

CARACTÉRISATION PHYSIQUE ET MÉCANIQUE DES CUIRASSES : PERSPECTIVES D'UTILISATION EN CONSTRUCTION EN CÔTE D'IVOIRE

Aka Alexandre ASSANDE^{1*}, Brahiman TRAORE¹, Mamadou FOFANA¹, Souleymanne OUATTARA¹, Miessan Germain ADJA², Moro Olivier BOFFOUE¹ et Edjikeme EMERUWA¹

¹ Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan-Cocody, Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux (LSEG) de l'Unité de Formation et de Recherches des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

² École Normale Supérieure (ENS), Section des Sciences de la Vie et de la Terre, Département des Sciences et Technologies, 08 BP 10, Abidjan 08, Côte d'Ivoire

(reçu le 23 Novembre 2021; accepté le 27 Décembre 2021)

* Correspondance, e-mail : assandealexandre@gmail.com

RÉSUMÉ

La cuirasse est un matériau abondant sous le climat tropical et intertropical. Elle est utilisée en construction depuis la période coloniale. Mais depuis les dernières années, elle est abandonnée au profit des nouveaux matériaux tels que le parpaing sable ciment. Pourtant les bâtisses en cuirasse résistent bien et sont d'ailleurs en très bon état malgré l'âge. La présente étude a pour objectif d'identifier les raisons de l'abandon de l'utilisation des cuirasses comme matériaux en construction afin de mieux les valoriser. Pour ce faire, une enquête relative à cette situation a été menée dans la ville de Dabou et ses environs. En suite, des blocs de cuirasse ont été prélevés dans plusieurs localités (Dabou, Yobouekro, Toumodi et Pkass), et transportés au laboratoire pour en sortir des éprouvettes de formes $80 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ et $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ avant de passer aux essais de caractérisation physique et mécanique. Les résultats de l'enquête ont relevé que l'abandon de la cuirasse dans la construction est dû à diverses raisons. Entre autres, le manque de mains d'œuvre qualifiée ainsi que la difficulté du travail de la cuirasse. Aussi, les résultats de caractérisation indiquent que la densité absolue des échantillons de cuirasse se situe entre $1,4 \text{ g/cm}^3$ et $1,79 \text{ g/cm}^3$. Quant à la porosité, les valeurs oscillent entre 12,11 % et 22,9 %. La résistance des échantillons varie de 5-13 MPa en compression sèche et entre 4 MPa et 10 MPa en compression humides.

Toutes ces propriétés dans l'ensemble respectent les limites techniques fixées par les normes d'utilisation d'un matériau en construction ce qui confirme l'aptitude des cuirasses à être utilisées en maçonnerie comme murs de remplissage et murs porteurs.

Mots-clés : *cuirasses, construction, essais physiques, essais mécaniques, densité et porosité.*

ABSTRACT

Physical and mechanical characterization of cuirasses : prospects of use in construction in Côte d'Ivoire

Cuirasse is an abundant material in tropical and intertropical climates. It has been used in construction since the colonial period. But in recent years, it has been abandoned in favor of new materials such as concrete sand cement. Yet the armor buildings hold up well and are in very good condition despite their age. The objective of this study is to identify the reasons for the abandonment of the use of cuirasses as building materials in order to better valorize them. To do this, an investigation was carried out in the city of Dabou and its surroundings. It made it possible to collect some information relating to this situation. Subsequently, blocks of armor were taken from several localities (Dabou, Yobouekro, Toumodi and Pkass), were transported to the laboratory for output of 80x40x40 mm³ and 160x40x40 mm³ form specimens before moving on to physical and mechanical characterization tests. The results of the investigation revealed that the abandonment of the cuirasses in construction is due to various reasons. Among other things, the lack of skilled labor as well as the difficulty of working the cuirasse. Also, the characterization results indicate that the absolute density of the armor samples is between 1.4 g/cm³ and 1.79 g/cm³. As for the porosity, the values oscillate between 12.11 % and 22.9 %. The strength of the samples varies from 5-13 MPa in dry compression and between 4 MPa and 10 MPa in wet compression. All of these properties generally meet the technical limits set by the standards for the use of a material in construction, which confirms the suitability of the cuirasses for use in masonry as infill and load-bearing walls.

