

Influence du sable et des balles de riz dans les briques fabriquées avec les vertisols de l'Extrême-Nord Cameroun

Salomon IGRA POHOWE ^{1,2}, Prosper PLIYA ¹, Jean Chills AMBA ², Anne-Lise BEAUCOUR ¹, Ruben MOUANGUE ², Albert NOUMOWE ¹

¹ Laboratoire de Mécanique et Matériaux de Génie Civil (L2MGC), CY Cergy Paris Université, F-95031, France

² Laboratoire Energie, Matériaux, Modélisation et Méthodes (LE3M), Université de Douala, C-2701, Cameroun

RESUME

L'objectif de cette recherche est d'améliorer les propriétés des vertisols de la région de l'Extrême-Nord du Cameroun communément connus pour leurs problèmes importants de gonflement et de retrait dans la construction entraînant des problèmes structurels en raison des variations volumiques de ces sols. Dans cette région, les sols sont soumis à des variations thermiques et hygrométriques importantes, qui ont un impact négatif sur les variations dimensionnelles des briques en terre crue. Dans le cadre de ces travaux, une campagne d'échantillonnage des sols a été menée sur les sites de Kada'a et de Tchatibali avec deux points par site. L'objectif était de caractériser ces 4 sols afin de vérifier l'hétérogénéité entre les sols. La plasticité variait d'un point d'échantillonnage à l'autre. Par la suite, le sol provenant d'un point de Tchatibali (S2P1) a été utilisé pour améliorer le retrait dimensionnel. Trois proportions massiques de sable (15-30-43%) ont été utilisées. Des balles de riz ont également été ajoutées au mélange à 3 % de la masse de sol. Des échantillons prismatiques de 4x4x16 cm³ ont été fabriqués et stockés dans une pièce à température et humidité contrôlées ($T^{\circ}\text{C} = 20^{\circ}\text{C} \pm 5$; $\text{HR} = 55\% \pm 5$) jusqu'à masse constante. Les mesures de retrait ont révélé que l'ajout de sable de rivière et de balles de riz réduisait le retrait linéaire des briques moulées. Les performances mécaniques ont également diminué avec ces ajouts.

Mots-clefs Vertisols, Balles de riz, Résistances mécaniques, Retrait linéaire.

I. INTRODUCTION

De par son abondance, sa recyclabilité et sa mise en œuvre nécessitant peu d'énergie, la terre crue répond mieux aux enjeux économiques et environnementaux que les autres matériaux de constructions conventionnels. Au Cameroun, notamment dans la région de l'Extrême-Nord, la terre crue est le principal matériau de construction des maisons traditionnelles mais l'optimisation des performances mécaniques et de durabilité est très peu abordée. Les travaux de (Temga et al., 2018) ont montré que les vertisols de l'extrême-Nord du Cameroun sont des sols argileux de la famille des smectites caractérisées par des phénomènes de gonflement ou de retrait

importants avec les variations de température et d'humidité. Pour résoudre ce problème, les chercheurs (Temga et al., 2018) ont stabilisé leur sol suivant quatre familles et différentes proportions massique : la première concerne les échantillons avec uniquement du sol prélevé et tamisé à 80 microns ; la deuxième concerne les échantillons de sol stabilisés au sable de rivière (25-50-75%) tamisé à 1 mm ; la troisième vise la stabilisation du sol par la chaux éteinte ROCA (4-8-12%) associé aux différents pourcentages de sable (25-50-75) et enfin la dernière concerne la stabilisation au ciment CPJ 35 aux mêmes pourcentages que la chaux ROCA associé aux pourcentages de sable (Temga, 2015). Les mélanges ont été effectués à sec pour une meilleure composition homogène puis mélangé avec de l'eau en fonction de la teneur en eau du matériau pour obtenir une pâte homogène et plastique. Les éprouvettes sont moulées dans un moule cylindrique (diamètre 4 cm et hauteur 8 cm) à l'aide de pousse dans le moule et démoulée directement puis déposé dans un endroit pour séchage. Après séchage, les éprouvettes sont testées aux différents essais. La meilleure résistance en compression obtenue est celle avec 12% de chaux et 0% de sable (5,1MPa). Les échantillons stabilisés au sable ont une résistance moyenne de $3,2 \pm 0,05$ MPa à 25% de proportion massique. Une étude de (Tadonbou et al., 2024) montre l'intérêt favorable de l'utilisation du sable sur le retrait dimensionnel des terres. Dans leur recherche, ils effectuent des ajouts volumiques de trois volumes de sable (2-2,5-3) pour un volume de terre crue. La teneur en eau des différentes formulations est obtenue à partir de l'étalement d'une formulation de référence. L'idée était de maintenir toutes les formulations au même étalement. Le mélange est ensuite introduit dans des gâchées $4 \times 4 \times 16$ cm³ et conservé dans une salle de température 22 ± 4 °C et humidité relative $60 \pm 5\%$. Après 10 jours, les échantillons sont démoulés et soumis aux différents essais. Il est observé que l'augmentation du volume de sable diminue le retrait des sols. Pour le mélange volumique « 3 de sable pour 1 de sol », ils obtiennent un faible retrait de 1,24% contre un retrait de 1,65% pour un mélange volumique de « 2 de sable pour 1 de sol ». Par contre, l'ajout de sable réduit la résistance à la compression.

