0} \quad (12)$$

u_0 est l'écart initial de température. L'expression du champ thermique en régime variable dans l'éprouvette cylindrique réalisée avec un matériau orthotrope dont les axes d'anisotropie sont confondues avec les axes de coordonnées est donné sous forme adimensionnelle par la relation :

$$\theta = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} A_{ij} \cdot F_{ij} \cdot \exp \left[- \left(n_{ix}^2 \cdot \frac{a_x t}{e_x^2} + n_{jr}^2 \cdot \frac{a_r t}{R_0^2} \right) \right] \quad (13)$$

ou encore

$$\theta = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} A_{ij} \cdot F_{ij} \cdot \exp\left[-(n_{ix}^2 \cdot F_{ox} + n_{jr}^2 \cdot F_{or})\right] \quad (14)$$

$$\text{avec } F_{ox} = \frac{a_x t}{e_x^2} \quad \text{et} \quad F_{or} = \frac{a_r t}{R_0^2} \quad (15)$$

F_{ox} et F_{or} représentent les membres de Fourier associés respectivement à la dimension caractéristique e_x et R_0 .

$$A_{ij} = \frac{2 \sin(n_{ix})}{n_{ix} + \sin(n_{ix}) \cdot \cos(n_{ix})} \cdot \frac{2J_1(n_{jr})}{n_{jr} \cdot [J_0^2(n_{jr}) + J_1^2(n_{jr})]} \quad (16)$$

$$F_{ij} = \cos\left(n_{ix} \frac{x}{e}\right) \cdot J_0\left(n_{jr} \frac{r}{R_0}\right) \quad (17)$$

et q_x , q_r représentent les températures réduites associées aux transferts de chaleur dans les trois directions principales de conduction et définies par :

n_{ix} , n_{jr} sont respectivement solutions des équations transcendentes :

$$\cot g(n_{ix}) = \frac{n_{ix}}{Bi_x} \quad (18)$$

$$\frac{J_0(n_{jr})}{J_1(n_{jr})} = \frac{n_{jr}}{Bi_r} \quad (19)$$

J_0 et J_1 sont les fonctions de Bessel de première espèce d'ordre 0 et d'ordre 1.

Bi_x et Bi_r représentent les nombres de Biot associés respectivement à la dimension caractéristique e_x et R_0 .

$$Bi_x = \frac{h_x e_x}{\lambda_x} \quad (20)$$

$$Bi_r = \frac{h_r R_0}{\lambda_r} \quad (21)$$

La solution θ , comme on peut le constater, est un produit de deux séries infinies, composées de fonctions exponentielles décroissantes. Ce qui indique que le processus tend vers l'équilibre thermique en fonction des nombres de Fourier. Il existe donc une certaine valeur du nombre de Fourier $F_{o \min} = \min(F_{ox}, F_{or})$ au-delà de laquelle le premier terme θ_{11} de la série θ représente avec une précision suffisante, la solution cherchée.

Les investigations numériques [3], [17,19] montrent que pour $F_o \geq 0,23$ le processus évolue de manière parfaitement exponentielle. C'est cette phase qui est appelée régime régulier [3]

$$\theta = A_{11} F_{11} \cdot \exp(-mt) = A \cdot e^{-mt} \quad (22)$$

où

$$m = \left(\frac{n_{ix}^2 a_x}{e_x^2} + \frac{n_{jr}^2 a_r}{R_0^2} \right) \quad (23)$$

a_x et a_r représentent respectivement les diffusivités axiale et radiale.

m peut être obtenu expérimentalement par la mesure des écarts de température u_1 et u_2 avec les temps expérimentaux associés t_1, t_2 .

$$m = \frac{\ln \theta_1 - \ln \theta_2}{t_2 - t_1} = \frac{\ln u_1 - \ln u_2}{t_2 - t_1} \quad (24)$$

Dans la pratique m est pris égal à la valeur absolue de la pente de la droite obtenue par régression linéaire sur les points expérimentaux pendant la phase du régime régulier.