Keywords : *cuirasses, construction, physical testing, mechanical testing, density and porosity.*

I - INTRODUCTION

Les cuirasses sont des roches résiduelles composées essentiellement de minéraux ferrugineux (Hématite et goethite) et alumineux (Kaolinite et Gibbsite). Egalement, elles se forment sous un climat tropical et intertropical à partir d'un processus d'altération des roches et d'induration des sols argileux et latéritiques. Les cuirasses font parties des matériaux dits locaux qui étaient utilisés dans les constructions avant les indépendances car son utilisation dans la construction ne nécessite pas forcément de transformation. Mais après les indépendances, son utilisation dans la construction a été abandonnée au profit des constructions avec le parpaing sable-ciment et le béton. Or cette construction dite moderne, n'est pas à la portée de tous à cause du coût élevé des matériaux. De plus, l'augmentation sans cesse de la population africaine et particulièrement celle de la Côte d'Ivoire qui passe de 19,5 millions d'habitants en 2006 à 26,96 millions d'habitants en 2020 [1], engendre un problème de logement. Face à cette situation les institutions privées et publiques du secteur de la construction s'intéressent de plus en plus à la valorisation des matériaux locaux afin de rendre l'habitat plus accessibles. Ceci pour résoudre le problème d'insuffisance de logement qui touche toute la population mais de façon plus accrue les populations ayant un faible revenu. Cette étude a pour objectif de comprendre les raisons de l'abandon de l'utilisation des cuirasses comme matériaux de construction et de proposer à travers leurs caractérisations physiques et mécaniques, des domaines d'utilisation.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les blocs de cuirasses n'ayant pas de forme précise, ils ont été taillés avec une scie à lame diamantée de type MELKON (*Figure 2*). A l'aide de cette scie, deux types d'échantillons de formes $80 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ et $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ (parallélépipédiques) ont été conçus pour les différents essais physiques et mécaniques (*Figure 3*).

II-1. Matériaux

II-1-1. Enquête de terrain

L'enquête s'est déroulée dans la ville de Dabou et ses environs. Le but de cette enquête est de faire l'état des lieux sur l'abandon de l'utilisation des cuirasses dans la construction en Côte d'Ivoire et recenser les bâtiments construits avec la cuirasse pour en apprécier les états. Pour ce faire, une fiche d'enquête a été élaborée et plusieurs personnes à Dabou, à Pkass, à Toupah et à grand Bouboury ont été interrogées. A la suite de l'enquête, les bâtiments construits avec la cuirasse ont été recensés et à la fin de l'enquête les blocs de cuirasses ont été prélevés.

II-1-2. Prélèvement des cuirasses

Les blocs de cuirasses ont été prélevés dans deux localités différentes (Dabou au Sud et Toumodi au Centre de la Côte d'Ivoire). De ces blocs, des échantillons ont été taillés à la scie au laboratoire pour les différents essais de caractérisation. La **Figure 1** montre les blocs de cuirasses prélevés.



Figure 1 : Blocs de cuirasses

Deux types de cuirasse ont été utilisés pour les essais de caractérisation physiques et mécaniques. La cuirasse de la **Figure 1-a** provient de l'altération des roches cristallines. Elle présente plusieurs pores (structures alvéolaire) tandis que celle de la **Figure 1-b** est issue de l'induration des sols latéritiques et argileux, elle ne présente pas de pores (structure massive).

II-2. Procédures expérimentales

II-2-1. Préparation des échantillons

Les blocs de cuirasses n'ayant pas de forme précise, ils ont été taillés avec une scie à lame diamantée de type MELKON (**Figure 2**). A l'aide de cette scie, nous avons conçue deux types d'échantillons de dimensions $80 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ et $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ pour les différents essais physiques et essais mécaniques (**Figure 3**).



Figure 2 : Scie à lame diamantée pour la taille des cuirasses

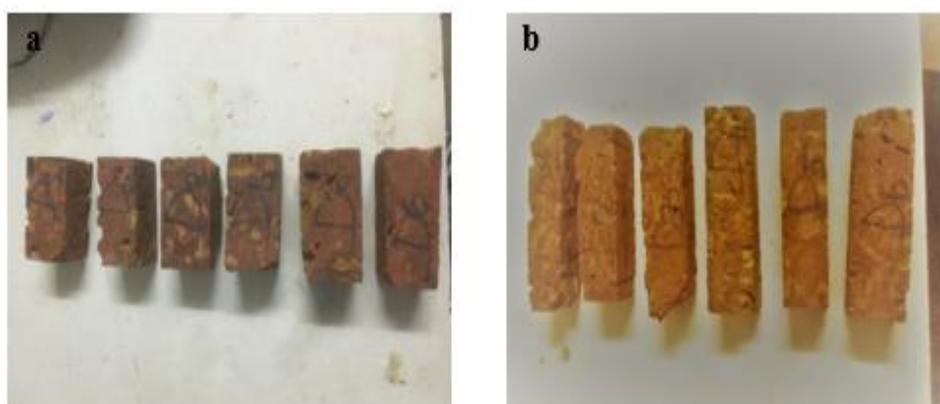


Figure 3 : Eprouvettes après dimensionnement

(a : échantillons 80 x 40 x 40 mm³ ; b : échantillons 16 x 40 x 40 mm³)

II-2-2. Technique d'essais

II-2-2-1. Caractérisation physique

- *Densité apparente*

Cet essai permet de déterminer la densité apparente. L'essai consiste à déterminer la masse sèche sur une balance et à partir du produit des dimensions (longueurs, largeurs et épaisseurs) mesurées avec une règle de 40 cm, déduire la densité apparente grâce à la **Formule (1)**.

$$d = \frac{M}{V} \quad (1)$$

où, M est la masse de l'échantillon (g), et V , son volume (cm³).

