



INFLUENCE D'ADJUVANTS NATURELS SUR LES PROPRIETES PHYSICO-MECANQUES DES BTC : CAS DU NERE ET DU KARITE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN GENIE CIVIL

OPTION : .Routes et Ouvrages d'Art

Centre Commun de Recherche Energie et Habitat Durables

Présenté et soutenu publiquement le **26 Juin 2013** par

Yasmine Binta TRAORE

Travaux dirigés par : Dr. Adamah MESSAN,

Enseignants chercheurs au 2ie

CENTRE COMMUN DE RECHERCHE ENERGIE ET HABITAT DURABLE

Pr. François TSOBNANG

Chef du Laboratoire Eco-matériaux de construction

CENTRE COMMUN DE RECHERCHE ENERGIE ET HABITAT DURABLE

Jury d'évaluation du stage:

Président : Dr Abibou CISS

Membres et correcteurs : Jacques Rémy MINANE

Césaire HEMA

Promotion [2012/2013]

DEDICACES

A mon père Karim TRAORE et à ma mère Célestine PALE

Ce travail me donne l'occasion de vous témoigner toute mon admiration et toute ma reconnaissance. Vous m'avez guidée vers cette noble tâche. Puisse ce travail être à la hauteur de vos attentes. Vous êtes et resterez toujours des modèles pour moi.

A ma sœur Inna et à mon frère Hassane

Votre soutien et votre affection ont été déterminants. Ce travail est un témoignage de ma reconnaissance. Restons toujours unis.

A mon neveu Djamal et à mes nièces Myra et Kaylah

Merci pour la lumière et l'espérance que vous nous avez apportées.

A mon beau-frère Bernard YARO et ma belle-sœur Valérie ZOUNGRANA

Pour votre soutien et vos encouragements, je vous dédie ce travail.

A mes oncles et à mes tantes

Pour l'incalculable soutien que vous m'avez toujours apporté. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma gratitude.

A mon oncle Adama NOMBRE

Pour avoir toujours cru en moi et m'avoir soutenu tout le long de mon cursus universitaire. Je vous dédie ce travail

Aux autres membres de ma famille

Je vous dédie ce travail

A Ralya, Madina, Moussa et Kadi

Votre soutien constant et multiforme ainsi que vos encouragements sont incalculables.

A tous mes amis : Sophie, Jonathan, Relwindé, Colette, Julien, Isidore, Axelle, Belima, Michael

Merci pour votre soutien et l'amitié qui nous unit.

A tous mes camarades et promotionnaires

Que la solidarité qui a prévalu entre nous au cours de notre formation perdure tout au long de notre vie. Excellente carrière à tous.

REMERCIEMENTS

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle je tiens à remercier tout d'abord, toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements et ma reconnaissance vont à Dr. **MESSAN Adamah** pour son soutien multiforme à mon égard lors de mon cursus universitaire, et pour le temps qu'il a bien voulu me consacrer tout au long de cette période de stage, sachant répondre à toutes mes interrogations.

Mes remerciements vont également aux personnes suivantes pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elles m'ont fait vivre durant ces deux mois au sein du Laboratoire Eco-Matériaux de Construction (LEMC) de 2iE :

Professeur **François TSOBNANG**, messieurs **Koffi KOKOLE**, **Jacques-Rémy MINANE**, **Abdou LAWANE** pour la confiance qu'ils m'ont accordée dès mon arrivée dans le laboratoire, et pour m'avoir intégrée rapidement, sans oublier leur participation au cheminement de ce mémoire.

Monsieur **Salif KABORE** et tous les stagiaires du LEMC : **Togoï Issa BRAHIM**, **Eric DJIPSU MBANG**, **Amine ILBOUDO**, **Nafissatou SAVADOGO**, **Axelle SOMDA**, **Omar SORE**, **Brice ZAGRE**, **Roosvelt TCHOUATEU** pour la solidarité et l'atmosphère sympathique qui ont régné pendant le stage. Merci pour leur coopération professionnelle tout au long de ces quatre mois.

