

# PROPRIETES MECANQUES ET STABILITE DANS L'EAU DES BLOCS DE BOUE D'ARGILE RENFORCES A LA PAILLE DE RIZ

C. H. Kouakou\*, A. C. Djohoré, K.C Kouadio, E. Emeruwa  
Laboratoire de GéoMatériaux et de Technologie de l'Habitat, UFR-STRM, Université Félix Houphouët Boigny 22  
BP 582 Abidjan 22

\*Auteur correspondant: [honore\\_kouakou2@yahoo.fr](mailto:honore_kouakou2@yahoo.fr)

## Résumé

Le retour de nos jours aux techniques constructives en terre dans de nombreux pays a suscité le développement de techniques variées de production de blocs de terre soutenu par les recherches scientifiques. Parmi celle-ci, la technique de blocs de boue d'argile coulée qui ressemble à la technique la plus connue des adobes mais est très différente. Cette recherche vise à revisiter cette technique et à améliorer les performances mécaniques et la stabilité dans l'eau des blocs.

Des blocs de boue d'argile contenant 8 % de ciment et des teneurs de pailles de riz variant entre 0 et 1 % (proportion massique) ont été confectionnés. Certains ont été mis à maturation dans de l'eau pendant 20 jours puis séchés durant 5 jours au soleil tandis que la maturation des autres s'est faite à la température ambiante dans une salle pendant 25 jours. Ces blocs ont été sollicités en flexion à l'état sec et humide. De même leurs absorptions d'eau et gonflements ont été mesurés. Les blocs ayant subi une maturation dans l'air se dissolvent totalement ou partiellement dans l'eau tandis que, ceux qui ont été soumis à la maturation dans l'eau restent stables dans l'eau. En outre, de façon générale la présence de fibre provoque une augmentation du taux d'absorption d'eau et le gonflement des blocs. Elle favorise aussi l'augmentation des résistances mécaniques des blocs à cause de leur distribution et de l'adhérence à la matrice argile ciment. Enfin, les meilleures résistances en flexion sont obtenues avec 0,8 % de fibre sur les blocs ayant subi une maturation dans l'eau.

**Mots clés :** Paille de riz, bloc de boue, gonflement, propriétés mécaniques, maturation

## **1- Introduction**

De nos jours, l'on estime qu'approximativement 30 % de la population mondiale vit encore dans une maison construite en terre (Goodhew et Griffiths 2005, Binici et al. 2005). Ce retour aux habitats en terre va continuer à augmenter à cause de la prise en compte des notions développement durable et de l'apport de ces constructions à la protection de l'environnement. Pour répondre à cette forte demande en matériaux terre de nombreuses techniques d'élaboration des produits de construction à base de terre se sont développées. Ainsi, la technique des adobes et des blocs de terre comprimée connaissent des améliorations appréciables dans leur mise en œuvre. De plus, des procédés d'incorporation d'additif soit minéraux, soit de fibres végétales à la matrice en terre ont été envisagées pour accroître la résistance mécanique, la stabilité, l'imperméabilité et la durabilité des produits en terre (Reddy et Gupta 2005, Mesbah et al. 2004)

Par contre la technique de production de blocs de terre par coulage des boues dans des moules a très peu évolué. Sa mise en œuvre est fortement basée sur l'empirisme et la connaissance traditionnelle. Le matériel utilisé est très simple donc accessible aux populations disposant d'un pouvoir d'achat faible. Elle peut encore être utile pour loger de façon descendante des réfugiés. Aussi cet article se propose-t-il de revisiter la production de blocs par coulage boue d'argile.

Le séchage de boue d'argile entraîne en général la fissuration des produits, qui sont des zones de faiblesse qui les exposent à une dégradation précoce. Ainsi de la paille de riz et du ciment ont été incorporés dans les blocs. Par conséquent, cette étude a pour objectif d'améliorer les propriétés mécanique et la stabilité des blocs de boue.

