



Journal of Materials and Engineering Structures

Research Paper

Caractérisation mécanique et thermophysique des blocs de terre comprimée stabilisée au papier (cellulose) et/ou au ciment.

Mechanical and Thermophysical Properties of Cement and/or Paper (Cellulose) Stabilized Compressed Clay Bricks

Emmanuel Ouedraogo^a, Ousmane Coulibaly^b, Abdoulaye Ouedraogo^{a}, Adamah Messan^c*

^a *Laboratoire des Energies Thermique et Renouvelable, université de Ouagadougou, Burkina Faso*

^b *Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement, université de Ouagadougou, Burkina Faso*

^c *Laboratoire Eco-Matériaux de Construction, Institut d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Burkina Faso*

ARTICLE INFO

Historique de l'article :

Recu : 2 février 2015

Révisé : 18 avril 2015

Accepté : 5 mai 2015

Mots clés:

Blocs de terre comprimée

Papier (cellulose)

Propriétés mécaniques

Propriétés thermophysiques

Keywords :

Compressed Clay Blocks

Paper (cellulose)

Mechanical Properties

Thermophysical Properties

RESUME

Cet article présente une étude expérimentale portant sur la caractérisation de matériaux locaux utilisés dans la construction des bâtiments. Ces matériaux sont des blocs de terre comprimée et stabilisée au ciment et/ou au papier. Ces matériaux composites utilisés pour l'enveloppe du bâtiment ont une grande stabilité à l'eau. Les mesures des propriétés mécaniques et des propriétés thermophysiques ont montré un écart entre les différentes valeurs des propriétés des quatre types de matériaux étudiés. Les résistances en compression et en traction des blocs en terre-ciment et en terre-ciment-papier sont voisines et environ deux fois plus élevées que celles en terre-papier et trois fois plus élevées que celles en terre. Les valeurs des propriétés thermophysiques des matériaux incorporant du papier (cellulose) montrent une amélioration de leurs performances en isolation thermique.

ABSTRACT

This article presents an experimental study of the characterization of clay blocks stabilized with cement and/or recycled papers as construction materials. When they are utilized as finish for building envelopes, they must have appropriate mechanical strength and water stability. The measurements of the mechanical and thermophysical properties show differences between the properties of four investigated specimens. Mechanical properties such as compression and tensile stresses of clay-cement and clay-cement-paper mixtures are found to be quite similar but are two to three times greater respectively for clay-paper and purely clay blocks. The values of the thermophysical properties of blocks incorporating paper show improvement of their thermo insulation performances.

* *Corresponding author.*

E-mail address: abdoulay@univ-ouaga.bf

e-ISSN: 2170-127X, © Mouloud Mammeri University of Tizi-Ouzou, Algeria

RESEARCH REVIEW of
Sciences and Technologies

1 Introduction

La consommation mondiale d'énergie dans le bâtiment représente environ 40% de la consommation totale d'énergie et elle est responsable d'approximativement 25% du total des émissions du dioxyde de carbone (CO₂) [1]. En Afrique Subsaharienne cette consommation est de l'ordre de 50 à 70% [2]. Au Burkina Faso, on estime que les consommations d'électricité dans les bâtiments publics dues à la climatisation représentent entre 60 et 75% du total de la consommation dans les bâtiments climatisés et entre 30 et 75% du total de la consommation électrique basse tension [3]. Cependant des économies peuvent être réalisées si la conception architecturale et le choix des matériaux de construction prennent en compte le comportement thermique des bâtiments afin de minimiser les besoins de climatisation et d'éclairage.