Pour un matériau isotrope, a_x et a_r sont identiques ; un thermogramme est suffisant pour évaluer la constante de temps $1/m$. Par contre pour les matériaux anisotropes la détermination des diffusivités associées aux directions principales de conduction nécessite deux éprouvettes de dimensions différentes du même matériau.

Par exemple, en prenant des éprouvettes de dimensions caractéristiques : e_x et R_{01} (éprouvette 1) $e'_x = 2e_x$ et R_{02} (Eprouvette 2) on aboutit au système suivant :

$$\frac{n_{ix}^2 a_x}{e_x^2} + \frac{n_{jr}^2 a_r}{R_0^2} = m_1 \quad (25)$$

$$\frac{n_{ix}^2 a_x}{2e_x^2} + \frac{n_{jr}^2 a_r}{R_0^2} = m_2 \quad (26)$$

Ces expressions permettent de déterminer les diffusivités dans les directions principales de conduction. Par ailleurs les nombres propres n_{ix} , n_{jr} sont respectivement égaux à 1,57 et 2,40 lorsque les nombres de Biot sont élevés proche de 100

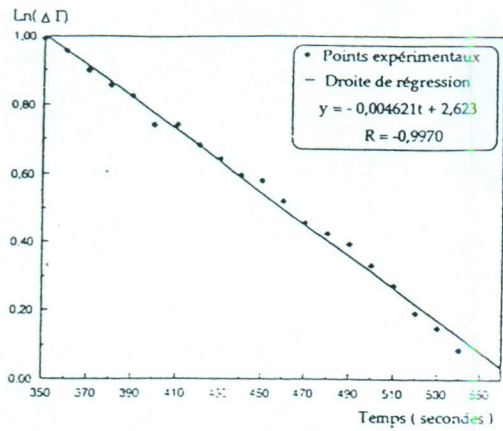


Figure III.B : Droite de régression obtenue pour une éprouvette de bois de Teck $e_2 = 25,5\text{mm}$; $R_{02} = 16,5\text{mm}$

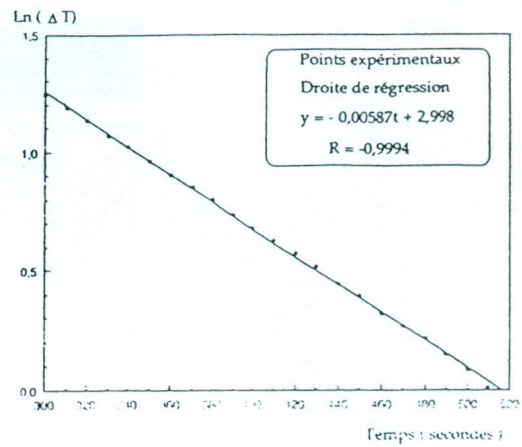


Figure IV.B : Droite de régression obtenue pour une éprouvette de bois d'Iroko $e_2 = 20,5\text{mm}$; $R_{02} = 16,5\text{mm}$ et $T_f = 37^\circ\text{C}$

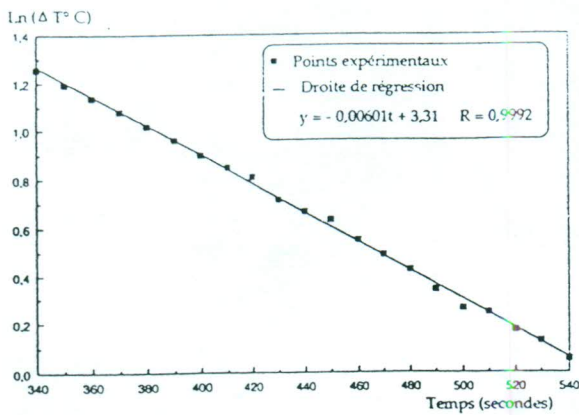


Figure IV.A : Droite de regression obtenue pour une éprouvette de bois d'Iroko $e_1 = 15,5\text{mm}$; $R_{01} = 16,5\text{mm}$ et $T_f = 39^\circ\text{C}$