## **2- Matériel et méthodes**

### **2-1. Matière première**

#### **➤ Argile**

L'argile utilisée a été prélevée dans la localité de Dabou, à proximité du village Agnéby (SW d'Abidjan). Elle a été réduite en poudre grâce à un broyeur à billes.

L'argile a été soumise à une analyse granulométrique et à la diffraction des rayons X à l'aide respectivement d'un granulomètre laser LS 230 de type « COULTER » et d'un diffractomètre Inel CPS 120 de type « SIEMENS » utilisant la radiation  $K\alpha$  du cuivre.

#### **➤ Ciment**

Le ciment utilisé pour cette étude est un ciment Portland composé (CEM II) distribué par la Société des Matériaux d'Abidjan (SOCIMAT) sous la marque «BELIER».

Le ciment a été soumis à une analyse granulométrique à l'aide du granulomètre laser LS 230 de type « COULTER ».

### ➤ Paille de riz

La paille de riz utilisée dans cette étude est obtenue après la récolte du riz dans un champ proche de la localité de Dabou au sud de la Côte d'Ivoire. Lestiges de riz sèches (fig. 1) sont débarrassées de leurs feuilles. Les pailles de riz ainsi obtenues sont entreposées dans une salle à une température de 25 °C. Elles ont la forme d'un tube creux dont le diamètre extérieur varie entre 1 et 4 mm. Cette paille de riz a été soumise à des essais d'absorption d'eau et de traction.



**Figure 1 :** structure d'une plante de riz seca) tige b) paille

## 2-2 Elaboration des blocs

Cette élaboration se fait en plusieurs étapes. D'abord 8 % de ciment et les fibres de coco de 30 mm de longueur, dans les proportions massique de 0 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 1% sont ajoutés à la poudre argile puis l'ensemble est mélangé à sec pendant 30 s. Ensuite la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une pâte de consistance normale avec un affaissement au cône d'Abrams correspond à 32 mm est ajoutée. Cela correspond aux différents rapports eau sur matériaux contenu dans le tableau I. L'ensemble est malaxé jusqu'à obtention d'un mélange homogène à vue d'œil. Enfin, la pâte obtenue est coulée dans les moules de dimension 4 x4 x 16 cm<sup>3</sup> puis stocker dans une salle à la température de 26 °C et une humidité constante (70 %). Trois (3) jours après leur mise en forme, les éprouvettes sont démoulées et réparties en trois groupes. Le premier groupe d'éprouvette est conservé dans la même salle à la température ambiante de 25 °C et à une humidité relative de 70 % jusqu'à 28 jours d'âge. Le deuxième groupe est mis bâche jusqu'à 24 jours d'âge puis séché à la température ambiante de la salle pendant 4 jours. Le troisième groupe est immergé dans de l'eau jusqu'au 24<sup>ième</sup>

jour puis les éprouvettes sont retirés de l'eau et séchées à la température ambiante de la salle pendant 4 jours. Ces trois groupes d'éprouvette ainsi traités seront soumis aux différents essais.

**Tableau I :** Composition des différents mélanges

<b>Pourcentage massique de fibre (%)</b>	<b>Rapport eau matériau</b>
0	0,60
0,2	0,62
0,4	0,63
0,6	0,64
0,8	0,65
1	0,66

## 2-3 Techniques d'essai

### ➤ Essai mécanique en flexion

L'essai de flexion trois (3) point à été réalisé sur les éprouvettes suivant la norme NFP 15-451. La résistance ( $\tau_f$ ) à la flexion est calculée à partir des formules :

$$\tau_f = 3F_{fl}/3b^3 \quad (1)$$

Ces essais ont été réalisés sur des blocs secs et humides. Les valeurs présentées sont les moyennes obtenues sur trois blocs.