Toute l'équipe du LBEB (Laboratoire Biomasse Energie et Bio-carburant), en particulier Mr. **Odilon CHANGOTADE** et Dr **Igor OUEDRAOGO** : J'ai trouvé un grand intérêt à partager ces quelques jours de stage dans votre laboratoire. Merci

Aussi, je remercie toute l'équipe pédagogique de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) et les intervenants professionnels responsables de la formation en génie civil pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

AVANT - PROPOS

L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) est un établissement bilingue d'enseignement et de recherche dans les domaines de l'Eau, de l'Energie, de l'Environnement et du Génie Civil. Il a pour mission de former des ressources humaines compétentes, focalisées sur l'innovation et l'esprit d'entreprise.

2iE compte deux Centres Communs de Recherche et cinq laboratoires. Dans le cadre de son programme de formation d'ingénieur, il nous a été confié d'effectuer notre stage de fin de formation dans le Centre Commun de Recherche Energie et Habitat Durables (CCREHD), plus particulièrement dans le laboratoire Eco Matériaux de Construction (LEMC).

Le CCREHD entend contribuer au développement des capacités d'innovation industrielle dans les domaines des énergies renouvelables et de l'éco-habitat. Ceci dans l'objectif d'améliorer les conditions de vie des populations et de développer l'économie en Afrique, tout en encourageant une production et une utilisation rationnelle des ressources.

Le LEMC, lui, mène des études orientées vers l'émergence des éco-matériaux constitués à partir de ressources locales pour une amélioration du cadre de vie et une préservation de l'environnement. Le laboratoire dispose d'équipements pour la caractérisation physique et mécanique des matériaux de construction. Il collabore avec plusieurs partenaires du secteur privé et des universités internationales pour conduire des travaux de recherche appliquée.

RESUME

Les Briques en Terre Comprimée (BTC) représentent une évolution moderne des briques en terre moulée. Ce procédé de construction constitue une réelle amélioration des techniques traditionnelles de construction en terre. Toutefois, des études montrent que les BTC présentent des propriétés physico-mécaniques faibles par rapport aux briques à base de mortier de ciment. Dans le but d'améliorer ces propriétés, nous nous sommes intéressés à l'influence que pourrait avoir certains adjuvants végétaux *Parkia biglobosa* (néré) et *Vitellaria paradoxa* (karité) sur les propriétés physico-mécaniques des BTC.

Des essais d'identification au laboratoire ont montré que la latérite utilisée est riche en éléments fins ($\phi < 80\mu\text{m}$ de plus de 44%) avec près de 25% d'argile qui a servi à la confection des BTC stabilisées à 10% en masse de ciment. Pour les besoins de l'étude, trois formulations fonction de la nature de l'adjuvant végétal utilisé ont été faites. L'eau de gâchage a été substituée par des solutions de décoctions de néré et de karité. Ces solutions de traitement concernent deux décoctions de cosses de néré dosées à 50g/l et 100g/l en masse de néré, et de l'eau résiduelle issue de la fabrication du beurre de karité. Une dernière formulation, exempte de tout adjuvant végétal a été ajoutée pour tenir lieu d'échantillon témoin pendant les expérimentations. Compte tenu de la faible teneur en matières sèches des solutions adjuvantes (<4%), l'eau de gâchage a été substituée dans le mélange par celles-ci.

Après une cure de 28 jours, l'analyse des propriétés physiques montrent que le traitement au néré réduit la capacité d'absorption d'eau des BTC. Par ailleurs, on constate également que la concentration de la solution en adjuvants végétaux influence le comportement mécanique des BTC. En effet, une décoction en cosses de néré dosée à 100g/l en masse de néré améliore la résistance à la compression des briques de 10%. On pourrait donc envisager l'amélioration des propriétés physico-mécaniques des BTC pour un taux de stabilisation au ciment plus faible.