- *Essai d'absorption d'eau*

La pénétration d'eau dans un matériau se fait par absorption. L'eau absorbée est responsable de nombreux dommages (moisissures, taches, claquages des enduits et les fissures dans le bâtiment). Dans cette étude, l'absorption prise en compte est celle qui se détermine par immersion selon la norme NBN B 15-215:1989 [2]. L'essai consiste à déterminer la masse sèche des échantillons puis les immerger dans les récipients durant trois jours en pesant la masse de l'éprouvette après chaque 24 h. L'absorption d'eau par immersion est exprimée en pourcentage (%) et est calculée par la **Formule** suivante :

$$Abs = \frac{m_{humide} - m_{sèche}}{m_{sèche}} \times 100 \quad (2)$$

avec, m_{humide} : la masse humide après immersion (g) ; $m_{sèche}$: la masse sèche (g)

- *Masse volumique absolue et porosité accessible à l'eau des blocs*

Pour déterminer la porosité accessible à l'eau et la masse volumique absolue, une balance de pesée hydrostatique (**Figure 4**) avec une précision de 0,01 a été utilisée.

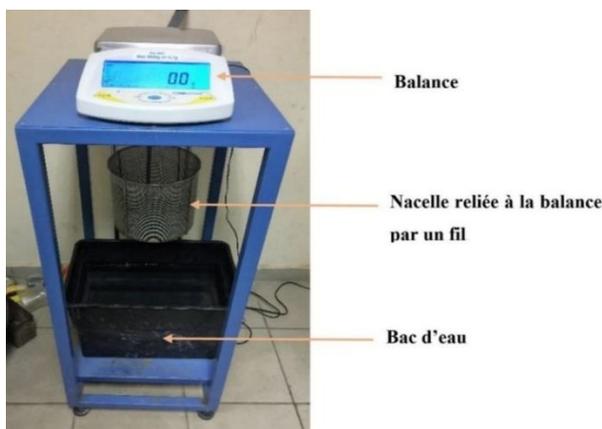


Figure 4 : Balance de mesure par pesée hydrostatique

La procédure décrite ici est celle proposée par les recommandations de AEPC-AFREM, (1997). L'essai consiste à déterminer des différentes masses des échantillons (masse sèche, masse à l'eau et masse à l'air). En effet, pour déterminer la masse sèche (M_s), les échantillons sont préalablement mis à l'étuve à 105°C. Pour la masse à l'eau, les échantillons sont déposés dans la nacelle qu'on fait descendre dans le bac d'eau et on lit la valeur sur la balance (M_e). Puis pour la masse à l'air, les échantillons sont retirés du bac d'eau ainsi que de la nacelle, leurs surfaces sont essuyé et déposés à nouveau sur la balance afin de déterminer la masse pesée à l'air (M_a). Avec toutes ces masses, la masse volumique ρ (g/cm^3) a été déterminée à partir de la **Formule** suivante :

$$\rho = \frac{M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \quad (3)$$

aussi, la porosité accessible à l'eau η (%) est donnée par la **Formule** ci-dessous :

$$\eta = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100 \quad (4)$$

II-2-2-2. Caractérisation mécanique

- *Essai de résistance à la compression*

L'essai de compression est un essai simple. Le principe est de déposer les échantillons entre les deux plateaux de la presse. Le plateau supérieur applique sa charge sur les échantillons jusqu'à la rupture. Il a été réalisé sur les échantillons de dimension $80 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ avec un élancement deux (2) et sur la moitié des échantillons $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ selon la norme NF EN 772-1 [3] à l'aide d'une presse hydraulique ELE de 2000 kN (**Figure 5**).



Figure 5 : Dispositif pour l'essai de compression

La résistance en compression exprimée (MPa) ou (N/mm^2) est donnée par la **Formule** suivante :

$$R_c = \frac{F}{S} \quad (5)$$

où, F est la force appliquée en Newton (N) ; S la surface de contact des échantillons avec le plateau (mm^2) et R_c la résistance à la compression (MPa). La valeur de la résistance obtenue est une moyenne calculée sur trois (3) blocs.

- *Essai de résistance à la flexion*

La résistance à la flexion d'un matériau traduit son comportement lorsqu'il subit des forces mécaniques extérieures. La connaissance de cette

caractéristique est indispensable pour des applications structurelles (revêtements de façade, dalles sur plots, traverses supérieures, etc.) où le matériau sera sollicité en flexion. L'essai est fait selon la norme NF B 51-008 et il est réalisé à l'aide d'une presse de flexion ELE de 100 kN (**Figure 6**). L'essai est effectué sur les échantillons $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ et consiste à déposer les échantillons sur deux appuis simples distants de $L = 12 \text{ cm}$ et un troisième qui exerce la charge sur l'échantillon jusqu'à la rupture.