### ➤ Essai absorption et de gonflement

Deux épingles de 0,5 mm de diamètre sont d'abord enfoncées dans les différentes éprouvettes séparées d'une distance (l). Ensuite, la masse ( $m_o$ ) des éprouvettes sont déterminées à l'aide d'une balance de précision 0,01 puis elles sont immergées dans de l'eau. Au bout de 15 ; 30 ; 60 min et 24 heures les éprouvettes sont sorties de l'eau puis la distance entre les deux épingles ( $l_t$ ) sont mesurées avec un pied à coulisse de précision 0,02 mm et leur masse ( $m_t$ ) est déterminée. Le gonflement (G) et l'absorption (A) sont donnés par les formules :

$$G = 100 * (l_t - l_o) / l_o$$

$$A = 100 * (m_t - m_o) / m_o$$

### ➤ Retrait de séchage et masse volumique

Au cours du séchage les dimensions des éprouvettes diminuent. Pour apprécier ce rétrécissement, le retrait de séchage est calculé à partir des dimensions (longueur(L), largeur

(l) et hauteur (h)) déterminées sur les éprouvettes au premier jour et après 28 jours de séchage avec un pied à coulisse de précision 0,02 mm. Le retrait est donné par la formule :

$$R=100*(V-V_0)/V_0$$

Avec V volume intérieur du moule,  $V_0$  volume de l'éprouvette après 28 jours de séchage et maturation ( $V=L*l*h$ ).

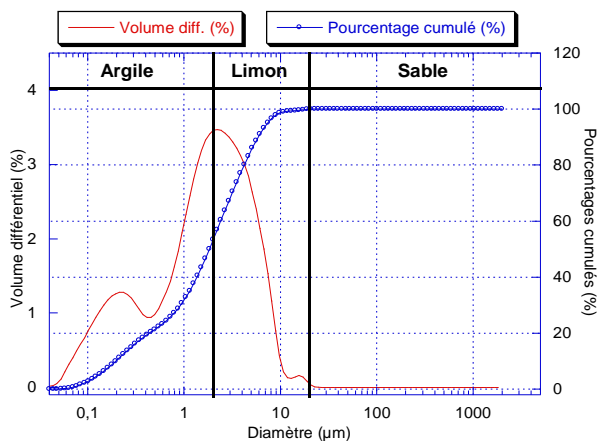
De plus à 28 jours de séchage, certaines éprouvettes sont mises à l'étuve pendant 24 heures à la température de 105 °C. Ensuite leur masse ( $m_1$ ) est déterminée à l'aide d'une balance de précision 0,01. Enfin leur masse volumique sèche est calculée

### 3 –Résultats et Discussion

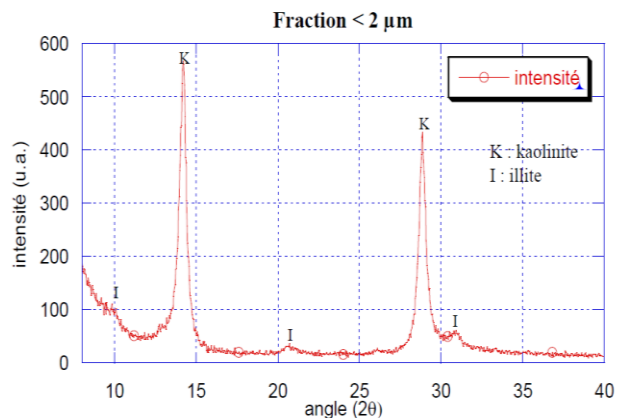
#### 3-1 Caractérisation de la matière première

##### 3-1-1 Argile

Les analyses granulométrique réalisées sur l'argile montrent qu'elle est composée de 52 % d'argile, 47 % de limon et 1 % de sable fin (fig. 2) donc a une texture argilo-limoneuse. Elle est formée majoritairement de deux populations de grain 0,02  $\mu\text{m}$  et 2 $\mu$ . Cette argile est constituée au plan minéralogique d'illite, majoritairement de la kaolinite et du quartz (fig. 3). Au plan chimique (tableau II) l'argile est formée majoritairement de trois oxydes :  $\text{SiO}_2$  (56,20 %);  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (27,75 %) et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (6,60 %). Elle ne contient pas de sel qui pourrait limiter sont stabilisation par le ciment. Des résultats identiques ont été obtenus par Kouadio et al. (2003)