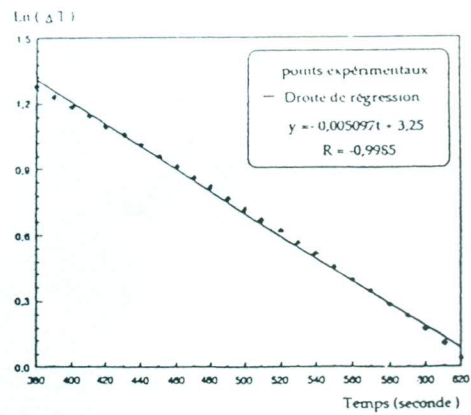


Figure V.A : Droite de régression obtenue pour une éprouvette de bois d'Acajou $e_1 = 17,5\text{mm}$; $R_{01} = 17\text{mm}$ $T_f = 38^\circ\text{C}$

[3,17,18,19]. Cette condition est obtenue facilement avec les matériaux de construction qui sont généralement des mauvais conducteurs de la chaleur (λ faible). Ce qui explique pourquoi cette méthode est particulièrement intéressante pour les matériaux de construction.

Les diffusivités sont fournies par les relations :

$$a_x = 0,811.(m_1 - m_2).e_x^2 \quad (27)$$

$$a_r = 0,347.(m_2 - \frac{1}{2}m_1).R_0^2 \quad (28)$$

Application à la Mesure de la Diffusivité du Bois.

Le bois est un matériau fortement anisotrope à cause de la présence en son sein des fibres ou des grains. Pour chaque échantillon, la confection des éprouvettes nécessitent quelques précautions.

Les axes principaux d'anisotropie doivent être confondus avec les axes de coordonnées du système de référence : ainsi pour le bois à fibres par exemple, il faut effectuer la coupe de manière à avoir la direction des fibres parallèles à l'axe de symétrie de l'échantillon, ce qui permet, par ailleurs, d'avoir le transfert radial perpendiculaire aux fibres.

$a_{//}$ est le coefficient qui caractérise la diffusion de chaleur parallèlement aux fibres et

a_{\perp} est le coefficient qui caractérise, la diffusion de chaleur perpendiculairement aux fibres.

L'efficacité de la méthode dépend du choix adéquat des dimensions caractéristiques. Une première campagne de mesure de caractère prospectif, fournit en général, les informations qui permettent d'optimiser les deux rapports e_2/e_1 et R_{02}/R_{01} .

Les mesures que nous avons effectuées concernent les essences tropicales comme le bois de Teck : $\rho \sim 625 \text{ Kg/m}^3$, le bois Acajou : $\rho \sim 720 \text{ Kg/m}^3$, le bois Iroko : $\rho \sim 800 \text{ Kg/m}^3$ et deux variétés européennes le Sipo $\rho \sim 680 \text{ Kg/m}^3$ et le Sapin $\rho \sim 740 \text{ Kg/m}^3$.

Si l'on choisit les deux éprouvettes de dimensions quelconques, pendant la phase du régime régulier le thermogramme chronologique est régi par l'équation :

$$\theta = A_{11} F_{11} \cdot \exp \left[- \left(2,4649 \cdot \frac{a_{//}}{e^2} + 5,760 \cdot \frac{a_{\perp}}{R_0^2} \right) t \right] \quad (29)$$

Les diffusivités sont obtenues par le système :

$$(e_1; R_{01}) \Rightarrow m_1 = \frac{2,4649}{e_1^2} a_{//} + \frac{5,760}{R_{01}^2} a_{\perp} \quad (30)$$

$$(e_2; R_{02}) \Rightarrow m_2 = \frac{2,4649}{e_2^2} a_{//} + \frac{5,760}{R_{02}^2} a_{\perp} \quad (31)$$

Le dispositif expérimentale comprend une centrale d'acquisition Hewlett Packard type 3421A, un ordinateur HP 9000 série 300, un bain thermostaté piloté par un régulateur de type PID.