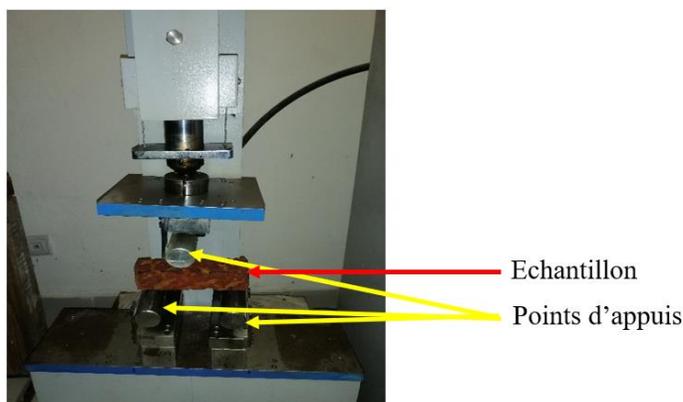


Figure 6 : Dispositif pour l'essai de flexion trois points

La résistance en flexion trois (3) points exprimés (MPa) ou (N/mm^2) est donnée par la **Formule** :

$$R_f = \frac{3FL}{2be^2} \quad (6)$$

où, F : la charge mesurée à la rupture (MPa) ; L : distance entre les deux points d'appui (mm) ; b : largeur de l'éprouvette (mm) ; e : épaisseur de l'éprouvette (mm).

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Connaissance de l'emploi des cuirasses en construction

Pendant l'enquête, la plus part des bâtiments construits avec la cuirasse avant et pendant les indépendances que nous avons eues le privilège de visiter est en bon état. Ce qui témoigne de la bonne résistance de ce matériau. Même ceux qui ont subits les violences des crises sociales n'ont besoins qu'une remise en état car la structure porteuse faite en cuirasse demeure toujours solide (**Figure 7**). Ces édifices montrent que la cuirasse est bien connue et utilisée dans la construction dans cette région.



Figure 7 : *Edifices construits avec la cuirasse*

(a : *église catholique ; b : grotte ; c : maison individuelle ; d : Fondation d'un bâtiment*)

L'analyse des résultats de l'enquête donne les interprétations consignées dans la **Figure 8** ci-dessous. Il ressort que 88 % de la population connaissent la cuirasse et elles justifient cela par le fait qu'elles sont constamment en contact avec les cuirasses qui se trouvent dans leur environnement. A la question portant sur l'existence de techniciens spécialisés au travail de la cuirasse de nos jours, il apparaît qu'environ 95 % ne connaissent pas de personnes travaillant ce matériau. Nous pouvons en déduire que ces personnes n'existent plus. C'est donc la raison qui expliquerait la disparition de ce savoir-faire avec ses détenteurs.