**Figure 2 :** Granulométrie de l'argile



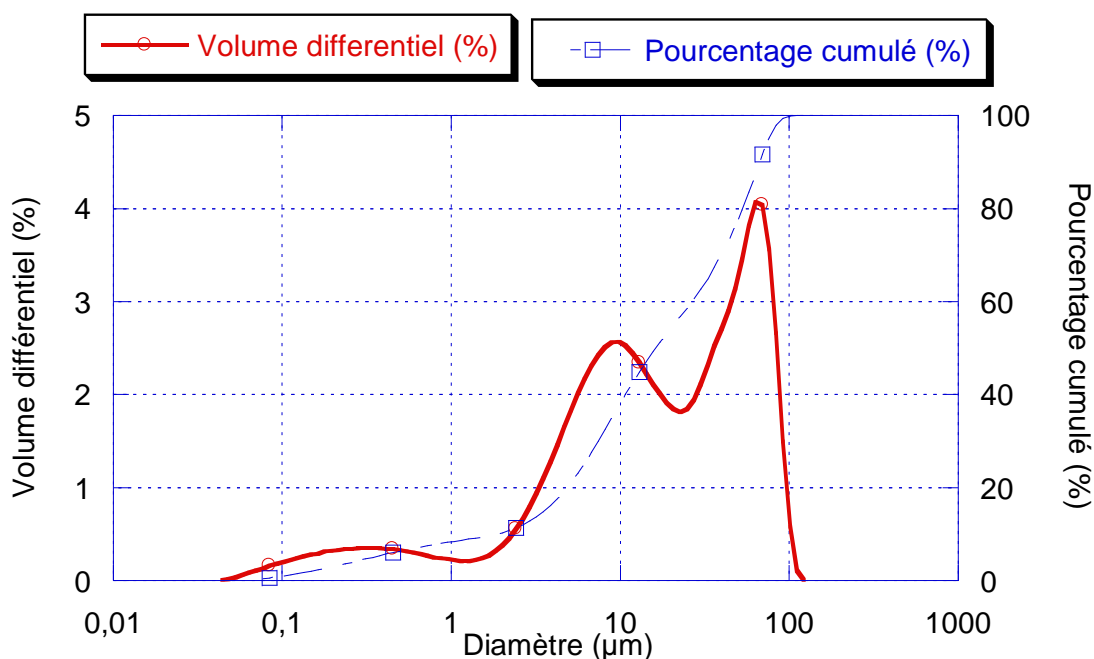
**Figure 3 :** Courbe de diffraction X de l'argile

**Tableau II:** Composition chimique de l'Argile de Dabou

Oxydes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	SO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Teneur (%)	56,20	27,75	6,60	1,19	1,86	0,64	0,95	1,19	0,06	0,73	0,10

### 3-1-2 Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est composé essentiellement de particules de diamètre inférieur à 100  $\mu\text{m}$ . Il est constitué majoritairement de deux types de grains de diamètre 9  $\mu\text{m}$  et 68  $\mu\text{m}$ .

**Figure 3 :** Granulométrie du ciment

Ce ciment est de façon général constitué de particules plus grossières que l'argile

### 3-1-3 Pailles de riz

Le tableau III donne les résultats de la caractérisation de la paille de riz. Il indique que la paille de riz absorbe 300 % de sa masse en eau. Elle a donc une très grande capacité d'absorption. Ce tableau montre aussi que la paille de riz a une forte résistance en traction. Elle peut donc être utilisée comme renfort dans les matériaux et servir à les rendre légers. Cependant la paille de riz peut accroître la capacité d'absorption d'eau des produits qui la contiennent.