Aussi, quelques recherches (Babé et al., 2020) (Babé et al., 2021), montrent l'effet favorable des fibres végétales sur le retrait longitudinal et le comportement thermomécanique. Dans ces recherches, les auteurs effectuent des ajouts massiques en ajoutant respectivement à leur sol le fibres de mil (Babé et al., 2020) et les fibres de neem (Babé et al., 2021) aux pourcentages massiques 1-2-3-4% de ces fibres végétales. Sur le plan mécanique, les fibres végétales améliorent la flexion pour certains et diminuent pour d'autres à 2% en fonction du type de fibres végétales (fibres de sorgho ou fibre de neem). De plus, (Saadi Imen and Belouettar R., 2011), (Elhamdouni et al., 2017) et (Igra Pohowe et al., 2023), ressortent la même influence des fibres végétales dans les briques de terre. Ils effectuent respectivement des ajouts massiques à 2-4-6% (fibres de palmier dattier et fibres de paille) ; 0,5-1-2-3-4% (fibres alfa et fibres de paille) et enfin à 2,5-5-7,5% (fibres d'anas de lin et sciure de bois). Ces études montrent l'effet favorable des fibres végétales pour des dosages inférieurs à 2% sur les résistances de traction par flexion et une diminution au-delà de ce pourcentage. Les résistances en compression des éprouvettes formulées diminuent avec l'augmentation des pourcentages de fibres végétales. Enfin, plus il y a d'ajout de fibres végétales, moins il y a de retrait longitudinal des briques en terre.

Pour notre campagne de prélèvement, le sable de rivière a été identifié et prélevé à Dziguilao dans le lit du fleuve (Mayo) sec en saison sèche. Les balles de riz quant à elles ont été prélevées

sur la base d'un rapport de la MIPROMALO (Mission de Promotion des Matériaux Locaux) (Venyite Paul, 2023) sur les déchets de balles de riz récoltés (environ 700 kg/ jour) par la SEMRY (Société d'Expansion et de Modernisation de la Riziculture de Yagoua).

Afin d'améliorer le comportement des briques formulées à partir du sol de l'extrême-Nord Cameroun, cette étude s'est focalisée sur les sols issus des zones de Kada'a et de Tchatibali avec l'utilisation du sable de rivière du Mayo de Dziguilao. Les balles de riz utilisées pour l'étude proviennent d'une zone de riziculture. Des briques moulées sont confectionnées et caractérisées afin de limiter les variations volumétriques et optimiser les performances mécaniques. Il sera donc nécessaire d'avoir tout d'abord des échantillons témoins à 100% de sol, ensuite d'effectuer des ajouts massiques de sable (15-30-43%) et de balles de riz (3%) dans le mélange.

II. MATERIAUX ET FORMULATIONS

A. Matériaux

1. Sol

Deux (02) sites ont été identifiés dans l'Extrême-Nord du Cameroun où les artisans prélevaient leur terre pour la réalisation des briques de terre moulées (FIGURE 1). Le premier site identifié est celui de Kada'a (10°06'22.0" latitude Nord et 14°53'53.5" longitude Est). Le second site est celui de Tchatibali (10°03'12.6" latitude Nord et 14°55'45.8" longitude Est). Pour vérifier d'éventuelle hétérogénéité dans le sol, deux prélèvements sont réalisés par site et sont désignés respectivement par S1P1 et S1P2 pour le site de Kada'a et, S2P1 et S2P2 pour le site de Tchatibali. Ces sites sont distants d'environ 7,5 km.

Le TABLEAU 1 ressort les différentes caractérisations parmi lesquelles, les limites d'Atterberg (NF EN ISO 17892-12), les masses volumiques apparentes (ρ_{app}) et absolues (ρ_{abs}) suivant la norme NF EN ISO 17892-3 et enfin les absorptions suivant (Le et al., 2015). Pour déterminer les absorptions, le matériau est saturé dans l'eau pendant 24 h. Le coefficient d'absorption d'eau est ensuite déterminé en mesurant la teneur en eau à l'état « saturé surface sèche » (SSS). Pour atteindre l'état SSS, le matériau est soumis à un courant d'air chaud puis, il est mis sur un papier absorbant jusqu'à la disparition des traces d'humidité. L'état SSS sera alors atteint.