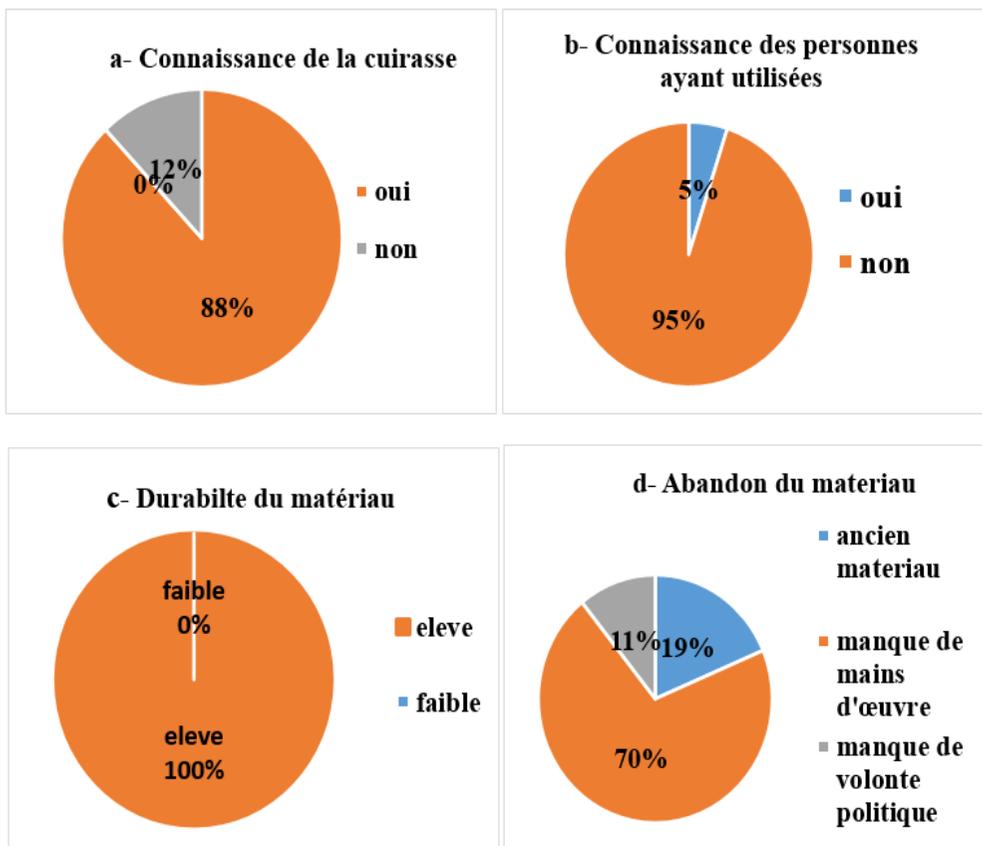


Figure 8 : Résultats de l'enquête sur l'abandon de la cuirasse

En ce qui concerne la durabilité des cuirasses dans la construction, la totalité (100 %) des personnes témoignent de la bonne durabilité du matériau car il y a des édifices construits avec ce matériau dans ces localités bien avant les indépendances et qui sont encore en très bon état de nos jours malgré les intempéries. Aussi, nous retenons que cet abandon est dû au manque de volonté politique (11 %) pour la promotion du matériau. En outre, un autre groupe (19 %) soutient que c'est un matériau ancien donc démodé et les derniers (70 %) le justifient plutôt par un manque de mains d'œuvre qualifiée. En effet, le manque de volonté politique est dû au fait que l'Etat ne s'implique pas réellement dans la valorisation des matériaux locaux comme la été évoquée par [4]. Toute fois malgré les efforts consentis, un des problèmes majeurs de l'utilisation des matériaux locaux semble être l'insuffisance voir le manque de critères standardisés pour en évaluer les performances comme l'indique [5].

III-2. Caractérisation physiques

III-2-1. Masse volumique

La **Figure 9** présente les résultats de la masse volumique apparente en fonction des localités. Les barres en couleur bleu représentent les valeurs de la masse volumique apparente des échantillons par localités et celles en orange, la moyenne des masses volumiques des différentes localités.

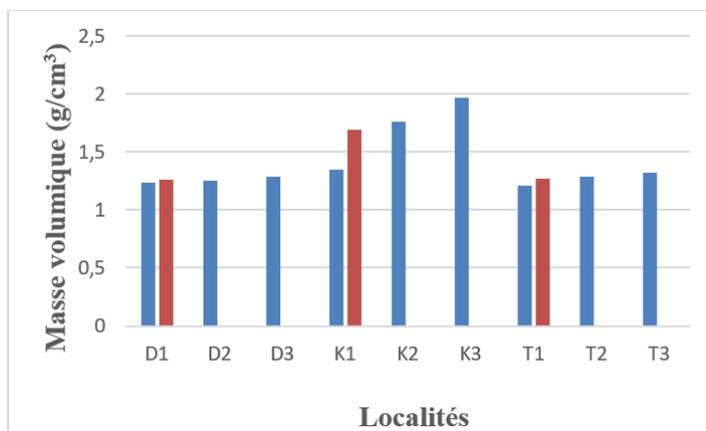


Figure 9 : *Masses volumiques apparentes des échantillons selon les localités (D: Dabou; K: Pkass; T: Toumodi)*

Sur cet histogramme, la masse volumique apparente des échantillons dans les trois (3) localités oscille entre 1,21 et 1,97 g/cm³. En se basant sur les valeurs moyennes, les cuirasses de Pkass ont les masses volumiques les plus élevées (1,69 g/cm³) suivie de celles de Toumodi (1,40 g/cm³) et celles de Dabou ont les masses volumiques les plus basses (1,30 g/cm³). Cette variation pourrait s'expliquer par le mode de formation et par la structure des cuirasses. En effet, les cuirasses formées par altération ont une structure poreuse donc une masse volumique faible alors que celles formées par induration des sols ont une structure massive ce qui leur confère une masse volumique élevée. En outre les valeurs de masse volumique sont moins dispersées au niveau des échantillons de Dabou (0,03) et de Toumodi (0,06) que celles de Pkass (0,31). Ces écarts entre les valeurs traduisent la grande variabilité entre les échantillons de cuirasse de Pkass. Dans ces localités les échantillons prélevés sur le même affleurement sont à des degrés de cuirassement différent. Ainsi les cuirasses de Pkass sont à un degré de formation plus avancé que celles de Toumodi et de Dabou. Selon la norme NF EN 771-3-2011 qui exige une masse volumique sèche des BTC comprise entre 1,4 et 1,6 g/cm³, les cuirasses de Toumodi et de Pkass sont utilisables dans les mêmes conditions que ces BTC.