**Tableau III** : Caractéristique de la paille de riz

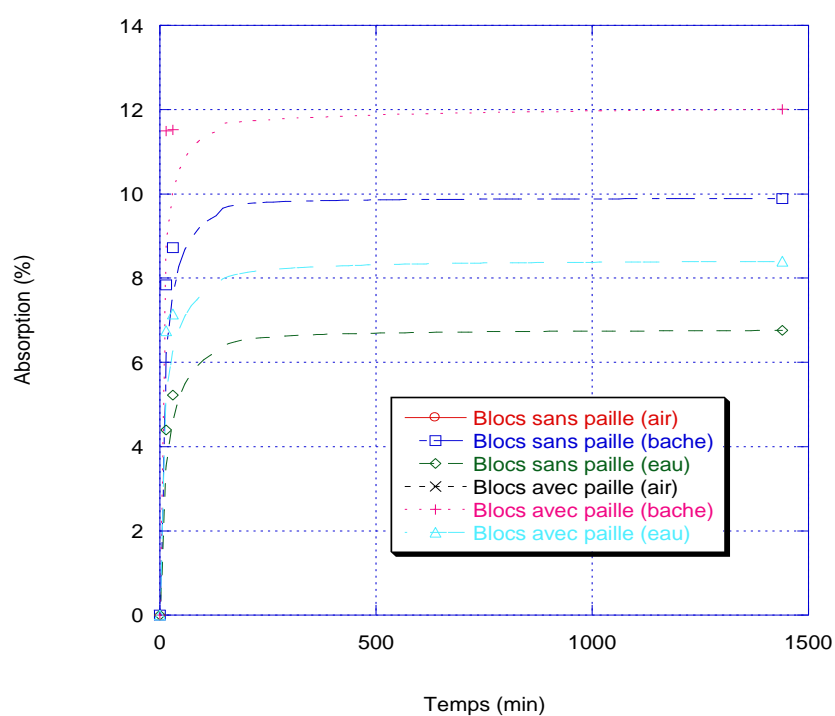
Paramètres	Paille de riz
Masse volumique	0,33
Absorption d'eau à saturation (%)	300
Résistance à la traction (MPa)	145

### 3-2 Stabilité dans l'eau des blocs

#### 3-2-1 Absorption des blocs

La figure 4 présente la variation de l'absorption des blocs en fonction du temps. Elle montre que les blocs mis à maturation dans l'air se dissolvent totalement dans l'eau tans disque ceux mis à maturation sous bâche et dans l'eau sont stables. Le mode de maturation des blocs améliore leur stabilité dans l'eau.

La figure montre aussi que pour un même type de bloc, ceux mis à maturation sous bâche d'absorbent plus d'eau que leur homologues mis à maturation dans l'eau. La maturation sous bâche occasionne dans les blocs une capacité d'absorption capillaire plus importante que ceux conservés dans l'eau. La maturation dans l'eau conduit à des blocs plus ayant une faible capacité d'absorption et stable dans l'eau.



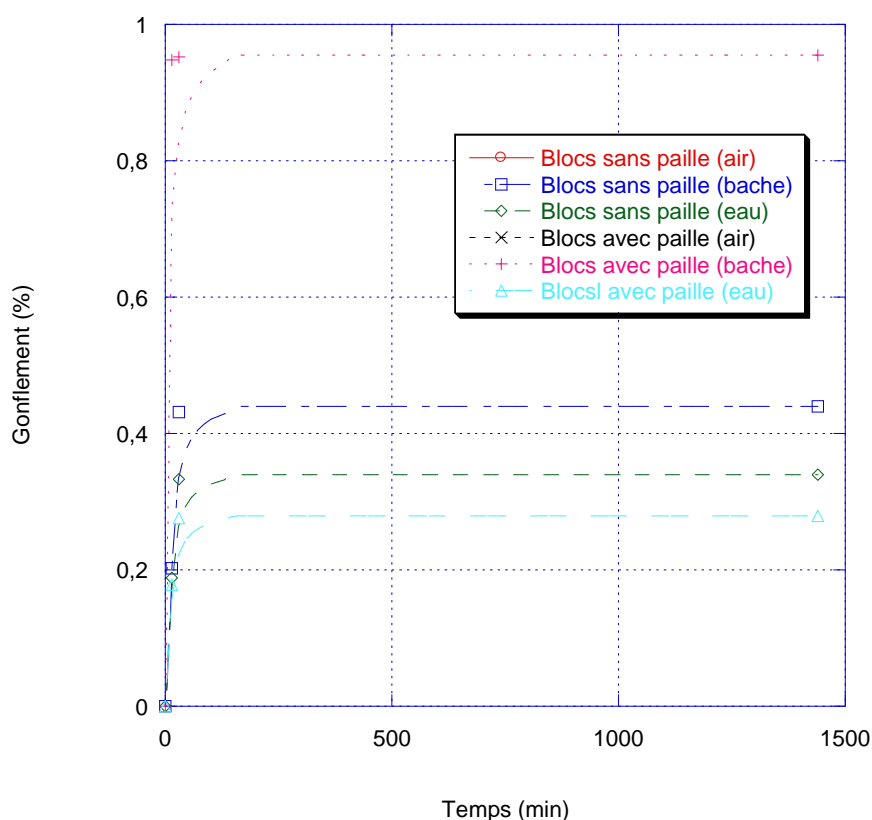
**Figure 4** : Variation de l'absorption en fonction du temps

