

# Influence des matériaux de substitutions sur la microstructure et résistance des briques en terre comprimées

Philbert Nshimiyimana <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Eco-Matériaux et Habitats Durables (LEMHaD), Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (Institut 2iE), Rue de la Science, 01 BP 594 Ouagadougou 01, Burkina Faso

**RESUME :** Cette étude présente l'influence des sous-produits industriel et agricole: le carbure de calcium résiduel (CCR) et la cendre de balle de riz (CBR) sur la microstructure et la résistance mécanique des briques en terre comprimée (BTCs). Une terre argileuse a été stabilisée avec 0-15 % de CCR et 10-15 % de CCR:CBR en divers ratios. Les mélanges secs sont humidifiés par ajout d'une quantité d'eau optimale Proctor pour la production des BTCs. Les BTCs fabriquées sont couvertes par les films polyanes pour la maturation sous l'humidité de production pendant 45 jours à 30-40 °C, température ambiante à Ouagadougou. Après la phase de maturation, les BTCs ont subi une caractérisation microstructurale et mécanique. Il en résulte que la stabilisation de la terre argileuse avec le mélange CCR:CBR a améliorée la résistance mécanique des BTCs en accélérant la maturation, par rapport à la stabilisation avec le CCR seul. La réaction pouzzolanique entre CCR et l'argile d'une part, et éventuellement entre CCR et CBR d'autre part est responsable de la formation des silicates de calcium hydratés et aluminates de calcium hydratés qui améliorent la cohésion et la densification du matrice des BTCs.

**Mots-clefs :** argile, brique en terre comprimée, carbure de calcium résiduel, cendre de balle de riz, réaction pouzzolanique

## I. INTRODUCTION

Dans son état cru (non cuit), le matériau argileux a été utilisé pour la construction de logements depuis des milliers d'années (Houben & Guillaud, 2006). Ce même matériau a dû perdre sa popularité avec l'arrivée des matériaux dites modernes et/ou durables comme le ciment et l'acier (Wyss, 2005). Néanmoins, beaucoup d'efforts sont aujourd'hui engagés pour encourager sa réadaptation afin de répondre à la demande de logement abordable et décent, et plus spécialement dans les pays en voie de développement. Plusieurs approches sont explorées : son acceptation socio-économique, son comportement hygrothermique dans les murs, et bien évidemment ses propriétés d'usage dans son état naturel ou modifié (Zoungrana *et al.*, 2021 ; Hema *et al.*, 2017; Nshimiyimana *et al.*, 2018, Sore *et al.*, 2018).

Les propriétés d'usage de la terre crue dépendent de ses caractéristiques physico-géotechniques telle que le squelette granulométrique, la plasticité, la compressibilité ; mais aussi de sa

composition minéralogique. La terre, la mieux adaptée à la construction en terre crue devrait contenir nécessairement une fraction argileuse (10-30 %) jouant un rôle d'un liant naturel, des sables et graviers. Ces derniers sont à l'origine d'une bonne stabilité du squelette (Houben & Guillaud, 2006 ; Minke, 2006 ; Delgado & Guerrero, 2007). Cependant, la vulnérabilité de la terre crue vis-à-vis de l'eau devient problématique pour ses performances mécaniques et de durabilité (Cid-Falceto *et al.*, 2012).

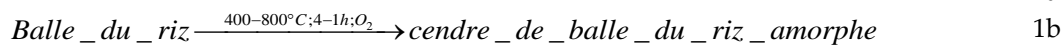
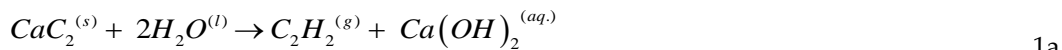
Une modification de la composition du sol est envisagée quand ses caractéristiques intrinsèques, telle que la granulométrie, la plasticité et la minéralogie ne permettent pas atteindre les performances, telle que la résistance à la compression, requises pour son utilisation en construction (Houben & Guillaud, 2006; Minke, 2006). Pour se faire, plusieurs procédés sont utilisés entre autre la compression/compaction pour la densification de la matrice, l'ajout des fibres et agrégats pour la stabilité de la matrice ; ainsi que l'ajout des liants hydrauliques, pouzzolaniques ou géopolymériques comme le ciment, la chaux, la pouzzolane, pour assurer la cohésion microstructurale de la matrice (Laborel-Préneron *et al.*, 2016 ; Dao *et al.*, 2018 ; Touré *et al.*, 2017 ; Sore *et al.*, 2018).