TABLEAU 1. Caractéristiques des matériaux utilisés

	S1P1	S1P2	S2P1	S2P2	Sable	Balle de riz
ρ_{app} (g/cm ³)	0,97 ± 0	1,07 ± 0	1,02 ± 0,02	0,98 ± 0,01	1,48 ± 0,01	0,11 ± 0
ρ_{abs} (g/cm ³)	2,35 ± 0,02	2,37 ± 0,01	2,63 ± 0	2,61 ± 0,01	2,62 ± 0,02	0,76 ± 0,02
LI (%)	33,6	29,4	36,0	32,8		
Lp (%)	13,5	15,0	17,4	16,1		
Ip (%)	20,1	14,4	18,6	16,7		
Nature	Argile moyennement plastique	Argile de faible plasticité	Argile moyennement plastique	Argile moyennement plastique		
Abs (%)					3 ± 0,5	71 ± 0,3



FIGURE 1. (A) Site de Kada'a à $10^{\circ}06'22.0''\text{N}$ $14^{\circ}53'53.5''\text{E}$; (B) Site de Tchatibali à $10^{\circ}03'12.8''\text{N}$ $14^{\circ}55'45.8''\text{E}$.

Le sol choisi pour la suite de l'étude parmi les quatre sols prélevés est le S2P1 (FIGURE 2 (a)) car il était le plus disponible et le plus utilisé par les artisans. Sa limite de liquidité, de plasticité et sa densité sont respectivement de 36%, 17% et de $2,63 \text{ g/cm}^3$. De plus, d'après l'analyse thermogravimétrique effectuée en amont, c'est le sol qui contient le plus de fines.

2. Balles de riz

Les balles de riz (FIGURE 2 (b)) sont des sous-produits dérivés du décortiquage du riz. Elles proviennent de LOGONE RIZ, une entreprise de la ville de Yagoua. Elles présentent une longueur comprise entre 7 et 9 mm. Leur densité est de $0,76 \text{ g/cm}^3$ et leur coefficient d'absorption d'eau est de $71 \pm 0,3\%$.

3. Sable de rivière

Le sable de rivière (FIGURE 2 (c)) est prélevé en saison sèche dans une rivière de Dziguilao appelée Mayo. Il est tamisé à 2 mm et séché dans une étuve à $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ jusqu'à masse constante avant de l'utiliser pour les formulations. Sa densité absolue est de $2,62 \text{ g/cm}^3$ et son coefficient d'absorption d'eau est de $3 \pm 0,5\%$. Par observation et suivant les analyses thermogravimétriques effectuées en amont, c'est un sable siliceux arrondi.

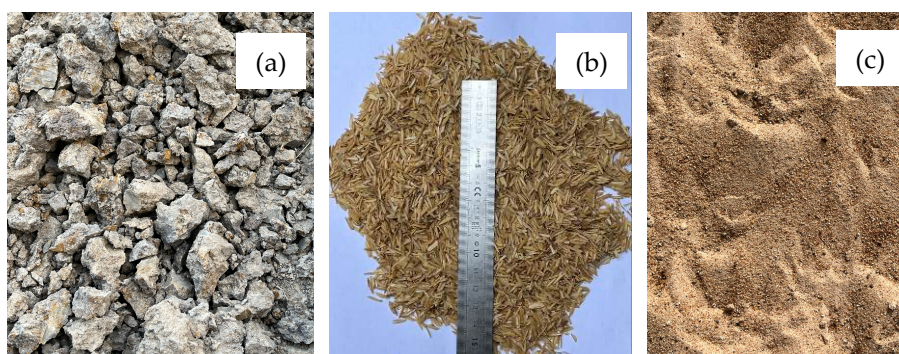


FIGURE 2. (a) sol prélevé ; (b) balles de riz ; (c) sable de rivière.

B. Formulations et conservation

Dans cette étude, nous avons formulés cinq (05) compositions de terre avec ou sans addition de sable ou de balles de riz. Après concassage (≤ 10 mm) et séchage complet des blocs de sol prélevés, la première famille de formulation est constituée uniquement de sol (S2P1). Un ajout d'eau à 31% (% de la masse sèche) a été ajouté à ce sol sec, ce qui a permis d'obtenir un matériau homogène et maniable. Pour la seconde famille de formulation, le sable est introduit à des proportions massiques de 43% (43%S), 30% (30%S), 15% (15%S) de la masse de sol sec. Quant à la troisième famille, les balles de riz sont pareillement introduites à un pourcentage massique de 3% (3%RH) de la masse de sol sec. En proportion volumique apparente et absolue (%vol sable/ %vol sol), le sable est ajouté respectivement à 30% vol app. (43% vol abs), à 21% vol app (30% vol abs.), à 10% vol app. (15% vol abs.) pour (43%S), (30%S), (15%S). L'ajout de balle de riz (3%RH) correspond à une proportion volumique apparente et absolue par rapport au sol respectivement de 28% et 10%.

Pour chacune de ces formulations, le sol a été prémouillé à 25% d'eau totale pendant vingt-quatre (24) heures avant de compléter le mélange à 31% le jour de gâchage. Les corrections en eau du sable et des balles de riz sont effectuées durant la gâchée de façon à maintenir une consistance constante par rapport au mélange de référence. La teneur en eau libre du mélange final est mesurée au moment de la mise dans les moules. Celle-ci diminue avec l'ajout de sable et augmente légèrement avec l'ajout de balle de riz.