La conception des bâtiments est directement liée au contexte climatique et aux matériaux de construction. La prévision des performances énergétiques et thermiques d'un bâtiment dépend des propriétés des matériaux à utiliser. Les produits de construction utilisés dans les ouvrages qui intègrent des techniques occidentales sont en grande partie importés. La proportion des importations de produits manufacturés liées au secteur du bâtiment et des travaux publics est aujourd'hui de l'ordre de 45% [4]. Face aux problèmes économiques et sociaux que connaît le pays, nombreux sont ceux qui réclament une véritable promotion de ses ressources naturelles. En effet, la promotion de matériaux de construction dits « locaux » et des techniques appropriées est à encourager dans le cas du Burkina Faso. Ce secteur contribue à lutter contre la pauvreté, à répondre à la demande d'habitat et à lutter contre la précarité du logement. Cependant, il est notoire que les constructions en terre souffrent d'un déficit en résistance, d'une fissuration systématique due au retrait et se heurtent aux problèmes liés à leur sensibilité à l'eau. Pour remédier à ces problèmes, la stabilisation de la terre est l'un des moyens le mieux indiqué. Cette stabilisation peut se faire par voie physique, mécanique ou chimique.

La stabilisation physique modifie les propriétés des sols par une amélioration des caractéristiques du matériau par correction de la granularité. Le mélange obtenu conduit selon le cas, soit à diminuer l'indice de plasticité du matériau de base, soit à lui conférer une certaine cohésion. L'amélioration de certaines propriétés peut se faire aussi par une stabilisation mécanique. Cette stabilisation améliore la brique de terre par la modification de sa densité naturelle. Il s'agit du compactage qui consiste essentiellement en une réduction de la porosité du matériau par resserrement des particules. Les effets d'un compactage effectué dans de bonnes conditions, se traduisent par une diminution de la perméabilité, de la compressibilité, de l'absorption d'eau et du gonflement. Le compactage à lui seul permet d'obtenir un matériau aux caractéristiques mécaniques élevées, cependant ces matériaux restent très sensibles à l'eau. L'augmentation de cette stabilité à l'eau est assurée par la stabilisation chimique. En fait elle modifie les propriétés d'une brique de terre par l'intermédiaire de certains adjuvants. Afin de diminuer la sensibilité à l'eau, on a souvent recours à l'adjonction de produits (liants hydrauliques), rendant les sols traités moins hydrophiles. L'adjonction du ciment qui est un liant hydraulique permet de lier les grains de sable tout en stabilisant l'argile de terre. On obtient ainsi une amélioration des caractéristiques mécaniques et de la stabilité à l'eau. Pour que le ciment assure son rôle de stabilisant, il faut un minimum de 3 à 4 % en poids de ciment par rapport au poids de la terre utilisée [5]. Meukam et al. [6] ont montré que l'ajout du ciment ou de sciure de bois à la terre améliore les propriétés mécaniques des briques.

Dans cet article nous faisons la combinaison de trois méthodes : la méthode physique par l'ajout de papier (cellulose), le procédé chimique par l'incorporation du ciment et la stabilisation mécanique par le compactage.

2 Présentation et identification du matériau terre et des liants utilisés.

Les échantillons utilisés dans ce travail sont faits à base du matériau terre seul ou incorporant du ciment et/ou du papier (la cellulose).

2.1 Le matériau terre

La terre utilisée dans cette étude provient de la carrière de l'Etablissement Zi Matériaux. Cette carrière est située dans la localité de Loumbila à 08 km de la ville de Ouagadougou capitale du Burkina Faso.

La terre étant un matériau très hétérogène, elle a un comportement complexe. C'est pourquoi le matériau terre doit être bien identifié avant toute prise de décision en vue de son utilisation éventuelle en construction. Cette identification peut être faite par l'analyse granulométrique. La connaissance de la granulométrie d'une terre donne des indications sur la qualité des briques crues élaborées à partir de cette terre. Pour avoir des briques de qualité, le sol ne doit pas être trop argileux. La

fraction argileuse ($<2 \mu\text{m}$) doit être comprise entre 5% et 30% et les gros grains ne doivent pas avoir une taille moyenne supérieure à 5 mm [7].