Mots clés : latérite ; brique en terre comprimée ; produits végétaux (néré, karité) ; résistance à la compression ; absorption capillaire.

ABSTRACT

Compressed Earth Block (CEB) is the modern evolution of common earth bricks. This new method improves traditional earth building techniques in an important way. However, CEB are proved to be less permanent than conventional brick manufactured with cement. In order to improve that durability, we investigated the effects of vegetal admixtures on the physical and mechanical properties of laterite made CEB. Vegetal admixtures such as decoctions of *Parkia biglobosa* (néré) pods and *Vitellaria paradoxa* (shea) butter processing wastewater are widely used by locals. That made them particularly interesting.

The raw materials (laterite) use to make CEB has a fine granulometry ($\phi < 80$ micrometer over 44%) with about 25% clay. During the manufacturing process, a share corresponding to 10 per cent of the laterite weight in cement is added in order to stabilize the bricks. In this work, three types of mix depending on the kind of vegetal admixtures used were experimented. Processing involve two decoctions of “néré” pods prepared with 50 g and 100g of “néré pods” per litre of water and shea butter processing wastewater. Another type of paste with no adjuvants has been considered as a reference during the investigations. The effluents have a high rate of water (>96 %) therefore they have substituted water when preparing paste for bricks.

After 28 days of moist cure, analysis of physical properties shows that CEB mixed with the admixture made of “néré” pods has lesser water absorption than the others. Moreover, we found that the concentration of effluents affects the mechanical behaviour of CEB. As a matter of fact, the compressive strength of bricks showed an increase of 10% with the decoction of “néré” pods prepared with 100g per litre of “néré” pods. These results infer that physical and mechanical properties of CEB could be improved with a lower rate of cement stabilization by adding concentrated vegetal admixtures.

Keywords: laterite, compressed earth blocks, vegetal admixture (“néré”, shea butter) compressive strength, water absorption.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
AVANT - PROPOS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	viii
LISTES DES TABLEAUX	ix
LISTES DES FIGURES	x
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. Les Briques en Terre Comprimée (BTC)	3
1.1.1. <i>Présentation des Briques en Terre Comprimée</i>	4
1.1.2. <i>Avantages et limites</i>	4
1.1.3. <i>Les BTC parmi les autres matériaux de construction</i>	5
1.2. La matière première: généralités sur les latérites	6
1.2.1. <i>Définition</i>	6
1.2.2. <i>Caractéristiques des latérites</i>	6
1.3. Les traitements sur les Briques en Terre Comprimée (BTC)	7
1.3.1. <i>La stabilisation chimique</i>	8
1.3.2. <i>Le néré (Parkia biglobosa)</i>	9
1.3.3. <i>Le karité (Vitellaria paradoxa)</i>	10
CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE DE L'ETUDE	11
2.1. Matériaux utilisés	11
2.1.1. <i>Caractérisation physique de la latérite utilisée</i>	11
2.1.2. <i>Stabilisation chimique</i>	13
2.1.3. <i>Formulation des adjuvants</i>	14

2.1.4.	<i>Confection et cure des Briques en Terre Comprimée</i>	16
2.2.	Outils expérimentaux	20
2.2.1.	<i>Caractérisation physique</i>	20
2.2.2.	<i>Caractérisation mécanique</i>	23
CHAPITRE 3 : ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS		25
3.1.	Comportements physiques	25
3.1.1.	<i>Densité apparente et porosité accessible à l'eau</i>	25
3.1.2.	<i>Capacité d'absorption d'eau</i>	27
3.2.	Comportements mécaniques	29
3.2.1.	<i>Résistance à la compression</i>	29
3.2.2.	<i>Résistance à la flexion</i>	30
CONCLUSION		32
SUGGESTIONS		33
BLIBLIOGRAPHIE		34
ANNEXES		36