Afin d'avoir une masse volumique apparente avoisinante pour toutes les éprouvettes issues de la même formulation, une pesée est réalisée lors de la fabrication et la quantité de matériau est ajustée. Les teneurs en eau et les masses volumiques apparentes humides/ sèches sont représentées dans le [TABLEAU 2](#).

La [FIGURE 3](#) présente le mélange obtenu contenant du sable (a), les balles de riz (b), les corps d'épreuve dans leurs moules (c) et après démoulage (d).

Les éprouvettes sont démoulées à des dates variables selon leur cinétique de durcissement, soit à 4 jours (43%S et 30%S), 10 jours (15%S), 8 jours (S2P1) et 9 jours (3%RH). Après démoulage, les éprouvettes sont remises dans la salle à humidité relative de $55 \pm 5\%$ et à une température de $20 \pm 5^\circ\text{C}$ pour uniformiser le séchage des échantillons.

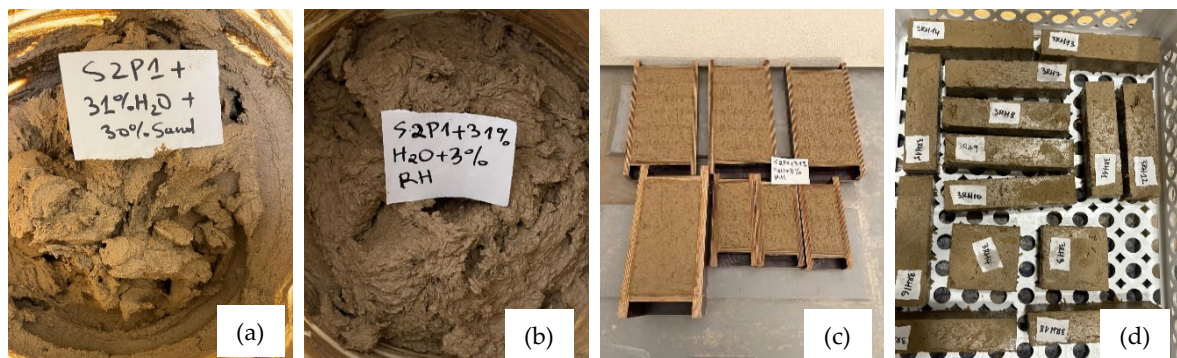


FIGURE 3. (a) sol + sable ; (b) sol + balles de riz ; (c) échantillons dans les moules $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, $4 \times 8 \times 8 \text{ cm}^3$ et $13 \times 12 \times 25 \text{ cm}^3$; (d) éprouvettes démoulées.

TABLEAU 2. Teneur en eau et masses volumiques des éprouvettes après fabrication.

Formulations	S2P1	15%S	30%S	43%S	3%RH
Teneur en eau libre (%)	30,2 ± 0,4	26,2 ± 0,2	24,5 ± 0,1	21,3 ± 0,2	31,3 ± 0,3
Masse volumique humide (g/cm ³)	1,90 ± 0,02	1,94 ± 0,01	1,97 ± 0,02	2,01 ± 0,03	1,83 ± 0,01
Masse volumique sèche (g/cm ³)	1,89 ± 0,04	1,88 ± 0,01	1,93 ± 0,05	1,96 ± 0,06	1,68 ± 0,02

III. DEMARCHE EXPERIMENTALE

A. Retrait et perte de masse des échantillons formulés

Les mesures de retrait et de perte de masse ont été effectuées après démoulage de nos différentes éprouvettes avec une fréquence de 2 jours jusqu'à masse constante (variation de masse du sol inférieure à 0,1% entre 2 pesées) suivant la norme NF EN ISO 17892-1. La mesure du retrait longitudinal s'est effectuée à l'aide d'un pied à coulisse numérique qui donne des valeurs au centième de mm. La masse est mesurée à l'aide d'une balance de précision 0,1g. La répétabilité des mesures est effectuée sur un ensemble de six (06) éprouvettes par formulation afin d'avoir une marge de valeurs plus fiable.

B. Analyses thermogravimétrique (ATG)

Les analyses thermogravimétriques (ATG) ont été réalisées afin d'identifier les transformations chimiques de nos différents matériaux et de quantifier les phases transformées. Ces analyses ont été effectuées à l'aide de l'appareil STA 449 F1 Jupiter de la marque NETZSCH, qui permet de suivre la variation de la masse en fonction de la température. Les essais ont été réalisés sur des échantillons (poudre sèche) d'une masse d'environ 90 mg introduits dans l'un des creusets de la machine et, l'essai est lancé dans une plage de température allant de 20 à 1100 °C, à une vitesse de chauffage de 10 °C/min, et sous atmosphère d'azote (N₂).

C. Essais mécaniques

La résistance moyenne de traction par flexion (flexion 3 points) a été obtenue sur un ensemble de trois (03) éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm³ soumises à un déplacement de 0,005 mm/s jusqu'à rupture. La résistance moyenne à la compression quant à elle a été obtenue en soumettant les blocs cubiques 4x4x4 cm³ issus de l'essai de flexion. Une charge uniaxiale de section 4x4 cm² et une vitesse de 0.015 mm/seconde ont été nécessaires jusqu'à rupture afin de respecter les recommandations de la norme XP P 13-901.