Le ciment est généralement utilisé pour stabiliser les sols sablonneux qui ont une faible teneur en particules argileuses (5-30 %) et une minéralogie argileuse non gonflante telle que la kaolinite. Le ciment peut être utilisé en fraction massique allant jusqu'à 8 % de la masse de la terre (Houben & Guillaud, 2006). Les produits de son hydratation, principalement les silicates de calcium hydratés et les aluminates de calcium hydratés, contribuent à la cohésion des particules grossiers : sable et graviers et à la densification de la matrice. Il en résulte la diminution de la porosité et l'absorption de l'eau, ainsi que l'amélioration de la résistance mécanique et la durabilité (Ouedraogo *et al.*, 2015 ; Walker & Stace, 1997).

Par contre, lorsque la terre contient une quantité importante de particules argileuses (30-60 %) et/ou d'argile gonflant (smectite), la stabilisation à la chaux ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) est recommandée. Avec une teneur allant jusqu'à 12 % massique de la chaux, une fraction de cette chaux contribue à la modification de la structure argileuse et l'amélioration de son caractère gonflant à travers les échanges cationiques. La fraction restante de la chaux contribue à une réaction pouzzolanique avec la silice ( $\text{SiO}_2$ ), l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et éventuellement l'oxyde ferrique ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dans la terre, résultant à la formation des produits cimentaires équivalents à ceux issue de l'hydratation du ciment (Bell, 1996 ; Al-Mukhtar *et al.*, 2012). Les substitutions partielles du ciment, pouzzolane et sous-produits par la chaux sont également utilisées pour la stabilisation de la terre (Wilkinson *et al.*, 2010 ; Horpibulsuk *et al.*, 2012 ; Nagaraj *et al.*, 2014).

Le ciment et la chaux sont des produits industriels à indice de  $\text{CO}_2$  équivalente plus ou moins élevé. Par ailleurs, des sous-produits industriels ou agricoles peuvent être utilisés pour stabiliser la terre crue et donner des effets comparables à ceux du ciment et la chaux industriels. Horpibulsuk et son équipe ont montré que les performances d'une argile limoneuse s'améliorent par stabilisation avec un mélange de carbure de calcium résiduel (CCR) et la cendre volante (CV)

(Horpibulsuk *et al.*, 2012 ; Horpibulsuk *et al.*, 2013). Le CCR est un résidu industriel de la production du gaz acétylène à travers une réaction d'hydrolyse du carbure de calcium (équation 1a). Il peut contenir jusqu'à 80 % de la chaux (Ca(OH)<sub>2</sub>) qui lui donne la capacité d'activateur de la réaction pouzzolanique (Horpibulsuk *et al.*, 2013). Une autre pouzzolane potentielle est la cendre de balle du riz (CBR). La CBR peut contenir jusqu'à 90 % de la silice amorphe réactive résultant de la calcination de la balle du riz dans des conditions contrôlées de température (400-800 °C) et du temps (4-0.5 heures) dans un environnement oxydant (équation 1b) (Muthadhi & Kothandaraman, 2010).



La présente étude évalue les possibilités de valoriser les matériaux de substitutions (sous-produits agro-industriels) : le carbure de calcium résiduel (CCR) et la cendre de balle du riz (CBR), autrement considérés comme des déchets, pour la stabilisation de la terre pour la production des briques en terre comprimée (BTC). L'influence de ces sous-produits sur les propriétés microstructurales et mécaniques des BTC a été étudiée en utilisant la diffraction au rayon x, la microscopie électronique à balayage, et la résistance à la compression.

## II. MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

### A. Matériaux

La terre argileuse rougeâtre a été échantillonnée dans une carrière de Kamboinsé (N12°29,399', W001°32,981', alt. 322 m). Les grosses particules ont été concassées et tamisées avec un tamis de 5 mm, pour utiliser le passant. Le carbure de calcium résiduel (CCR) provient de Burkina Industrial Gas (usine de production de gaz acétylène) à Kossodo (N12°25,935', W001°29,374', alt. 301 m). Le CCR est broyé et tamisé sur 125 µm. La balle du riz provient de la localité de Bagré (N11°28,43', W00°32,12', alt. 233 m). Elle a été calcinée à 400 °C pendant 4 heures pour produire une cendre de balle de riz (CBR) grise claire. La CBR a été broyée et tamisée à 80 µm.