2.2 Le ciment et le papier (cellulose)

Le ciment, liant hydraulique est adapté aux sols peu argileux ou peu plastiques et aux sols contenant des argiles de faible activité. Lors de son hydratation avec l'eau contenue dans le sol, le ciment se transforme en cristaux stables dans le temps résistants à l'eau et qui créent des liaisons entre les grains du sol. Cette réaction nécessite une quantité suffisante d'eau. Par ailleurs, parce que le ciment atteint sa dureté et sa résistance maximale en 28 jours, il faudrait que les blocs restent humides durant tout ce temps. On les couvre d'une bâche en plastique ou à défaut, on procède à une cure d'arrosage. Meukam et al [6] montrent dans leurs travaux, une augmentation de la résistance à la compression avec l'accroissement de la teneur en ciment dans le matériau.

Le papier est une matière faite de substances végétales réduites en une pâte étalée et séchée en couche mince, et qui sert à écrire, à imprimer, à envelopper, etc. Le déchet de papiers et de cartons représente 25 % d'ordures ménagères, 71 % de déchets de bureaux et 29 % de déchets scolaires en France [8]. Dans la ville de Ouagadougou, les déchets de papiers et cartons représentent 11 % de la masse totale de déchets ménagers [9].

3 L'expérimentation

Le matériau terre prélevée dans la carrière subit d'abord des essais en laboratoire enfin de déterminer ses différentes propriétés géotechniques. Après la détermination, il doit être tamisé, malaxé avant la confection et le séchage des blocs. L'ajout des stabilisants se fait lors du malaxage. Les blocs de terre comprimée stabilisée comportent en masse 4 % de ciment et/ou 0,78 % de papier et le reste en matériau terre. Ces différents blocs ont été caractérisés afin de déterminer quelques propriétés mécaniques et thermophysiques.

3.1 Les propriétés géotechniques et mécaniques

3.1.1 Les propriétés géotechniques

Le classement d'un sol se fait à partir de deux essais de laboratoire qui sont l'analyse granulométrique et la détermination des limites d'Atterberg.

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions de grains de différentes tailles d'un matériau. Elle s'effectue par tamisage (tamis à maille carrée) pour des grains de diamètre supérieur à $80 \mu\text{m}$, et par sédimentométrie pour les grains les plus fins. Les analyses granulométriques par tamisage et par sédimentométrie ont été réalisées selon respectivement les normes NF P18-560 [10] et NF P94-057 [11].

Les limites d'Atterberg sont des caractéristiques géotechniques conventionnelles d'un sol qui marquent les seuils entre le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité « W_L »), et le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité « W_p »). L'indice de plasticité (I_p) déterminé par la différence ($I_p = W_L - W_p$) définit l'étendue du domaine plastique. Il est particulièrement important car il indique l'étendue de la gamme des teneurs en eau entre lesquelles le sol reste plastique [12]. Il permet d'apprécier la quantité et le type d'argiles présentes dans un échantillon. La détermination des limites d'Atterberg a été réalisée selon la norme NF P 94-051 [13].

3.1.2 Les propriétés mécaniques

Les matériaux de construction subissent des efforts et réagissent aux efforts simples de compression ou de traction. La qualité première d'un matériau de construction est de résister à cette pression sans se déformer. La résistance à la compression est la propriété mécanique la plus déterminante pour le choix des matériaux constituant les murs d'un bâtiment [14].

Les essais de compression monoaxiale et de flexion 3 points ont été réalisés sur plusieurs blocs de dimensions variables selon les normes NF EN 14617-15 et NF EN 12372.

Les tests de la résistance à la compression monoaxiale ont été réalisés sur des éprouvettes de dimension 9 x 14 x 14,5 cm grâce à une presse équipée d'un vérin hydraulique. La résistance maximale à la compression est déterminée par l'équation suivante :

$$R_c = \frac{F}{S} \quad (1)$$

(R_c (MPa): la résistance à la compression ; F (N): la force de rupture ; S (mm²): la surface d'application de l'effort.)