IV. RESULTATS

A. Analyse thermique ATG

Le matériau (sol) à analyser est séché dans une étuve à 50°C jusqu'à masse constante puis, il est broyé dans un vibrobroyeur pour le rendre en poudre suivant les conditions de l'essai d'ATG. Le matériau est alors prêt pour l'essai.

Les balles de riz à leur tour sont pareillement séchées à 50°C jusqu'à masse constante et découpées en petits morceaux [1 ; 2] mm pour une homogénéité dans le creuset. Les balles de riz sont prêtes pour l'essai.

La **FIGURE 4** présente l'évolution de la perte de masse en fonction de la température avec les différents pics de transformation chimique de la matière observés sur la dérivée thermogravimétrique.

Les pics de la **FIGURE 4** (a) peuvent décrire 3 phases de transformation. La première phase se présente entre 80 et 150 °C avec un départ de l'eau hygroscopique entre les feuillets des argiles présentes dans les sols et source de la perte de masse d'environ 0,82 à 1%. Par la suite, un pic est observé vers 300 °C avec une légère perte de masse qui pourrait correspondre à la décomposition de la goethite en hématite responsable de la coloration rouge des briques. Une perte de masse est aussi observée entre 450 et 500°C correspondant à la déshydroxylation des argiles (kaolinite ou illite) ((Mariette Tognonnoumi Adagbe, 2021), (Siyapze et al., 2023)) avec une perte de masse qui varie entre 1,85 et 2,56% en fonction du type de sol. Le sol S1P2 montre une seconde perte de masse vers 650°C. Les sols étudiés semblent être constitués majoritairement de kaolinite mais aussi d'une argile possédant de l'eau interfoliaire et donc un pouvoir gonflant.

La **FIGURE 4** (b) correspond à la perte de masse des balles de riz en fonction de la température. Deux phases principales sont observées. La première phase entre 80 et 150°C se caractérise par une faible perte de masse (5%) liée au départ de l'eau. La seconde phase, entre 250 et 400°C, montre une perte de masse importante de l'ordre de 48%, qui traduit la pyrolyse des balles de riz (Christophe Baux et al., 2011), (E. C. S. Paz et al., 2021), (L. Rodier et al., 2019), (Aïda Ben Hassen Trabelsi et al., 2015).

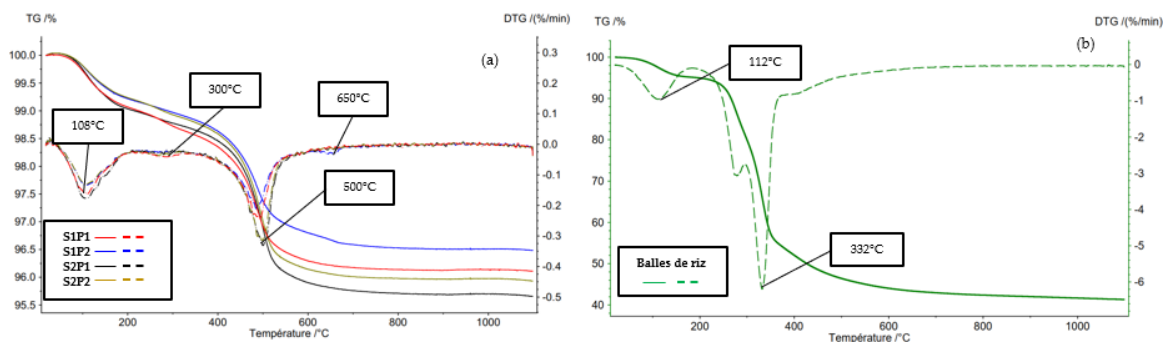


FIGURE 4. Analyse thermogravimétrique des sols prélevés et des balles de riz

B. Aspect macroscopique

Après la première phase de cure (environ une dizaine de jour correspondant au pré-démoulage) dans une salle à humidité relative de $55 \pm 5\%$ et à une température de $20 \pm 5^\circ\text{C}$, les fissurations sont observées à la surface des éprouvettes. Un retrait important est remarqué avec la formulation de sol uniquement (S2P1) car elle contient plus de particule argileuse que les autres formulations. Une légère amélioration est observée avec les ajouts de sable et de balles de riz (FIGURE 5).



FIGURE 5. Fissurations observées au démoulage sur les éprouvettes formulées

C. Perte de masse ou d'eau et retrait linéaire

La FIGURE 6, présente l'évolution de la perte de masse et la variation longitudinale des éprouvettes jusqu'à masse constante obtenue au bout de 35 jours. Les éprouvettes formulées avec du sable perdent moins d'eau avec l'augmentation de la fraction de sable, en cohérence avec leur teneur en eau de fabrication. Compte tenu du pouvoir absorbant des balles de riz et de la réalisation des briques à consistance constante, la formulation avec un ajout de 3% de balle de riz montre une perte de masse légèrement plus élevée que la formulation de référence. Les pertes de masse et les retraits à 35 jours sont résumés dans le TABLEAU 3.