**TABLEAU 1.** Caractéristiques géotechniques et physiques des matériaux

Propriétés géotechniques (terre)		Propriétés physiques		Terre	CCR	CBR
Gravier (>2 mm) (%)	11,2	Densité spécifique (-)		2,75	2,49	2,24
Sable (0,06-2 mm) (%)	22,2	Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> /g)		-	8286	26114
Limon (0,002-0,06 mm) (%)	36,5	Surface spécifique BET (m <sup>2</sup> /g)		-	14	115
Argile (<0,002 mm) (%)	30,1	D <sub>10</sub> (µm)		<2	3	4
Demande en eau optimale (%)	17,4	D <sub>50</sub> (µm)		30	20,5	11
Masse volumique maximale sèche (g/cm <sup>3</sup> )	1,76	D <sub>90</sub> (µm)		3000	100	50
Limite de liquidité (%)	45					
Indice de plasticité (%)	16					

### B. Caractéristiques des matériaux

Les caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques des matériaux sont résumées dans le Tableau 1-2. Le matériau terre est composé de 30 % des particules argileuses (<2 µm), 59 % de limon et sable (2µm-2mm) et de 11 % de gravier, avec un diamètre médian ( $D_{50}$ ) de 30 µm. Ce matériau a un indice de plasticité de 16 % avec une limite de liquidité de 45 %, une densité spécifique de 2,75 et une masse volumique maximale sèche de 1,76, après compactage Proctor normal à une teneur eau optimale de 17 % (Tableau 1). La composition chimique de la terre révèle qu'elle contient majoritairement de silice (51 %), d'alumine (24 %) et d'oxyde ferrique (13 %). Sa minéralogie est composée de kaolinite (76 %), quartz (11 %) et goethite (9 %) (Tableau 2).

**TABLEAU 2.** Composition chimiques et minéralogiques des matériaux

Composition chimique (%)				Composition minéralogique (%)			
Oxydes	Terre	CCR	CBR	Minéraux	Terre	CCR	CBR
SiO <sub>2</sub>	51	4,8	90,8	Kaolinite	76	4	Amorphe
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,7	1,7	1,6	Portlandite	-	43	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,7	0,7	0,6	Aragonite	-	21	
CaO	0,2	67,4	0,8	Calcite	-	16	
TiO <sub>2</sub>	0,9	0	0	Rapidcreekite	-	13	
MnO	0	0	0,2	Quartz	11	3	
MgO	0,1	0,3	0,2	Goethite	9	-	
Na <sub>2</sub> O	0	0	0	Traces (Mica, K-Feldspath)	4	-	
K <sub>2</sub> O	0,3	0,1	1,8				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1	0	0,6				
Perte au feu	10,1	26,7	2,9	Totale	100	100	
Totale	100	100	100				

Le CCR a un diamètre médian  $D_{50}$  de 20,5 µm, une surface spécifique (BET) de 14 m<sup>2</sup>/g et une densité spécifique de 2,49. Le CCR est composé de 67 % de CaO, avec une perte au feu totale de 27 %. La portlandite (Ca(OH)<sub>2</sub>) prédomine dans le CCR à 43 %, avec des minéraux carbonatés notamment l'aragonite (20 %), calcite (16 %) et rapidcreekite (13 %). La CBR a un  $D_{50}$  de 10 µm avec une surface spécifique (BET) de 115 m<sup>2</sup>/g. Elle contient plus de 90 % de silice dont plus de 68 % est réactive ; d'après le test de dissolution, dans une solution de 0,5 M NaOH, proposée par Mehta (1978). Ceci confirme le caractère amorphe et réactive du CBR.