Par ailleurs, la présence de paille dans les blocs favorise une grande capacité d'absorption car pour un même mode de maturation les blocs avec paille ont une absorption plus élevée. Les pailles de riz ayant une grande capacité d'absorption, leur présence dans les blocs augment accroit celle de ces derniers.

Les courbes d'absorption présentent toutes la même forme. La pente de ces courbes d'absorption de zéro à 15 min correspond la vitesse d'absorption. Elles sont identique quelque soit le mode de maturation et la présence ou non de paille de riz. La vitesse d'absorption étant fonction de la taille des pores les blocs pourraient donc contenir les mêmes types de pores. Le mode de maturation entraine la fermeture de certains pores capillaire d'où la variation de la capacité d'absorption des blocs

### 3-2-2 Gonflement des blocs

En absorbant de l'eau, les blocs peuvent augmenter de volume. La figure 5 présente le gonflement des blocs en fonction du temps. Cette figure montre que pour un même type de bloc, ceux mis à maturation sous bâche gonflent plus que leur homologue mis à maturation dans l'eau. La maturation dans l'eau occasionne une faible capacité de gonflement des blocs par rapport à ceux conservés sous bâche. La maturation dans l'eau conduit à des blocs moins gonflants dans l'eau. La maturation favorise la formation de liaisons entre les particules d'où la réduction du gonflement.



**Figure 5 :** Variation du gonflement des blocs en fonction du temps



En présence de paille les blocs ayant subi une maturation sous bâche ont une grande capacité de gonflement par rapport à ceux n'en contenant pas alors qu'au niveau des blocs ayant subi une maturation dans l'eau ceux sans paille gonflent plus que ceux avec paille. Lors de la maturation dans l'eau, les blocs et les pailles de riz qu'ils contiennent sont saturés en eau contrairement à la maturation sous bâche où les blocs se trouvent dans un espace à l'humidité élevée. Dans cet environnement saturé en eau, le gel de ciment peut facilement cristalliser autour des pailles de riz, ainsi empêcher leur gonflement.

### 3-3 Résistance mécanique en flexion des blocs

Les propriétés mécaniques des blocs en fonction de leur mode de maturation sont données dans le tableau IV. A l'état sec ou humide en l'absence ou en présence de paille de riz, la résistance des blocs est plus élevée lorsque la maturation est faite sous l'eau et elle baisse lorsque la maturation est faite sous bâche et est plus faible quand la maturation a lieu dans l'air. Les mêmes observations sont faites à l'état humide. La maturation des blocs dans un environnement très humide favorise une meilleure cristallisation du ciment d'où l'augmentation de la résistance.