Les tests de résistance à flexion à 3 points sont réalisés sur des blocs de dimensions 9 x 14 x 29 cm grâce à la même presse, cette fois équipée d'un dispositif qui permet d'appliquer la force de flexion (F) au milieu de l'échantillon. A la rupture, la contrainte maximale de traction due à la flexion est calculée à partir de l'équation.

$$R_f = \frac{3}{2} \cdot \frac{L-100}{l \cdot e^2} \cdot F \quad (2)$$

(R_f (MPa): résistance à la traction par flexion à trois points ; F (N) : la force de rupture ; L (mm): la longueur du BTC ; l (mm): la largeur du BTC ; e (mm): l'épaisseur du BTC.)

3.3 Les propriétés thermophysiques

Les propriétés thermophysiques des matériaux sont des grandeurs qui caractérisent le comportement des matériaux. Certaines de ces propriétés représentent les capacités d'un corps à propager ou à stocker de la chaleur. Les caractéristiques thermophysiques telles que la conductivité thermique (λ), la diffusivité thermique (α) et la chaleur spécifique volumique (C) ont été mesurées en utilisant KD2-Pro, une sonde à double aiguille développée par la Société Decagon [15]. Ce dispositif utilise le modèle proposé par Craslaw et Jaeger [16] pour résoudre l'équation de transfert de chaleur par la méthode de propagation de source de chaleur linéaire en régime transitoire dans un milieu semi-infini, équation publiée dans les normes IEEE [17]. Les avantages de ce type de méthode se situent essentiellement au niveau de la simplicité de l'appareillage, de la rapidité de mesures et de la possibilité d'opérer in situ dans les conditions hygrothermiques quelconques.

L'effusivité thermique (E) est déterminée par l'expression suivante :

$$E = \sqrt{\lambda \cdot C} \quad (3)$$

E (J.s^{-1/2}.m⁻².K⁻¹): l'effusivité thermique ;

λ (W.m⁻¹.K⁻¹) : la conductivité thermique ;

C (J.m⁻³.K⁻¹) : la chaleur spécifique volumique.

Et la chaleur spécifique massique (C_p) est calculée par la formule suivante :

$$C_p = \frac{C}{\rho} \quad (4)$$

C_p (kJ.kg⁻¹.K⁻¹) : la chaleur spécifique massique;

C (kJ.m⁻³.K⁻¹) : la chaleur spécifique volumique ;

ρ (kg.m⁻³) : la masse volumique.

4 Résultats et analyses

4.1 Caractéristiques géotechniques

Les résultats (tableau1) permettent d'en déduire que le matériau terre est de classe A-2-6 selon US HRB. Ce matériau terre est de nature grave argileuse latéritique et est un sable limoneux au sens de la classification triangulaire de Taylor. Au regard de ces résultats de granulométrie et de limites d'Atterberg, il est utilisable pour la fabrication des briques crues qui pourraient être stabilisées aux liants hydrauliques [7].

Tableau1- Caractéristiques géotechniques du sol

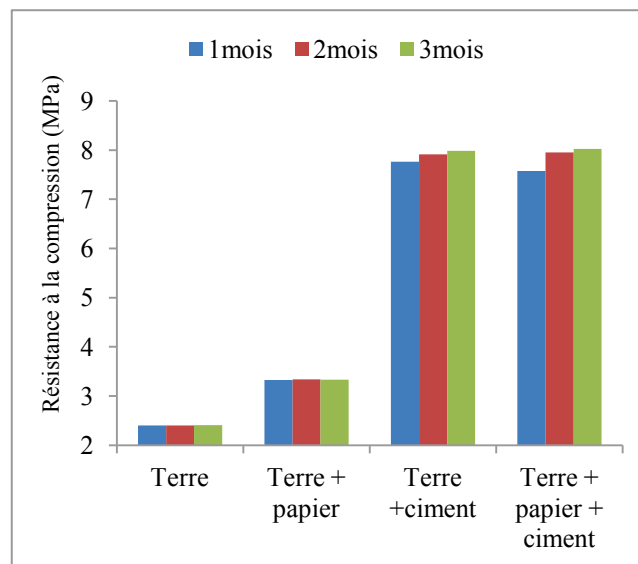
Sol	
Limite de liquidité (%)	40
Limite de plasticité (%)	19
Indice de plasticité (%)	21
Fraction argileuse ($d \leq 2\mu\text{m}$)	8