III-2-2. Absorption d'eau

Tableau 1 : Valeur d'absorption d'eau des cuirasses

Échantillons	Absorption (%)	Ecart-type
Dabou	8,72	0,8
Toumodi	8,28	0,66
Pkass	6,92	0,81

Le **Tableau 1**, montre que l'absorption d'eau des échantillons de Dabou (8,72 %) est supérieure à celle des échantillons de Toumodi (8,28 %), elle-même supérieure à celle de Pkass (6,92 %) avec un écart-type inférieur à 1. L'absorption d'eau élevée pour les échantillons de Dabou et Toumodi peut s'expliquer par la présence d'un volume de pores élevé dans les cuirasses de ces deux localités car ces cuirasses ont une structure alvéolaire. Dans les dispositions de la norme NBN EN 1338 exigeant une absorption ≤ 6 %, nous pouvons alors dire que ce matériau ayant un taux d'absorption supérieure à 6 ne peut pas être utilisé dans les structures porteuses du bâtiment mais est utilisable dans les non porteuses.

III-2-3. Densité absolue et porosité accessible à l'eau

Les résultats obtenus sont consignés dans le **Tableau 2**.

Tableau 2 : Densité absolue et la porosité

Echantillons	Densité abs (g/cm ³)	Ecart-type	Porosité moy (%)	Ecart-type
Dabou	1,40	0,31	22,91	2,48
Toumodi	1,63	0,15	16,65	3,19
Pkass	1,79	0,34	12,11	5,11

Le **Tableau 2** ci-dessus montre que les échantillons de Dabou ont les plus faibles densités et ceux de Pkass ont des densités les plus élevées. Parallèlement, la porosité de ces mêmes cuirasses baisse partant de la localité de Dabou (22,91 %), Toumodi (16,65 %) et à Pkass (12,11 %), tandis que la densité absolue évolue en sens contraire. Cela peut s'expliquer par la compacité des échantillons car la présence des vides dans les cuirasses (blocs de Dabou et Toumodi), entraînent une augmentation de la porosité et une diminution de la densité. Par ailleurs, les échantillons ne peuvent pas être utilisés dans les structures porteuses des bâtiments car les résultats respectifs se situent en dessous de la barre des valeurs prescrites par la norme NBN EN 1936-2007.

III-3. Propriétés mécaniques des échantillons de cuirasses

III-3-1. Résistance à la compression

Le *Tableau 3* montre les résultats de la résistance à la compression sèche et humide.

Tableau 3 : Résistance à la compression sèche et humide

Echantillons	Rc sèche (MPa)	Ecart-type	Rc humide (MPa)	Ecart-type
Dabou	5,44	0	4,05	0,02
Toumodi	6,83	4,44	---	---
Pkass	12,34	5,71	9,25	5,85

Les résistances à la compression sèche des échantillons des différentes localités augmentent progressivement de (5,44 MPa) pour les échantillons de Dabou, à ceux de Pkass (12,34MPa) en passant par Toumodi (6,82 MPa) alors que la résistance à la compression humide des échantillons de Pkass (9,25 MPa) est plus élevée que celle de Dabou (4,05 MPa). Tout cela peut s'expliquer par la forte porosité des échantillons de Dabou et de Toumodi qui est à la base du taux d'absorption d'eau élevé pour ces deux échantillons. Dans les études de [5] sur la caractérisation des matériaux latéritiques indurés, il a obtenu une résistance à la compression sèche comprise entre 0,38 et 4,87 MPa. Les résultats de la présente étude sont aussi comparables à ceux obtenus par [6, 4, 13] sur les latérites indiennes (0,5 à 3 MPa). De plus les valeurs obtenues lors de notre étude sont également dans le même ordre de grandeur que celle des autres pierres naturelles utilisées dans la construction d'habitats en Turquie comme les dépôts quaternaires de caliche dont les résistances sont comprises entre 2,03 et 10,4 MPa [4]. Aussi [4 - 7, 14] ont obtenus une résistance de 6,2 MPa dans leurs études sur les tuffs roche tendre, résultant de la consolidation de débris volcaniques. Sans exception, les valeurs des résistances à la compression de notre étude sont plus élevées que les valeurs obtenues dans toutes ces études et comparées au seuil recommandé par CRATerre (4 MPa) pour les constructions en brique de terre ainsi que celle proposée par la norme indienne pour les blocs de latérite utilisés dans la maçonnerie (3,5 MPa) IS : 3620-1979-1998.

III-3-2. Résistance à la flexion

Ces échantillons ont été immergés dans l'eau pendant trois (3) jours avant de passer à l'essai de flexion puis compression. Dans le test, ce sont les échantillons de Toumodi qui ont été immergé uniquement par manque d'échantillon supplémentaire après la taille des blocs.