TABLEAU 3. Perte de masse et retrait longitudinal total sur 35 jours à HR= 55% et T°C= 20°C

	S2P1	15%S	30%S	43%S	3%RH
Perte de masse (%)	$21,6 \pm 1,3$	$19,4 \pm 1,1$	$17,4 \pm 1,2$	$17,2 \pm 1,8$	$22,3 \pm 0,9$
Retrait longitudinal (%)	$9,8 \pm 0,4$	$7,7 \pm 0,3$	$6,8 \pm 0,3$	$6,2 \pm 0,5$	$5,8 \pm 0,4$

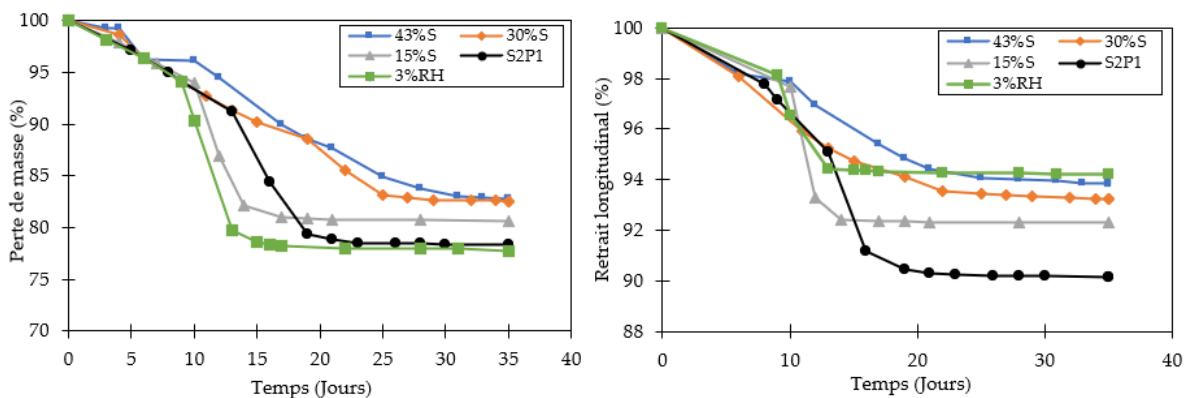
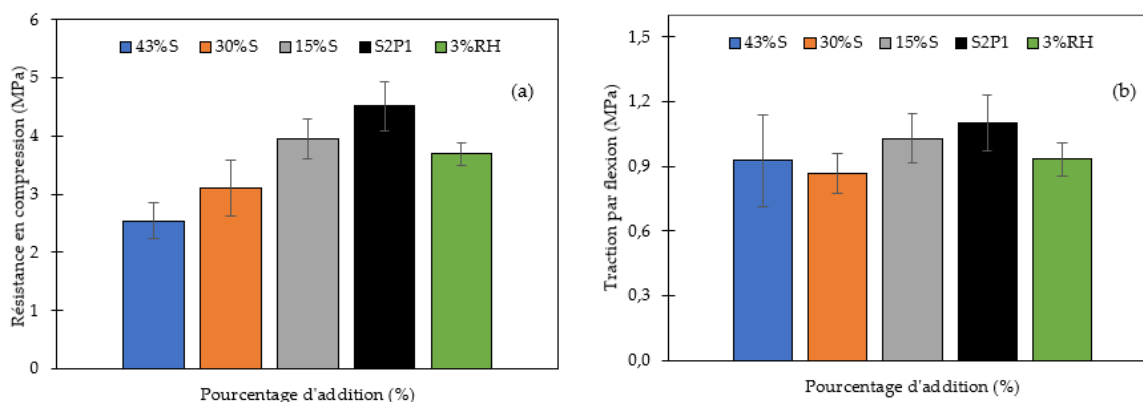


FIGURE 6. Evolution de la perte de masse et du retrait longitudinal durant le séchage

Au cours de cette phase de séchage, la longueur a été mesurée régulièrement durant 35 jours. La FIGURE 6 montre l'évolution du retrait en trois phases. La première phase est commune à toutes les formulations : Lente jusqu'à une dizaine de jour due au pré-démoulage (échantillons non démoulés). La deuxième phase est plus accélérée et rapide des mélanges les plus sableux (30%S et 43%S) vers les moins sableux (15%S et S2P1) et ceux contenant des balles de riz (3%RH) : La phase de post-démoulage. La troisième phase vers une vingtaine de jour concerne la stabilisation de toutes les formulations. Le retrait est moins important en présence de sable et de balles de riz. La diminution de la pâte argileuse due à l'ajout de sable ou de balle de riz en est la cause logique. L'ajout avec les balles de riz est particulièrement plus efficace pour limiter le retrait avec un pourcentage massique de 3% correspond à un volume apparent et absolu par rapport au sol sec respectivement de 28% et 10%. Les travaux de (Bouhicha et al., 2005), (Mohamed, 2013), (Bohra Hayat Boussadia, 2021), et (Igra Pohowe et al., 2023) confirment l'impact positif des fibres végétales sur la stabilité dimensionnelle des briques. Compte tenu de leur géométrie et de leur longueur de 7 à 9 mm, les balles de riz fonctionnent comme des fibres de renforcement qui maintiennent une cohésion entre les particules d'argile.