4.2 Les propriétés mécaniques.

Les différentes valeurs des résistances à la compression et à la traction par flexion à trois points des blocs sont représentées respectivement par la fig. 1 et le tableau 2:

Tableau 2 - Les valeurs des résistances à la flexion et des masses volumiques des blocs

Echantillons	Résistances à la flexion (MPa)	Masses volumiques (kg.m^{-3})
Terre (T)	0,205± 0,004	1835,45± 27,53
Terre-Papier (TP)	0,248± 0,006	1745,34± 26,17
Terre-Ciment (TC)	0,689± 0,015	1959,76± 2 8,39
Terre-Papier-Ciment (TPC)	1,132± 0,021	1820,47± 27,20

**Fig. 1 -Résistance à la compression en fonction de l'âge des BTC**

Les essais de compression ont été réalisés 30 jours après la confection des blocs. Ces blocs avaient une teneur moyenne de 1,3%. Les valeurs des résistances varient de 2,399 à 7,765 MPa. Lorsqu'on incorpore à la terre du papier (cellulose), du ciment et du mélange ciment-papier, les valeurs des résistances sont améliorées respectivement de 38,75%, 223,54% et

215,5%. Nous remarquons que le papier qui est une matière organique retarde la prise du ciment au début mais à partir du second mois de cure, il contribue à améliorer les résistances (fig. 1).

La faible augmentation des valeurs des résistances des blocs contenant du ciment avec le temps est essentiellement due au fait que la réaction pouzzolanique se poursuit, il s'agit d'une réaction dont la cinétique est lente [18]. Après 28 jours de cure, l'évolution des propriétés mécaniques des blocs est peu significative. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Millogo [18] et Meukam et al [6]. Les valeurs des résistances sont nettement supérieures à celles des adobes qui, stabilisés à 4% de ciment ont une valeur maximale de 1,126 MPa [19]. Donc nous pouvons dire que la compression améliore considérablement les propriétés mécaniques.

Les valeurs des résistances à la traction par flexion à trois (03) points sont faibles, car ces briques ont des élasticités très faibles. La stabilisation améliore les valeurs des résistances des blocs en terre. L'ajout du papier augmente les résistances des blocs en terre, cependant il diminue celles des blocs contenant du ciment.

4.3 Les propriétés thermophysiques

Les conductivités thermiques varient de 0,490 à 0,671 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, nous pouvons dire que les valeurs de conductivité se rapprochent de celles mesurées par O. Coulibaly [20]. Aussi ces conductivités sont dans les mêmes ordres de grandeurs que celles des briques comprimées stabilisées au ciment, à la sciure de bois et à la pouzzolane, dont les valeurs moyennes varient de 0,55 à 0,95 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [6].

L'ajout du papier (isolant) à la terre réduit en moyenne la conductivité thermique de 11,93 %. Et l'incorporation du ciment augmente en moyenne la conductivité de 20,59 %. Cependant, en plus du ciment s'il y a un ajout de papier, cette conductivité n'augmente qu'en moyenne de 5,76 %. L'augmentation de la conductivité avec l'ajout du ciment peut s'expliquer par le fait que le ciment constitué de fines, réduit le nombre de pores remplis d'air dont la conductivité est relativement faible.

Les valeurs de la chaleur spécifique varient de 1,417 à 1,592 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ selon les échantillons. L'incorporation de papier et du ciment à la terre augmente en moyenne respectivement sa chaleur spécifique de 12,30 % et de 5,29 %. En plus du papier s'il y a ajout du ciment, cette chaleur augmente de 10,16 %.

Les blocs en terre-papier ont les plus faibles diffusivités thermiques, ils transmettront faiblement la chaleur. La stabilisation de la terre au ciment et au ciment-papier augmente la diffusivité thermique respectivement de 10,28 % et de 1,87 %. Cependant la stabilisation au papier réduit la diffusivité de 17,45 %.