Tableau 4 : Valeurs de résistance à la compression et flexion humide

Echantillons	Rc humide (MPa)	Ecart-type	Rf humide (MPa)	Ecart-type
Toumodi	4,32	1,37	1,93	0,1

Le **Tableau 4** ci-dessus, présente les résultats de la résistance à la compression et à la flexion humide des échantillons de Toumodi. La résistance à la compression des échantillons est de 4,32 MPa avec un écart-type de 1,37 alors qu'à la flexion elle donne 1,93 MPa avec un écart-type faible de 0,1. Nous remarquons que ces valeurs sont inférieures à celles des flexions à sec. Cela s'explique par le fait que les échantillons humides ont absorbés une quantité d'eau qui a occupé les pores et engendrer une diminution de la résistance du matériau. La grande dispersion des valeurs s'explique par l'impact de l'humidité sur la cohésion des cuirasses de Toumodi. Cela confirme bien leur utilisation autre fois pour la réalisation des murs dans la construction.

III-4. Comparaison des caractéristiques de la cuirasse avec d'autres matériaux

Tout matériau, avant d'être utilisé sainement en construction, doit faire l'objet d'une caractérisation. En effet, dans cette partie, les caractéristiques des murs de maçonnerie de quelques matériaux sont présentées et par la suite une comparaison est faite avec celles de la cuirasse. De plus dans les études de [8 - 15] et selon la norme XP P13-901, nos résistances sont comparables à celles des blocs B40 et B60 (4 à 6 MPa) ainsi que les B80 et B120 (8 et 12 MPa). Aussi selon la norme ASTM C270 portant sur les murs de maçonnerie qui exige qu'un mur porteur ait une résistance à la compression supérieure à 7 MPa et 1 à 4 MPa pour un mur non porteur ou mur de remplissage [8], nos échantillons sont utilisables.

Tableau 5 : Caractéristiques de certains matériaux de construction

Caractéristique	BTC	Adobe	Pisé	Brique cuite	Bloc de béton	Cuirasse étudiée
Rc (MPa)	7 - 14	2 - 7	1 - 3	5 - 10	1 - 4	5,44 - 12,34
Mv absolue (g/cm ³)	1,7 - 2,2	1,2 - 1,7	1,9	1,4 - 2,4	1,7 - 2,2	1,40 - 1,79
Maçonneries	Porteur	Porteur	Porteur	Porteur	Remplissage	Porteur et remplissage

De plus, la résistance à la compression de la cuirasse étant située dans les valeurs recommandée par les normes, elle peut être utilisée à la fois comme murs porteurs et murs de remplissage. Comparativement à la résistance sèche, la résistance humide est faible car l'eau en pénétrant dans les matériaux, affaiblie les liaisons dans les structures, ce qui diminue la résistance des matériaux. Puis selon la norme EN 772-1, la résistance à la compression

humide à 28 jours des briques cuites à 0 % de ciment varie de 0,5 à 6 MPa. Et selon [9, 12, 14], la résistance à la compression humide sur les BTC à 28 jours, est supérieure à 6 MPa. La comparaison des caractéristiques de la cuirasse aux caractéristiques des autres matériaux dits locaux, permet d'affirmer que la cuirasse peut être utilisée dans la maçonnerie comme murs de remplissage, murs de soubassement et comme murs porteurs car elle respecte les normes établies et ces caractéristiques sont même supérieures aux valeurs prescrites par ces normes. Tous ces résultats précédents, montrent que les cuirasses peuvent être utilisées comme murs de remplissage, murs de soubassement et murs porteurs car les résistances des échantillons de Pkass sont largement supérieures à la valeur recommandée par la norme XP P13-901 et d'autres normes. Il ressort des résultats des essais mécaniques que la plus grande valeur moyenne de la résistance à la compression est de 12,34 MPa et celle de la flexion est de 2,18 MPa. Ces résultats sont encourageants car comparativement à certains matériaux (Terre cuite, BTC, Adobe, Pisé, Parpaings), la cuirasse donne de meilleures résistances aussi bien en compression qu'en flexion.

IV - CONCLUSION

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux et développement durable dans les pays en voie de développement. La cuirasse, autrefois utilisée comme matériau de construction en Afrique (Côte d'Ivoire) est aujourd'hui abandonnée pour plusieurs raisons dont la perte de la technologie de la construction en cuirasse. Ainsi des échantillons ont été prélevés et envoyés au laboratoire afin de leur donner une forme régulière avant de passer aux différents essais de caractérisation. Les résultats obtenus lors des essais physiques et mécaniques permettent de tirer les conclusions suivantes. Les échantillons de Dabou ont une densité apparente de $1,30 \text{ g/cm}^3$, un taux d'absorption d'eau de 8,72 %, une densité absolue de $1,40 \text{ g/cm}^3$ et une porosité de 22,9 %. Ces caractéristiques physiques justifient les faibles résistances à la compression et flexion obtenue pour ces échantillons dont les résistances à la compression sèche et humide sont respectivement 5,44 MPa et 4,5 MPa et 1,76 MPa pour la flexion. Ceux de Toumodi donnent une densité apparente de $1,40 \text{ g/cm}^3$, une absorption d'eau de 8,28 %, une densité absolue de $1,63 \text{ g/cm}^3$ et une porosité de 16,65 %. Sur ces échantillons, les résistances à la compression sèche et humide respectives de 6,83 MPa et 3,46 MPa ont été obtenues tandis qu'en flexion sèche et humide elles sont de 2,18 MPa et de 1,93 MPa. Quand aux échantillons de Pkass, les valeurs de densité apparente, d'absorption à l'eau, de densité absolue et porosité sont respectivement $1,69 \text{ g/cm}^3$, 6,92 %, $1,66 \text{ g/cm}^3$ et 12,11 %. Ces caractéristiques physiques justifient les résistances mécaniques élevées (compression sèche de 12,34 MPa