**Tableau IV** : Résistance à la flexion des blocs

Mode de maturation	Résistance des blocs sans paille			Résistance des blocs avec paille		
	Etat sec (kPa)	Etat humide (kPa)	$R_{fsec}/R_{fhumide}$	Etat sec (kPa)	Etat humide (kPa)	$R_{fsec}/R_{fhumide}$
Air	104,2	-	-	144,7	-	
Bâche	110,4	88,5	0,80	151,4	86,6	0,57
Eau	113,1	99,1	0,88	153,2	90,7	0,60

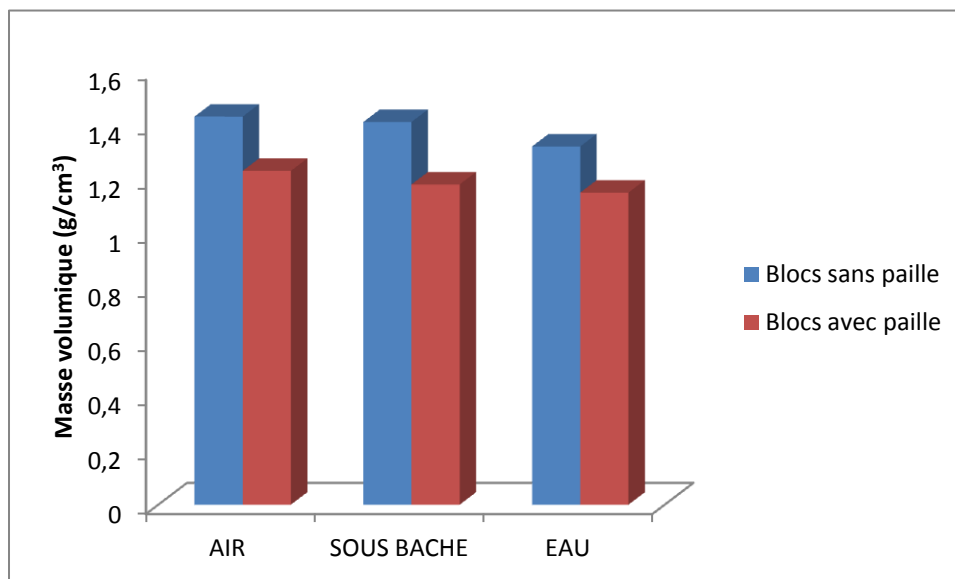
Par ailleurs ce tableau montre aussi qu'à l'état sec, la présence de paille dans les blocs renforce leur résistance mécanique à la flexion. Le gain de résistance par rapport aux blocs sans paille est supérieur à 35 % quelque soit le mode de maturation. Par contre lorsque les blocs sont à l'état humide, une perte de résistance inférieure à 8 % par rapport aux blocs sans paille est constatée.

### 3-4 Propriétés physique des blocs

#### 3-4-1 Masse volumique des blocs

La figure 6 montre la variation de masse volumique des blocs. Elle indique la masse volumique des blocs varie avec leur mode de maturation et avec la présence ou non de paille de riz. Pour un même mode de maturation, la masse volumique des blocs avec paille est plus faible que celle des blocs sans paille. La paille rend les blocs plus légers.

Elle indique aussi que la masse volumique des blocs en absence ou en présence de paille est plus important lorsque leur maturation à lieu dans l'air et diminue en allant de la maturation sous bâche à la maturation dans l'eau. Cela peut s'expliquer par le retrait au cour du séchage.