On constate que l'ajout du ciment et du ciment-papier à la terre augmente l'effusivité thermique respectivement de 16,29 % et de 6,89 %. Cependant, l'incorporation du papier à la terre diminue cette effusivité de 3,14 %. Les blocs en terre-papier qui ont les plus faibles valeurs d'effusivités thermiques ($1164,555\text{J}\cdot\text{s}^{-1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$) verront leurs températures superficielles croître rapidement. Les blocs en terre-ciment absorberont rapidement beaucoup d'énergie sans se réchauffer notablement en surface. A l'inverse, les briques en terre-papier se réchaufferont rapidement en surface en absorbant peu de chaleur.

Tableau 3 -Propriétés thermophysiques des blocs de terre comprimée

Propriétés	Terre	Terre + papier	Terre + ciment	Terre + papier + ciment
λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	0,556 ± 0,006	0,490 ± 0,004	0,671 ± 0,009	0,588 ± 0,006
C ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$)	2,602 ± 0,034	2,778 ± 0,025	2,925 ± 0,038	2,842 ± 0,026
ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1835,450 ± 27,532	1745,340 ± 26,175	1959,760 ± 28,392	1820,470 ± 27,207
C_p ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	1,417 ± 0,018	1,592 ± 0,014	1,492 ± 0,019	1,561 ± 0,014
E ($\text{J}\cdot\text{s}^{-1/2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)	1202,291 ± 10,720	1164,555 ± 10,341	1398,155 ± 12,873	1285,095 ± 12,301
α ($10^{-7}\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)	2,140 ± 0,023	1,767 ± 0,016	2,360 ± 0,034	2,180 ± 0,023

5 Le temps de diffusion de la chaleur

La propagation de la chaleur dans un matériau dépend de sa diffusivité thermique (α), qui est le rapport de la conductivité thermique λ ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) et de la chaleur spécifique volumique :

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \quad (5)$$

Avec ρ (kg/m^3) la masse volumique et C_p ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$) la chaleur spécifique massique. La chaleur spécifique volumique est le produit ρC_p ($\text{J.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$). La diffusivité thermique α ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$) détermine la vitesse avec laquelle la chaleur se propage dans le matériau.

Plus le matériau a une conductivité élevée et une faible capacité calorifique, plus la diffusivité est élevée.

La relation entre l'épaisseur sollicitée et le temps de diffusion de la chaleur à l'intérieur d'un composant homogène du bâtiment se formule en faisant le produit de la capacité calorifique surfacique par la résistance thermique de ce composant [21] :

$$t = Q_s.R = (e.\rho C_p) \cdot \left(\frac{e}{\lambda}\right) \quad (6)$$

Soit,
$$t = \frac{e^2}{\alpha} \Rightarrow e = (t.\alpha)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Sur une période t donnée, la chaleur pénétrera davantage dans un matériau ayant une diffusivité plus importante. Par exemple, en supposant une durée d'ensoleillement sur un cycle journalier égale à 12 h, l'épaisseur caractéristique atteinte est de 9,88 cm pour le bloc en terre-ciment (TC), de 9,78 cm pour le bloc en terre (T), 8,74 cm pour le bloc en terre-papier (TP) et de 9,70 cm pour le bloc en terre-ciment-papier (TPC).