et 9,25 MPa humide) pour ces échantillons. Les résultats obtenus dans cette étude sont satisfaisants et encourageant. C'est pourquoi, il faut étendre cette étude à la recherche de carrières de cuirasses exploitables, étudier le degré de cuirassement et d'initier une méthode d'exploitation adaptée. Ainsi, ces différentes études viendront appuyer les arguments qui permettront de convaincre la population et le monde scientifique à utiliser de nouveau les cuirasses dans la construction.

RÉFÉRENCES

- [1] - FRATERNITE MATIN, "*Journal, quotidien gouvernemental Côte d'Ivoire*", N°110120 du 17 juillet, (2020)
- [2] - B. TRAORE, "Elaboration et caractérisation d'une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés) : Amélioration de la résistance par des charges en argiles." Thèse de doctorat. Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, (2018) 213 p.
- [3] - G. BAVELARD, H. BEINISH, "Guide de bonnes pratiques des essais de compression sur éprouvettes"; Centre d'Etude et de Recherches de l'Industrie du Béton, (2006) 28 p.
- [4] - S. NARBET, "Développement des matériaux locaux dans la construction au Burkina Faso : perspectives d'avenir". Mémoire Groupe des écoles EIER-ETSHER, (2006) 116 p.
- [5] - A. G. LAWANE, "Caractérisation des matériaux latéritiques indurés pour une meilleure utilisation dans l'habitat en Afrique". Thèse de doctorat. Université du Havre et de la Fondation 2IE, (2014) 262 p.
- [6] - A. K. KAS THURBA, "Investigation of laterite stones for building purpose from Malabar region, Kerala, SW India - Chemical analysis and microstructure studies." *Construction and Building Materials*, (2008) 2400 - 2408 p., ISSN 0950-0618
- [7] - S. NARBE, "Développement des matériaux locaux dans la construction au Burkina Faso : perspectives d'avenir". Mémoire groupe des écoles EIER-ETSHER, (2006) 116 p.
- [8] - A. LAVIE, "Valorisation des gisements argileux pour la fabrication de terre comprimée." Thèse de doctorat. Université de Liège, (2019) 86 - 105 p.
- [9] - P. DOAT, A. HAYS, H. HOUBEN, S. MATUK, F. VITOUX, "CRATerre", Construire en terre, 3^{ème} édition alternatives, Collection Architecture, Paris, (1985) 287 p.
- [10] - K. AL-JABRI, A. W. HAGO, S. AL-SAADY, I. AL-HARTHY, P. AMOATEY, "Physico-thermal, mechanical, and toxicity properties of stabilised interlocking compressed earth blocks made with produced water from oilfields". *Journal of Building Engineering*, Vol. 42, (2021) 103029

- [11] - A. LAWANE, N. A. HAMA, M. T. GOMIS, A. NGNINTEDEM, A. MESSAN, "Correlation Between Shear Strengths of Disturbed and Undisturbed Soils at Three Sites in Burkina Fasso" *Advances in Materials*. Vol. 7, N° 4 (2018) 128 - 136 p.
- [12] - C. HEMA, A. MESSAN, A. LAWANE and G. MOESEKE; "Impact of the Design of Walls Made of Compressed Earth Blocks on the Thermal Comfort of Housing in Hot Climate"; *Buildings*, 10 (2020) 157
- [13] - S. O. SORE, A. MESSAN, E. PRUD'HOMME, G. ESCADEILLAS, F. TSOBNANG, "Stabilization of compressed earth blocks (CEBs) by geopolymer binder based on local materials from Burkina Faso. " *Constr. Build. Mater.*, 165 (2018) 333 - 345
- [14] - S. KABRE, N. SAVADOGO, A. LAWANE and A. MESSAN, "Physical Mechanical Properties and Durability of Mortars Containing Tuff of Boussouma (Burkina Faso) in Partial Substitution of CEM I Cement." *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol. 6, N° 2 (2018) 46 - 53
- [15] - M. A. SERIFOU, O. S. P. JOLISSAINT, A. A. ASSANDE, E. EMERUWA, "Recycled Concrete Based on Retour de Toupie Aggregates (Fresh Concrete Waste)": *American Journal of Materials Science and Engineering*, Vol. 8, N° 1 (2020) 1 - 5