### C. Production et caractérisation des BTCs stabilisées par les sous-produits

Les différents mélanges proposés pour la production des BTC stabilisées sont présentés dans le Tableau 3. Premièrement, le CCR est ajouté au matériau terre en fraction massique de 0 à 15 %. Deuxièmement, les fractions massiques de 10 et 15 % de CCR:CBR en divers ratios sont ajoutés à la terre (Tableau 3). Ensuite, les particules solides (Terre + CCR et Terre + CCR:CBR) sont mélangées à sec jusqu'à obtenir un mélange homogène. Les mélanges secs sont mélangés avec une quantité d'eau correspondante à la teneur en eau optimale. Le mélange humide obtenu a été

utilisée pour la production des échantillons de BTC, par compression avec une presse manuelle TERSTARAM. C'est ainsi que deux briques, de dimension 140x140x90 mm<sup>3</sup>, sont simultanément produites en utilisant une quantité nécessaire de matériau humide pour remplir le moule. L'ensemble des BTC sont ensuite couvertes par un film polyane et placées dans l'atmosphère ambiante (30-40 ° C) du laboratoire pendant 45 jours pour la maturation à la teneur en eau de production. Les BTCs maturées sont caractérisées du point de vue microstructural et mécanique pour évaluer l'influence des sous-produits industriels et agricoles sur leurs comportements.

TABLEAU 3. Composition des mélanges

Addition	Proportion de liant ajouté à la terre (%)				
	0	5	8	10	15
CCR	0	5	8	10	15
CCR:CBR (ratios)	-	-	-	10 (9:1) (8:2) (7:3) (6:4)	15 (13,5:1,5) (12:3) (10,5:4,5) (9:6)

Les caractérisations minéralogiques et microstructurales ont été réalisées en utilisant respectivement la technique de diffraction au rayon x (DRX) et microscopie électronique à balayage (MEB). La DRX est faite en utilisant un diffractomètre Bruker D8-Advance Eco 1,5 kW (Cu K $\alpha$   $\lambda$ = 1,54060 Å ; 40 kV ; 25 mA) équipée d'un détecteur Lynxeye xe. La microscopie électronique est faite en utilisant l'appareil Gemini de Zeiss. La résistance à la compression des BTCs a été évaluée conformément à la norme XP P 13-901 (2017) en utilisant une presse hydraulique universelle d'une capacité de 300 kN et une vitesse de chargement de 0,25 kN/s. La résistance à la compression (MPa),  $R_c$ , est calculée par l'équation 2 ; avec,  $F_r$ , la charge maximale de rupture (kN), et  $S$ , la surface (cm<sup>2</sup>) totale de chargement des BTCs.