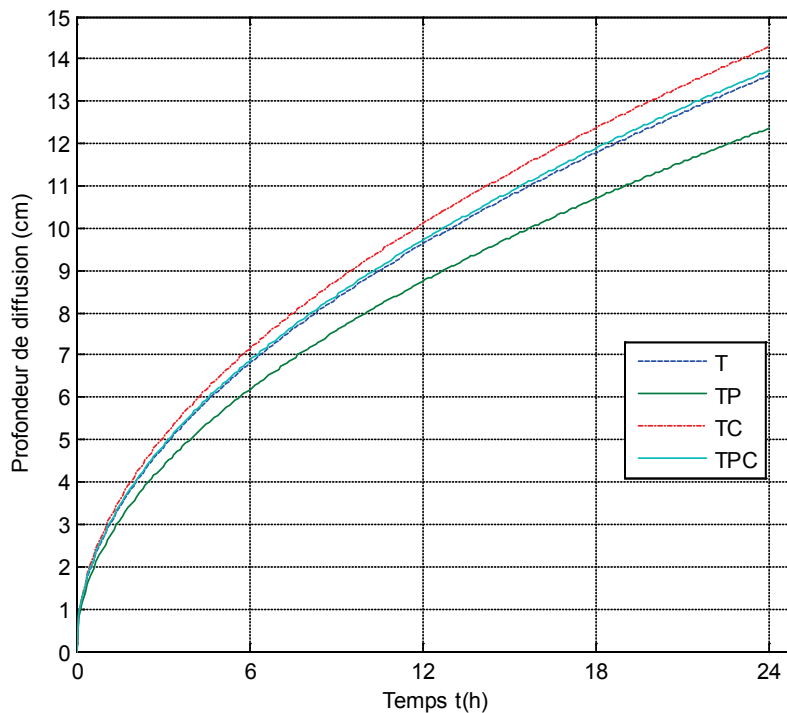


Fig. 2 -Propagation de la chaleur pour différents matériaux en fonction du temps de diffusion

De ces résultats, nous remarquons que quelque soit le matériau choisi, la profondeur de diffusion de la chaleur est inférieure à 10 cm sur un cycle journalier de 12 heures d'ensoleillement. De ce fait, nous pouvons dire que ces matériaux peuvent être considérés comme des isolants.

6 Conclusion

La stabilisation de la terre au papier et/ou au ciment a une influence notable sur les propriétés mécaniques et thermophysiques des blocs comprimés. Les résistances en compression et à la flexion ont été améliorées avec l'ajout des stabilisants et nous notons une augmentation importante pour les briques stabilisées au ciment et au ciment-papier. Tous les blocs étudiés ont tous des valeurs de résistances à la compression supérieures à 2,30 MPa. Au regard des résultats obtenus, nous pouvons dire que tous les blocs présentent de bonnes qualités mécaniques et peuvent être utilisés dans la construction des bâtiments en fonction de leurs destinations.

L'étude expérimentale des propriétés thermophysiques donne des indications pour le choix du matériau en vue de minimiser les apports thermiques dans les bâtiments. Nous constatons une diminution des valeurs de la conductivité thermique et de la profondeur de diffusion avec l'ajout du papier. Tous les échantillons étudiés ont des conductivités thermiques inférieures à $0,7 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

En considérant les propriétés mécaniques et thermophysiques, les blocs stabilisés au papier et au ciment présentent les meilleurs avantages. Ils ont les plus grandes résistances à la compression (environ 8 MPa) et à la flexion à trois points (1,132MPa), de faibles conductivités thermiques ($0,588 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) et de masses volumiques faibles.

Dans notre étude, nous avons réalisé de nouveaux matériaux incorporant du papier (cellulose) en vue d'une amélioration de leurs performances en isolation thermique dans le bâtiment. Sur le plan écologique l'utilisation de ces matériaux contribue à réduire l'émission de dioxyde de carbone et à diminuer la quantité de déchets ménagers qui polluent nos villes.

Remerciement : les auteurs tiennent à remercier :

Etablissement Zi Matériaux pour sa contribution à la confection des échantillons ;

Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics pour sa contribution à la caractérisation géotechnique et mécanique.