D. Propriétés mécaniques

Les essais de résistance à la compression des échantillons après séchage, soit environ plus de 35 jours après la fabrication (FIGURE 7 (a)), montrent que les échantillons de sol sans ajouts (S2P1) ont une résistance en compression de $4,5 \pm 0,4$ MPa ce qui est une valeur plutôt élevée pour une brique de terre crue, témoignant des forces cohésives entre les particules d'argile du sol S2P1. La résistance en compression diminue avec l'augmentation du pourcentage d'ajout de sable mais reste supérieures à 2 MPa et donc considérée comme une brique de résistance élevée par la norme XP P 13-901. Les résistances par rapport au taux de sable sont de $4,0 \pm 0,3$ MPa (15%S), $3,1 \pm 0,5$ MPa (30%S) et $2,5 \pm 0,3$ MPa (43%S). Cette diminution est due à un taux élevé de sable entraînant la diminution des particules argileuses dans le mélange. L'ajout de 3% en masse de balle de riz induit une diminution de résistance en compression plus proche de celle obtenue avec un ajout de 15% de sable avec une valeur de $3,7 \pm 0,2$ MPa. En effet un ajout de 3% en masse de balle de riz correspond à un ajout en volume absolu de 10% de balle de riz alors qu'un ajout en masse de 15%S correspond à un ajout de 15% en volume absolu. Ainsi, le volume de la phase liante argileuse est relativement proche entre les formulations 15%S et 3%RH.

**FIGURE 7.** (a) Résistance en compression ; (b) traction par flexion 3 points à température ambiante

Tout comme la résistance en compression, les échantillons sans addition (S2P1) ont de meilleures résistances de traction par flexion (FIGURE 7 (b)). L'écart type sur les valeurs de résistance en traction est plus élevé et les différences entre les différents pourcentages de sable ou l'ajout de balle de riz sont moins marquées qu'en compression.

V. CONCLUSION

Cette étude est basée spécifiquement sur l'effet de l'ajout du sable de rivière à trois dosages et de balles de riz à un dosage sur un sol de Tchatabali (S2P1) à l'Extrême-Nord Cameroun. L'objectif est d'améliorer la stabilité longitudinale et la résistance mécanique des briques de terre moulées. Les matériaux granulaires d'origine minérale (sable) ou végétale (balles de riz) utilisés sont considérés ici comme deux stabilisants. Le sol est classé comme une argile de plasticité moyenne. L'analyse ATG révèle la présence, entre autres, d'une famille de minéraux argileux capables d'adsorber de l'eau au sein de leurs structures interfoliaires (kaolinites, smectites ou illites). Trois (03) familles de formulation sont effectuées. Une formulation de référence constituée uniquement de sol. La deuxième, constituée de sol et de sable avec des pourcentages d'ajout massique 15-30-43%. La troisième famille est constituée toujours du même sol avec un ajout de 3% en masse de balles de riz. Dans les conditions d'humidité relative de $55 \pm 5\%$ et à une température de $20 \pm 5^\circ\text{C}$, l'augmentation de la teneur en sable dans les briques réduit le retrait, qui atteint environ 6% pour un ajout massique de 43%. Une réduction similaire du retrait est obtenue avec seulement 3% de balles de riz. Cependant, contrairement à l'ajout de 43% de sable, l'ajout de 3% de balles de riz préserve mieux la résistance en compression, grâce à une fraction volumique plus élevée de la phase liante. Ces résultats montrent que la valorisation des balles de riz en combinaison avec le vertisol constitue une approche écologique et prometteuse, permettant de produire des briques avec une résistance à la compression proche de 4 MPa, tout en limitant le retrait. Par ailleurs, l'incorporation de balles de riz pourrait également améliorer les propriétés isolantes du matériau. L'analyse des propriétés thermiques et de la durabilité vis-à-vis de l'eau constitueront les prochaines étapes de cette étude.

REFERENCES

- Aïda Ben Hassen Trabelsi, Nidhal Jaouachi, Slim Naoui, Takwa Kraiem, Kaouther Zaafouri, 2015. Hydrogen-Rich Syngas Production From Pyrolysis And Gasification Of Palmitic Fibers. Presented At The 6th International Renewable Energy Congress (Irec), Tunisie.
- Babé, C., Kidmo, D.K., Tom, A., Mvondo, R.R.N., Boum, R.B.E., Djongyang, N., 2020. Thermomechanical Characterization And Durability Of Adobes Reinforced With Millet Waste Fibers (Sorghum Bicolor). Case Stud. Constr. Mater. 13, E00422. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.E00422>
- Babé, C., Kidmo, D.K., Tom, A., Mvondo, R.R.N., Kola, B., Djongyang, N., 2021. Effect Of Neem (Azadirachta Indica) Fibers On Mechanical, Thermal And Durability Properties Of Adobe Bricks. Energy Rep., Technologies And Materials For Renewable Energy, Environment And Sustainability 7, 686–698. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.085>
- Bohra Hayat Boussadia, 2021. Comportement A Haute Temperature Des Materiaux De Terre Crue.