$$R_c = 10 * F_r / S$$

2

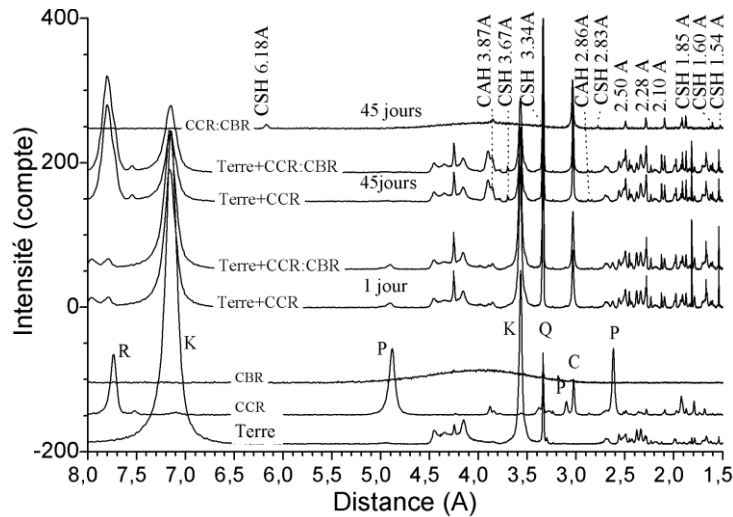
### III. RESULTATS ET DISCUSSION

#### A. Caractérisation minéralogique par DRX

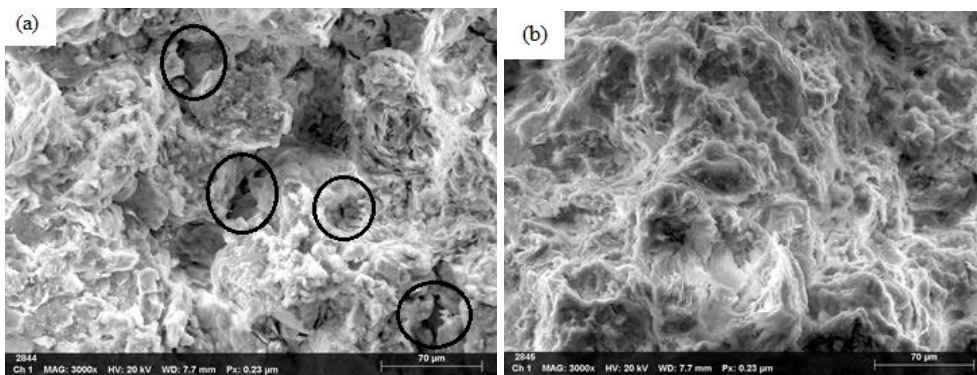
L'addition de CCR à la terre argileuse a changé la minéralogie des mélanges au cours de la maturation. Le spectre DRX du mélange terre + CCR montre une diminution de l'intensité de la réflexion caractéristique de kaolinite (7,15 Å), ainsi que la disparition de celle de la portlandite (2,62 Å) à 45 jours ; comparativement au spectre de l'argile seule et celui du CCR seul (Figure 1). De cette diminution, il en résulte la formation des silicates de calcium hydratés (CSH), ainsi que des aluminates de calcium hydratés (CAH). Ces dernières hydratées sont également formées dans le mélange contenant la terre + CCR:CBR en ratio 7:3 et celui contenant CCR:CBR seul (Figure 1).

Ce changement de la composition minéralogique peut être expliqué par la dissolution partielle de la kaolinite dans une solution basique issue de la dissociation de la portlandite (Ca(OH)<sub>2</sub>) dans CCR. La portlandite en solution se dissocie en ions Ca<sup>2+</sup> et OH<sup>-</sup>. L'ion OH<sup>-</sup> est responsable de

l'augmentation du pH, ainsi que de la basicité de la solution. En fonction de sa structure et de son degré de cristallinité, la kaolinite dissous dans une solution basique (Al-Mukhtar *et al.*, 2012). Enfin, la présence des ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans la solution encourage la précipitation de la kaolinite dissous en CSH et éventuellement CAH (Diamond, 1963 ; Al-Mukhtar *et al.*, 2012).



**FIGURE 1.** Spectres DRX de la terre, CCR et CBR comparés à leur mélange contenant 15 % CCR ou 15 % CCR:CBR en ratio 10,5:4,5 maturés pendant 1 et 45 jours; K=Kaolinite, P=Portlandite, C=Calcite, A=Aragonite, Q=Quartz, CSH=Silicate de Calcium Hydraté et CAH=Aluminate de Calcium Hydraté



**FIGURE 2.** Images MEB des BTC contenant : a) 15 % CCR and (b) 15 % CCR:CBR en ratio 10,5:4,5; les cercles représentent les pores “no cimentés”

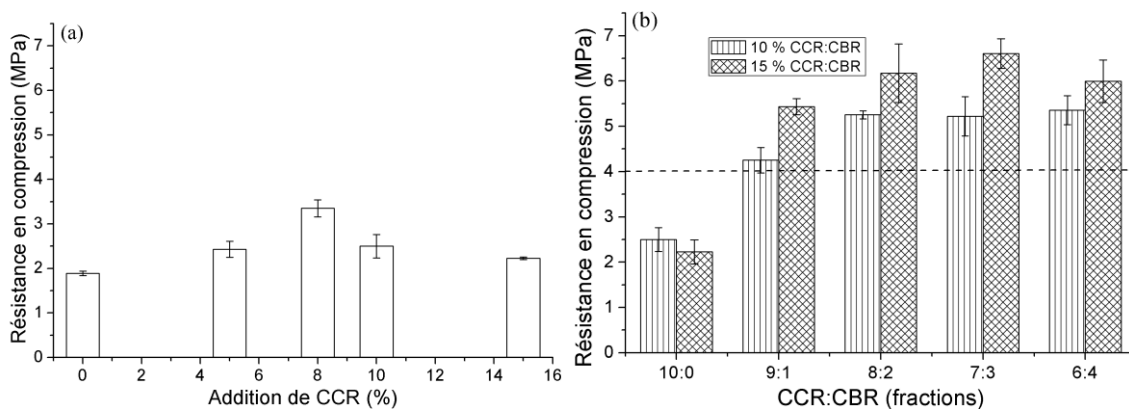
### B. Caractérisation microstructurale par MEB

Le changement de la microstructure dans les mélanges a été mis en évidence par des images MEB prises sur des échantillons contenant 15 % CCR (Figure 2a) et 15 % CCR:CBR en ratio 10,5:4,5 (Figure 2b). Ces images montrent la formation d'une sorte de « gel » enrobant les particules. Cette formation est beaucoup plus prononcée pour l'échantillon contenant la CCR:CBR par rapport à celui ne contenant que de CCR. La quantité importante de gel formé dans l'échantillon contenant le CCR:CBR par rapport à celui contenant seulement lu CCR donnera une bonne cohésion entre

les particules mais également comblera les espaces inter-particulaires. Il en résulterait ainsi une bonne densification de la matrice des échantillons et aussi une réduction des pores.