REFERENCES

- [1]- N. Fezzioui, M. Benyamine, N. Tadj, B. Draoui, S. Larbi, Performance énergétique d'une maison à patio dans le contexte maghrébin (Algérie, Maroc, Tunisie et Libye). *Revue des Energies Renouvelables* 15 (3) (2012) 399 – 405.
- [2]- Les systèmes de ventilation et climatisation. Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie (IEPF), Fiche technique PRISME n° 2, 2001.
- [3]- Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques : Annexes de la communication nationale du Burkina Faso, Novembre, 132 pages, 2001.
- [4]- U. Wyss, La construction en « matériaux locaux », état d'un secteur à potentiel multiple. Direction du développement et de la coopération, Oagadougou, Burkina Faso, décembre, 2005.
- [5]- P. Meukam, Caractérisation de matériaux locaux en vue de l'isolation thermique de bâtiments. Thèse de doctorat, Université de Yaoundé I, Cameroun, 2004.
- [6]- P. Meukam, Y. Jannot, A. Noumowe, T.C. Kofane, Thermo physical characteristics of economical building materials. *Constr. Build. Mater.* 18(6) (2004) 437-443.
- [7]- Association Française de Normalisation, Blocs de terre comprimée pour murs et cloison, NF XP P 13-901 AFNOR, 2001.
- [8]- M. Dahli, R. Toubal, Matériau isolant thermique à base de déchets ménagers et oléicoles, *Revue des Energies Renouvelables* 13 (2) (2010) 339 – 346.
- [9]- S. Hamidou, J.F. Nzihou, M. Bouda, T. Rogaume, J. Koulidiati, B.G. Segda, Contribution à l'évolution du pouvoir calorifique inférieur du déchet modèle des pays en développement : cas de la fraction combustible des ordures ménagères (OM) du Burkina Faso, *Sciences et Structure de la Matière* 1 (2013) 1-16.
- [10]- A.S.L. Wouatong, W.H. Tchougouelieu, F. Ngapgue, V. Katte, V.K.K. Beyala, Mineralogical and geotechnical characteristics of the loose weathered trachytes of Fongo-Tongo (West-Cameroon), *Int. J. Appl. Sci. Tech.* 4(7) (2014) 85-96.

-
- [11]- Association Française de Normalisation, Analyse granulométrique des sols, Méthode par sédimentation, NF P94-057, AFNOR, 1992.
- [12]- H.B. Zghal, M. Medhioub, T. Mhiri, Caractérisation physicochimique et mécanique de matériaux céramiques obtenus à partir des argiles tunisiennes. *Verres, Céramiques & Composites* 1 (2) (2011) 25-33.
- [13]- Y. Millogo, J.C. Morel, K. Traoré, R. Ouedraogo, Microstructure, geotechnical and mechanical characteristics of quicklime-lateritic gravels mixtures used in road construction. *Constr. Build. Mater.* 26 (1) (2012) 663-669.
- [14]- J. Ndione, S. Gaye, V. Sambou, M. Adj, D. Azilinson, A. Vianou, Optimisation des propriétés thermiques et mécaniques du béton à base de pierre ponce. *Journal des Sciences Pour l'Ingénieur*, 6 (2006) 25-30.
- [15]- Decagon, KD2 Pro Specifications, Decagon Inc., 2006.
- [16]- J. Craslaw, H. Jaeger, *Conduction of Heat in Solids*, E. Oxford Science Publications, Londres, 1959.
- [17]- C25W/P442, Guide for Soil Thermal Resistivity Measurement, PE-IEEE Power and Energy Society, 1981.
- [18]- Y. Millogo, Etude géotechnique, chimique et minéralogique de matières premières argileuse et latéritique du Burkina Faso améliorées aux liants hydrauliques : application au génie civil (bâtiment et route). Thèse de doctorat, université de Ouagadougou, Burkina Faso, 2008.
- [19]- B.K. Imbga, P.F. Kieno, E. Ouedraogo, Thermal and Mechanical Study of the Adobe Stabilized with Straws and /or Cement at different Dosage Rates. *Int. J. Eng. Innov. Tech.* 4 (4) (2014) 200-204.
- [20]- O. Coulibaly, Contribution à l'élaboration d'une réglementation thermique et énergétique des bâtiments au Burkina Faso : Données de base multiparamétriques et modélisation thermo-aéraulique sous CoDyBa et TRNSYS. Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 2011.
- [21]- L. Chahwane, Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, France, 2011.