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

°C	: Degré Celsius
ZiE	: Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
AFGC	: Association Française de Génie Civil
Al₂O₃	: Oxyde d'aluminium (Alumine)
BTC	: Brique en Terre Comprimée
CC3D	: Construction Consolidée en 3 Dimensions
CCREHD	: Centre Commun de Recherche Energie et Habitat Durables
cm	: Centimètre
cm²	: Centimètre carré
CPA	: Ciment Portland Artificiel
CRATerre- EAG	: centre international de la construction en terre
DRX	: Diffractométrie à rayons X
EN	: European Norm
Fe₂O₃	: Oxyde ferreux
g	: gramme
ISO	: International Organisation for Standardization
KN	: Kilo Newton
l	: litre
LEMC	: Laboratoire Eco- Matériaux de Construction
m³	: Mètre cube
min	: Minutes
mm	: millimètre
mm²	: Millimètre carré
MPa	: Méga Pascal
NF	: Normes Française
SiO₂	: Oxyde de silicium (Silice)
µm	: micromètre

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1: Comparaison entre le BTC et d'autres matériaux de maçonnerie (1) ...	5
Tableau 2: Moyens et principes de stabilisation des BTC (1)	8
Tableau 3: Récapitulatif des caractéristiques de la latérite utilisée.....	12
Tableau 4: Teneur en matières sèches des solutions adjuvantes.....	16
Tableau 5: Formulation des Briques en Terre Comprimée (BTC)	19
Tableau 6: Densité et porosité accessible à l'eau des échantillons testés.....	26
Tableau 7: Cinétique d'absorption d'eau des BTC testées	28
Tableau 8: Résultats des essais de résistance mono-axiale	29
Tableau 9: Résultats des essais de résistance à la flexion en 3 points	30

LISTES DES FIGURES

Figure 1: Cosses de Parkia biglobosa Source : (11).....	9
Figure 2: maisons enduites et décorées au néré et au karité	10
Figure 3: Cour traitée au néré à Tita	10
Figure 4: Analyse granulométrique de la latérite utilisée.....	12
Figure 5: Fuseau granulométrique recommandé par CRATerre pour la confection des BTC.....	13
Figure 6: Indice de plasticité fonction de la limite de liquidité recommandé par CRATerre pour la confection des BTC.....	13
Figure 7: Processus de confection des BTC.....	17
Figure 8: Dispositif pour pesée hydrostatique	21
Figure 9: Dispositif pour essai d'absorption capillaire (immersion partielle)	22
Figure 10: Mélange latérite + ciment + eau résiduelle de karité	27
Figure 11: Taux d'absorption des briques en fonction du temps	27
Figure 12: Résistance à la compression mono axiale des briques.....	29
Figure 13: Résistance à la flexion des BTC	31

INTRODUCTION

Se nourrir et se loger sont deux besoins fondamentaux des êtres humains. Ils cultivent ou achètent des aliments pour assouvir l'un et construisent des maisons pour satisfaire l'autre. A cet effet, les hommes utilisent divers matériaux de construction parmi lesquels on distingue les matériaux « modernes », issus d'une production industrielle (ciment, tôle ondulée, marbre, ...) et ceux plus modestes dits matériaux locaux tels que le bois, la terre, la pierre... Du fait de leur coût exorbitant, ces matériaux de construction « modernes », sont quasi inaccessibles pour une grande partie de la population. Face à ces problèmes économiques et sociaux que connaissent les pays en développement, nombreux sont ceux qui réclament une véritable promotion des ressources naturelles.

Promouvoir des matériaux locaux adaptés... Pourquoi pas. Mais ceux-ci présentent des propriétés physico-mécaniques faibles par rapport à certains produits manufacturés. C'est ainsi que depuis quelques décennies, des techniques révolutionnaires sont mises en œuvre afin de traiter, d'améliorer les matériaux naturels et d'accroître leurs performances. La terre par exemple peut être stabilisée à la chaux, au ciment, ou avec des adjuvants naturels, comprimée en des briquettes, tuiles ou pavés, à l'aide de presses hydrauliques manuelles. Les Kassénas, un peuple au Centre-Sud du Burkina l'ont bien compris et stabilisent leurs briques de terre avec des extraits de végétaux tels que le néré (*Parkia biglobosa*). C'est dans cette logique que nous nous sommes intéressés à l'« influence d'un adjuvant naturel sur les propriétés physico-mécaniques des BTC : cas du néré et du karité