### C. Caractérisation mécanique des BTCs : Résistance à la compression

L'addition de 0 à 15 % de CCR au matériau argileux améliore la résistance à la compression des BTCs (Figure 3). La résistance à la compression maximale (3,4 MPa) est atteinte avec 8 % de CCR, comparé à 1,9 MPa pour la BTC ne contenant aucun sous-produit (Figure 3a). Cette amélioration de la résistance est justifiée par une réaction pouzzolanique par laquelle la terre consomme la portlandite ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) dans le CCR (Diamond 1963; Horpibulsuk *et al.*, 2013). Ce phénomène est justifié par la présence d'une bonne fraction des fines (30 % de particules argileuse) dans le matériau terre et la portlandite réactive (43 %) dans le CCR. Par contre, la diminution de la résistance au-delà de 8 % de CCR peut être justifiée par soit un excès de CCR dépassant la limite de consommation de la terre, soit par la quantité d'eau insuffisante à l'hydratation de la chaux au court de la maturation. L'excès de chaux dans la matrice de BTC aura comme effet d'empêcher une interaction efficace entre les produits cimentaires formés et le squelette granulaire.



**FIGURE 3.** Résistance à la compression des BTCs stabilisées avec (a) CCR (b) CCR:CBR (ratio)

La substitution de l'excès de CCR, au-delà de 8 %, par la CBR conduit à une amélioration significative de la résistance à la compression des BTCs. La Figure 3b montre bien que, pour l'addition de 10 %, la résistance à la compression est améliorée de 2,5 MPa pour CCR:CBR (10:0) à 5,3 MPa pour CCR:RHA (8:2). En plus, pour l'addition de 15 %, la résistance passe de 2,2 MPa pour 15 % de CCR:CBR (15:0) à 6,6 MPa pour CCR:RHA (10,5:4,5). Cette dernière amélioration de la résistance est due à la consommation de l'excès de CCR par la CBR et la formation de plus de produits cimentaires de CSH, CAH (section B). Les résultats similaires sont reportés dans la littérature pour la stabilisation d'une argile limoneuse par le CCR et la cendre volante (Horpibulsuk *et al.*, 2013). Les résistances en compression obtenues pour les BTCs contenant à la fois le CCR et la CBR révèlent que la CBR a permis d'accélérer la maturation de ces BTCs. La résistance à la compression des BTCs stabilisée avec 10 % CCR:CBR (9:1) dépasse 4 MPa requise pour la construction des murs de bâtiments en terre (Houben *et al.*, 1998).



### III. CONCLUSIONS

Le carbure de calcium résiduel (CCR) et la cendre de balle du riz (CBR) peuvent être potentiellement valorisés pour la stabilisation de briques en terre comprimées. L'influence de ces deux sous-produits sur les propriétés microstructurales et mécaniques a été démontrée.

- La résistance à la compression de BTC contenant un mélange de la terre utilisée dans cette étude et de CCR s'améliore pour atteindre l'optimum avec 8 % de CCR.
- La résistance à la compression de BTC contenant cette terre et 10 et 15 % CCR:CBR s'améliore d'avantage et dépasse 4 MPa requise pour la construction des murs de bâtiment en terre.

Il s'avère que la CBR accélère/améliore la maturation des BTCs stabilisées par le CCR. L'amélioration de la résistance est justifiée par la réaction pouzzolanique qui est à la base de la formation des produits cimentaires de CSH et CAH qui améliorent la cohésion dans les BTC.