Un programme d'acquisition et de traitement automatique des données permet de récupérer les valeurs des diffusivités.

Lorsqu'on ne dispose pas de centrale pilotée par un ordinateur les thermogrammes chronologiques sont obtenus directement à l'aide d'un enregistreur potentiométrique. Dans ces conditions les constantes de temps (1/m) sont alors évalués sur les fiches graphiques.

Pour empêcher le fluide du bain thermostaté de diffuser à l'intérieur du bois normalement complément sec, celui-ci est recouvert d'un film de vernis. L'expérience montre que ce film ne perturbe pas le champ thermique dans l'éprouvette.

Les Figures 3 à 6 représentent les droites de régression obtenues pour les différentes éprouvettes et pour différents échantillons de matériau.

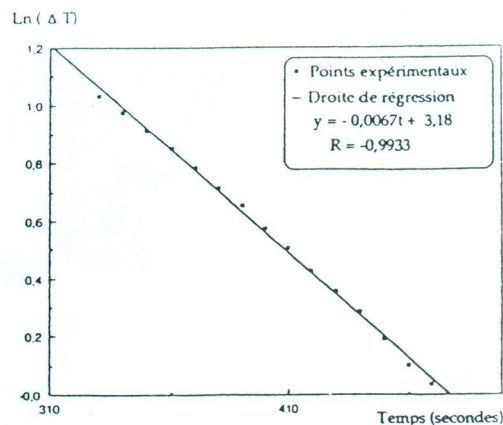


Figure III.A : Droite de régression obtenue pour une éprouvette de bois de Teck $e_1 = 15,5 \text{ mm}$; $R_{01} = 16 \text{ mm}$ et $T_f = 38^\circ\text{C}$.

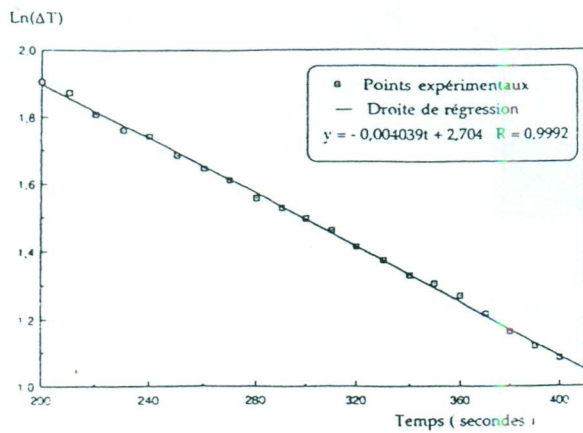


Figure V.B : Droite de régression obtenue pour une éprouvette de bois d'Acajou $e_2 = 25,5$ mm, $R_{02} = 17$ mm ; $T_f = 38^\circ\text{C}$

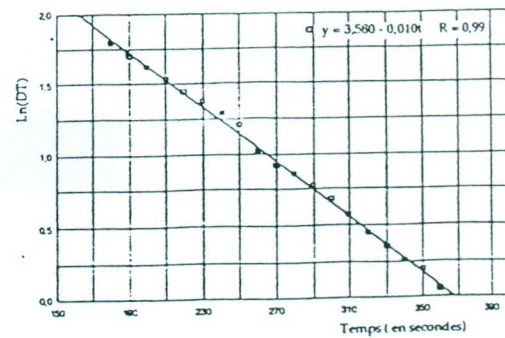


Figure VI.A : Droite de régression obtenue pour un échantillon de Sipo $R_{01} = 14,5$ mm, $e_1 = 15$ mm

Les résultats des mesures sont résumés sur le tableau 1.