- Bouhicha, M., Aouissi, F., Kenai, S., 2005. Performance Of Composite Soil Reinforced With Barley Straw. *Cem. Concr. Compos., Natural Fibre Reinforced Cement Composites* 27, 617–621. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.013>
- Christophe Baux, Christophe Lanos, Yannick Melinge, Raoul Jaubertie, Christophe Tessier, 2011. Les Produits Minéraux Utilisés En Protection Incendie Face Aux Nouvelles Réglementations. *Rev. Eur. Génie Civ.* 9. <http://dx.doi.org/10.1080/17747120.2005.9692757>
- E. C. S. Paz, C. F. Paschoalato, M. G. Arruda, G. G. Silva, M. L. G. Santos, M. M. Pedroza, L. R. A. Oliveira, 2021. Production And Characterization Of The Solid Product Of Coconut Pyrolysis. *Biomass Convers. Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01561-3>
- Elhamdouni, Y., Khabbazi, A., Benayad, C., Mounir, S., Dadi, A., 2017. Thermophysical And Mechanical Characterization Of Clay Bricks Reinforced By Alfa Or Straw Fibers. *Iop Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 186, 012035. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/186/1/012035>
- Igra Pohowe, S., Abdallah, R., Pliya, P., Beaucour, A.-L., 2023. Influence Of Sawdust And Flax Shives On The High Temperature Mechanical Behavior Of Earthen Materials. *Mater. Today Proc.* <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.240>
- L. Rodier, K. Bilba, C. Onesippe, M.-A. Arsene, 2019. Utilization Of Bio-Chars From Sugarcane Bagasse Pyrolysis In Cement-Based Composites. *Ind. Crops Prod.*
- Le, T., Rémond, S., Saout, G., Garcia-Diaz, E., 2015. Comportement A L'état Frais Des Mortiers A Base De Sable Recyclé - Influence De L'état De Saturation.
- Mariette Tognonoumi Adagbe, 2021. Utilisation De La Terre Renforcee Par Des Tiges De Paille De Riz Comme Matériau Des Elements Porteurs Des Batiments Armes Avec Le Ronier (Cotutelle). Université De Toulouse Et Université Dabomey-Calavi (Uac), France Et Bénin.
- Mohamed, A.E.M.K., 2013. Improvement Of Swelling Clay Properties Using Hay Fibers. *Constr. Build. Mater., 25th Anniversary Session For Aci 228 – Building On The Past For The Future Of Ndt Of Concrete* 38, 242–247. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.031>
- Saadi Imen, Belouettar R., 2011. Comportement Mécanique Des Briques De Terre Crue Renforcées Par Des Fibres De Palmier Dattier Et Des Fibres De Paille. Presented At The Innovation & Valorisation En Génie Civil & Matériaux De Construction, Rabat – Maroc, Pp. 1–4.
- Siyapze, F., Pliya, P., Abdallah, R., Beaucour, A.-L., 2023. Influence Of Sawdust And Soil Type On The High Temperature Behavior Of Raw Earth Bricks. *Mater. Today Proc.* <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.093>
- Tadonbou, J., Pliya, P., Beaucour, A.-L., Faria, P., Noumowe, A., 2024. Behavior Of Earth Mortars At High Temperature. *Constr. Build. Mater.* 425, 136093. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136093>
- Temga Jean Pierre, 2015. Étude Petrologique Et Mécanique Des Vertisols De La Vallée Du Logone Dans La Zone Sahelo-Soudanienne : Essais De Valorisation En Vue De La Production Des Briques De Terre (Ph/D). Université De Ngaoundéré, Cameroun.
- Temga Jean Pierre, Azinwi Tamfuh Primus, Basga Djakba Simon, Zo'o Zame Philemon, Gouban Hamadjida, Abossolo Monique, Nguetkam Jean Pierre, Bitom Dieudonne Lucien, 2018. Characteristics, Classification And Genesis Of Vertisols Under Seasonally Contrasted Climate In The Lake Chad Basin, Central Africa. *J. Afr. Earth Sci.* 176–193.
- Temga, J.P., Madi, A.B., Djakba, S.B., Zame, P.Z., Angue, M.A., Mache, J.R., Nguetkam, J.P., Bitom, L.D., 2018. Lime – And Sand – Stabilization Of Clayey Materials From The Logone

Valley (Lake Chad Basin) For Their Utilisation As Building Materials. *J. Build. Eng.* 19, 472–479. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.06.003>

Venyite Paul, 2023. Report Of Mission To Semry For The Collection Of Rice Husk For Production Of Sodium Silicate. Mipromalo, Garoua, Cameroun.