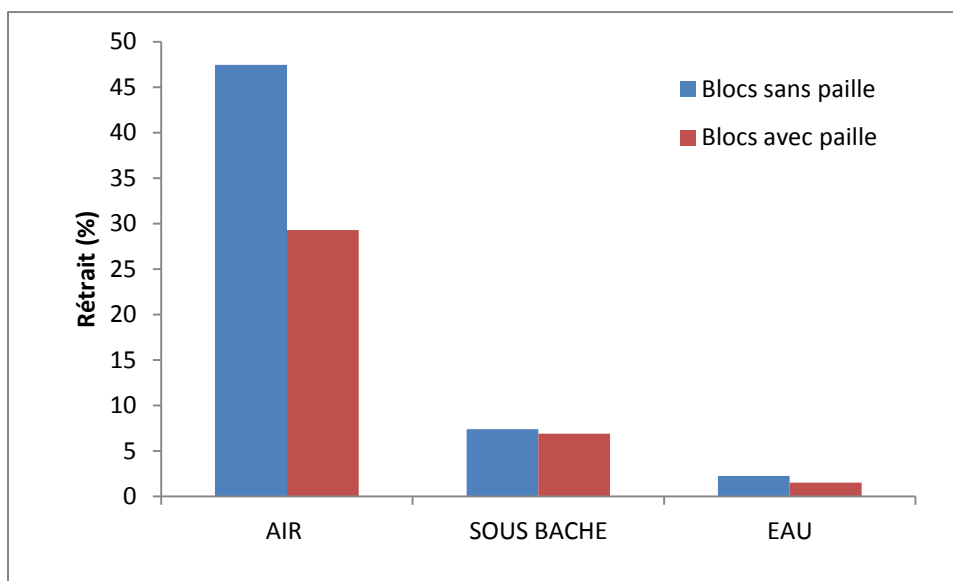


**Figure 6 :** Variation de la masse volumique en fonction du mode de maturation

### 3-4-2 Retrait de séchage

Le retrait de séchage des blocs varie avec leur mode de maturation et avec la présence ou non de paille de riz (fig. 7). Pour un même mode de maturation, le retrait le retrait de séchage des blocs avec paille est plus faible que celle des blocs sans paille. La paille limite le rétrécissement des blocs.

Le rétrécissement des blocs en absence ou en présence de paille est plus important lorsque leur maturation à lieu dans l'air et diminue en allant de la maturation sous bâche à la maturation dans l'eau. Pendant la phase de durcissement des blocs, le mode de maturation des blocs affecte leur rétrécissement. En effet trois jours après leur mise en forme les blocs sont rigides cependant le durcissement du ciment se poursuit et nécessite la poursuite de l'hydratation du ciment. Lorsque la maturation a lieu dans l'eau, le bloc se trouve saturer en eau. Cela favorise l'hydratation et la formation de gel de ciment qui en cristallisant lie les particules d'où le faible retrait. Lorsque la maturation a lieu sous bâche, le bloc se trouve dans un espace humide avec l'eau sous forme vapeur. Cette vapeur d'eau permet l'hydratation du ciment et sa cristallisation. Mais la réaction de la vapeur d'eau avec les grains anhydre de ciment réduit la quantité d'eau libre d'où rétrécissement plus important que lorsque la maturation a lieu dans l'eau. Lorsque la maturation a lieu dans l'air, l'eau contenue dans le bloc s'évapore plus vite d'où l'important rétrécissement par rapport au bloc mis en maturation sous bâche.



**Figure 7 :** Variation du retrait de séchage des blocs en fonction du mode de maturation

#### 4- Conclusion

L'évaluation des propriétés mécanique et de la stabilité des blocs argile ciment renforcés avec de la paille de riz dans l'eau permet de tirer les conclusions suivante.

- L'incorporation de la paille de riz dans les mélanges argile ciment améliore sa résistance à la flexion à l'état sec et humide. Le gain de résistance à l'état sec par rapport au bloc sans paille est supérieur à 35 %.
- La maturation des blocs sous bâche ou dans l'eau les rend stable dans l'eau, limite leur capacité d'absorption d'eau et de gonflement grâce à une amélioration de la cristallisation du ciment. Par ailleurs elle permet d'accroître la résistance à la flexion.

La maturation dans l'eau des blocs d'argile-ciment coulée est la méthode optimale pour accroître leur performance et leur stabilité.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Goodhew S., Griffiths R. 2005. Sustainable soil walls to meet the building regulations. *Energy Build.* 37, PP. 451-460
- Binici H., Aksogan O., Shah T. 2005. Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material. *Construction Building Materials.* 19, PP. 313-321
- Reddy B. V. V., Gupta A. 2005. Characteristics of soil-cement blocks highly sandy. *Materials Structure.* 38, PP. 651-659

Mesbah A., Morel J. C., Walker P., Ghavami K. 2004. Development of a direct tensile test for compacted soil blocks reinforced with natural fibre. *Journal of Civil Engineer.* 16 (1) PP. 95-103