Tableau I : Résultats des mesures sur le bois

	Dimensions mm	Masse volumique ρ : Kg/m^3	Pente m [$\times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$]	Corrélation droite de régression	Diffusivité ($\times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)	
					a_1	a_2
Teck	$e_1 = 15,5$ $R_{01} = 16$	624	6,57	0,9933	0,171	0,266
	$e_2 = 25,5$ $R_{02} = 16,5$	624	4,62	0,997		
Iroko	$e_1 = 15,5$ $R_{01} = 16,5$	770	6,01	0,9992	0,269	0,321
	$e_2 = 20,5$ $R_{02} = 16,5$	770	5,87	0,9994		
Acajou	$e_1 = 15,5$ $R_{01} = 16$	710	5,10	0,9985	0,155	0,249
	$e_2 = 25,5$ $R_{02} = 17$	710	4,04	0,9992		
Sipo	$e_1 = 15$ $R_{01} = 14,5$	680	10,00	0,999	0,170	0,490
	$e_2 = 30$ $R_{02} = 14,5$	680	6,00	0,999		
Sapin	$e_1 = 15$ $R_{01} = 14,5$	740	11,00	0,999	0,160	0,60
	$e_2 = 30$ $R_{02} = 14,5$	740	6,00	0,999		

CONCLUSION

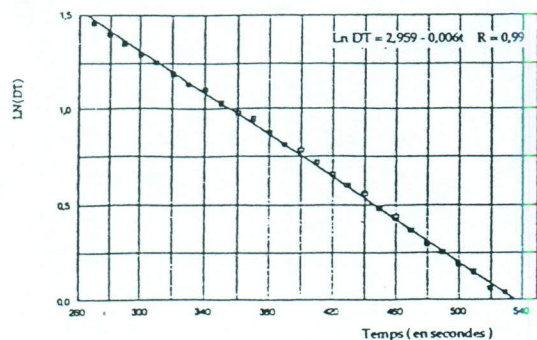


Figure VI.B : Droite de régression obtenue pour un échantillon de Sipo $R_{02} = 14,5$ mm, $e_2 = 30$ mm.

Les expériences que nous avons présentées sur ce tableau correspondent à celles pour lesquelles les résultats sont très proches des valeurs moyennes obtenues sur l'ensemble des mesures relatives à chaque échantillon de bois.

La méthode du régime régulier s'appuie sur la connaissance du champ thermique en régime variable dans une éprouvette de géométrie simple. La possibilité de faire coïncider les directions d'anisotropie avec les principaux axes de conduction permet, comme nous l'avons montré de développer un modèle à deux températures et de remonter aux coefficients de diffusivités des matériaux d'anisotropie particulière comme le bois.

Si la capacité volumique ρc est connue par l'association d'un test calorimétrique on peut remonter aux valeurs de conductivités ($\lambda_{//}$, λ_{\perp}) caractérisant les transferts de chaleur dans chaque direction principale de conduction.