### REFERENCES

- Al-Mukhtar, M., Khattab, S., et Alcover, JF. (2012). Microstructure and geotechnical properties of lime-treated expansive clayey soil. *Engineering Geology*, 139–140, 17–27.
- Bell, FG. (1996). Lime stabilization of clay minerals and soils. *Engineering Geology*, 42(4), 223–237. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(96\)00028-2](https://doi.org/10.1016/0013-7952(96)00028-2)
- Cid-Falceto, Jaine, R. Ferdinando Mazarron, and Ignacio Canas. (2012). Assessment of Compressed Earth Blocks Made in Spain: International Durability Tests. *Construction and Building Materials* 37, 738–45
- Dao, K., Moussa O., Millog Y.o, Aubert JE., et Gomina M. (2018). Thermal, Hydric and Mechanical Behaviours of Adobes Stabilized with Cement. *Construction and Building Materials* 158: 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.001>
- Diamond, S. (1963). Transformation of Clay Minerals by Calcium Hydroxide Attack. *Clays & Clay Minerals* 12 (1), 359–79. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1963.0120134>
- Hema, C.M., G. Van Moeseke, Evrad A., Courard L., et Messan A. (2017). Vernacular Housing Practices in Burkina Faso: Representative Models of Construction in Ouagadougou and Walls Hygrothermal Efficiency. In *Energy Procedia*, 122, 535–40. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.398>
- Horpibulsuk, S., Phetchuay C., et Chinkulkijniwat A. (2012). Soil Stabilization by Calcium Carbide Residue and Fly Ash. *Journal of Materials in Civil Engineering* 24 (2), 184–94. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000370](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000370)
- Horpibulsuk, S., Phetchuay C., Chinkulkijniwat A., and Cholaphatsorn A. (2013). Strength Development in Silty Clay Stabilized with Calcium Carbide Residue and Fly Ash. *Soils and Foundations* 53 (4), 477–86. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2013.06.001>
- Houben, H., and Guillaud H. (2006). *CRATerre: Traité de Construction En Terre: L'encyclopédie de La Construction En Terre*. Vol. I. Marseille: Editions Parathèses
- Delgado K., Carmen, M.et Guerrero I. C. (2007). The Selection of Soils for Unstabilised Earth Building: A Normative Review. *Construction and Building Materials* 21 (2), 237–51. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.006>
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J. E., Magniont, C., Tribout, C. et Bertron A. (2016). Plant Aggregates and Fibers in Earth Construction Materials : A Review. *Construction and Building Materials* 111, 719–34
- Minke, G. (2006). *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Basel:



Birkhäuser

Muthadhi, A., Kothandaraman S. (2010). Optimum Production Conditions for Reactive Rice Husk Ash. *Materials and Structures* 43 (9), 1303–15. <https://doi.org/10.1617/s11527-010-9581-0>

Nshimiyimana, P., Miraucourt, D., Messan, A., et Courard, L. (2018). Calcium Carbide Residue and Rice Husk Ash for Improving the Compressive Strength of Compressed Earth Blocks. *MRS Advances*, 3, 2009-2014

Sore, OS., Messan A., Prud'Homme, E., Escadeillas, G., et Tsobnang, F. (2018). Stabilization of Compressed Earth Blocks (CEBs) by Geopolymer Binder Based on Local Materials from Burkina Faso. *Construction and Building Materials* 165, 333–45. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.051>

Touré, PM., Sambou, V., Faye, M., Thiam, A., Adj, M. Azilinson, D. 2017. Mechanical and Hygrothermal Properties of Compressed Stabilized Earth Bricks (CSEB).” *Journal of Building Engineering* 13, 266–71. <https://doi.org/10.1016/j.job.2017.08.012>

Walker, P, et Stace, T. (1997). Properties of Some Cement Stabilised Compressed Earth Blocks and Mortars. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 30 (203), 545–51. <https://doi.org/10.1007/BF02486398>

Wyss, U. (2005). La Construction En « Matériaux Locaux » Etat D'un Secteur À Potentiel Multiple, Rapport de la Direction du Développement et de la Coopération Suisse.

XP P 13-901 (2017) Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons, Définitions-Spécifications-Méthodes d'essais-Conditions de réception. Edited by AFNor. Saint-Denis La Plaine Cedex: AFNor

Zoungrana, O., Bologo/Traore, M., Messan, A., Nshimiyimana, P., Pirotte, G. (2021). The paradox around the social Representations of Compressed Earth Block Building Material in Burkina Faso: the Material for the Poor or the luxury Material? *Open J Soc Sci* 9, 50–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.4236/jss.2021.91004>