La diversité des matériaux (isotropes et anisotropes) dont les diffusivités peuvent être déterminées par cette méthode met en évidence les larges possibilités offertes. Le calcul des précisions lors de la validation de la méthode a fourni une incertitude relative de l'ordre de 8 %. C'est pourquoi nous pensons que cette technique expérimentale est assez précise et sans doute promue à une large diffusion. Elle peut servir de base pour l'établissement d'une banque de données sur les matériaux locaux de construction.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. CARSLAW H. S. and JAEGER J. C., 1959.- *Conduction of heat in solids*. Clarendon Press, OXFORD 2^e éd.
2. LEONTIEV A., 1985. *Théorie des échanges de chaleur et de masse*. Editions MIR, Moscou.
3. VIANOU A. et GIRARDEY A., 1991.- Diffusivité thermique des matériaux de construction ; Mesure par la méthode du régime régulier. *Revue Générale de Thermique*, 352.
4. MARECHAL J. C et DEVISME J. M., 1978.- Diffusivité thermique des matériaux de construction : Méthode du signal périodique. *Annales I.T.B.T.P*, 357.
5. MARTINET J., 1965.- Détermination des constantes thermiques des solides au moyen des méthodes de régime variable. *Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'air*, 411.
6. MERICQ J. M., 1976.- *Détermination de la diffusivité des matériaux conducteurs par analyse en réponse d'un échantillon à une sollicitation périodique*. Thèse Doct. 3^eème cycle, Univ. Paris 6.
7. MARECHAL J. C. et DEVISME J. M., 1974.- Métrologie thermique des matériaux isolants par mesure du flux en régime transitoire. *Matériaux et constructions*, 7 : 41.
8. PARKER W. J. JENKINS R. J., BUTTLER G. P., ABBOTT G. L., Flash method of determining thermal diffusivity heat capacity and thermal conductivity. *J. Appl. Phys.*
9. DEGIOVANNI A., GERY A., 1976.- Etat actuel des techniques impulsives appliquées à la

- détermination de la diffusivité thermique. *Bulletin du Bureau National de Métrologie*, 25
10. BLACKWELL J. H., 1954.- Radial, axial flows in regions bounded by circular cylinders. *Canadian Journal of Physics*, 31 : 472-479.
11. BASTIAN G., 1982.- Détermination de la conductivité thermique des matériaux de construction par la méthode transitoire type sonde cylindrique. *Revue de Physique Appliquée*, 17 : 217 - 225
12. PERRIN BERNARD., 1985.- *Etude des transferts couplés de chaleur et de masse dans des matériaux poreux consolidés non saturés utilisés en génie civil.* Thèse Doct. Etat, Univ. P. Sabatier, Toulouse.
13. FOURES J.C., JAVELAS R. et PERRIN B., 1981.- Caractéristiques thermiques de matériaux de construction. Détermination. Variations en fonction de la teneur en eau. *Revue Générale de Thermique*, 230 Février.
14. PONSOT ROGER, 1989.- *Contribution à l'étude du comportement hygrothermique des matériaux locaux de construction en région dakaroise.* Thèse Doct. Univ. Paris XII.
15. LAURENT JEAN-PAUL, 1986.- *Contribution à la caractérisation thermique des milieux poreux granulaires : Optimisation d'outils de mesure "in situ" des paramètres thermiques Application à l'étude des propriétés thermiques du matériau terre.* Thèse Doct. INP Grenoble.
16. MENGUY G., MOURTADA A., 1989.- *Mesure des caractéristiques thermophysiques des matériaux : Méthode des boîtes.* Laboratoire d'Etudes Thermiques et Solaires, Université Claude Bernard, Lyon I.
17. 1992.- *Mesure de la diffusivité par la méthode du régime régulier : Application aux matériaux locaux de construction.* Thèse Doct. Ing., Univ. C. A. Diop Dakar.
18. 1993.- Exploitation of the regular State in thermokinetics for the determination of the thermal properties of building materials. *High Temperature High Pressures*, 25 : 635-641.
- 19 VIANOU A., 1994.- *Etude de la méthode du régime régulier pour la mesure de la diffusivité thermique des matériaux faiblement conducteurs de la chaleur.* Thèse Doct. Univ. Evry.
20. REXCOOP, 1986.- Méthodes de conception climatique des bâtiments au SENEGAL. Actes Séminaire REXCOOP, DAKAR, 16, 17,18 juin.
21. VIANOU A., 1996.- Méthodes expérimentales adaptées à la Mesure des Paramètres Thermophysiques des Matériaux Locaux de Construction. Actes des Journées Scientifiques "Confort et Economie d'Energie", ESP, UCAD, Dakar, 23 et 24 avril.