L'objectif général de notre intervention est de réaliser une étude expérimentale de ces méthodes traditionnelles de stabilisation avec des extraits végétaux en les appliquant sur des Briques en Terre Comprimée à base de latérite. Plus spécifiquement, il s'agit de formuler des adjuvants végétaux à base de néré et de karité, et de déterminer l'influence qu'ils pourraient avoir sur les propriétés physico-mécaniques des Briques en Terre Comprimée stabilisées à 10% de ciment.

Le présent rapport s'articule autour de trois chapitres. Le premier, consacré à l'étude bibliographique, présente le matériau latérite dans ses généralités, le second expose la

méthodologie utilisée pour l'atteinte de nos objectifs. Le troisième chapitre résume les analyses et les interprétations des résultats obtenus. Et enfin, une dernière partie présente les conclusions qui en découlent.

CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

SOMMAIRE

1.1. Les Briques en Terre Comprimée (BTC)	3
1.1.1. <i>Présentation des Briques en Terre Comprimée</i>	4
1.1.2. <i>Avantages et limites</i>	4
1.1.3. <i>Les BTC parmi les autres matériaux de construction</i>	5
1.2. La matière première: généralités sur les latérites	6
1.2.1. <i>Définition</i>	6
1.2.2. <i>Caractéristiques des latérites</i>	6
1.3. Les traitements sur les Briques en Terre Comprimée (BTC)	7
1.3.1. <i>La stabilisation chimique</i>	8
1.3.2. <i>Le néré (Parkia biglobosa)</i>	9
1.3.3. <i>Le karité (Vitellaria paradoxa)</i>	10

1.1. Les Briques en Terre Comprimée (BTC)

Auparavant, pour fabriquer des briques en terre, de la terre crue argileuse et sableuse était malaxée avec de l'eau, puis moulée sous forme de pâte et séchée au soleil. Plus tard, l'idée est venue de compacter cette terre moulée pour améliorer certaines de ses propriétés. C'est ainsi qu'est née dans les années 1950 la technologie du bloc de terre comprimée. Depuis, la technologie de confection des BTC a beaucoup évolué. On est passé d'un compactage au pilon en bois à l'utilisation de presses moulantes, manuelles, mécaniques ou hydrauliques.

1.1.1. Présentation des Briques en Terre Comprimée

Les Briques en Terre Comprimée sont des éléments de maçonnerie de forme parallélépipédique dont les dimensions varient en fonction du type de presse et des moules. Les dimensions nominales les plus courantes sont de nos jours de 29,5cm x 14cm x 9cm, dimensions qui rendent le matériau facilement manipulable.

Les BTC peuvent être utilisées comme maçonnerie porteuse, remplissage de structure ou pour d'autres applications particulières (arcs, voûtes, décorations...).

L'évolution de la technique de la brique moulée au BTC répond à une logique d'amélioration de la qualité du matériau. Le compactage augmente la densité de la brique et réduit sa porosité. Cette restructuration améliore le comportement de la brique vis-à-vis des actions néfastes de l'eau.

1.1.2. Avantages et limites

La terre, matière première utilisée pour la confection des BTC est naturelle et disponible en grandes quantités dans plusieurs régions. Elle permet de réduire les émissions de gaz à effets de serre issus de la production du ciment. Outre cet avantage écologique, les Briques en Terre Comprimée présentent plusieurs autres avantages qui méritent d'être relevés :

Performances techniques :

L'action de compacter la terre avec une presse améliore la qualité des briques. Celles-ci présentent des formes régulières et des arêtes vives qui sont appréciées des constructeurs. Elles deviennent plus résistantes à la compression et à l'infiltration de l'eau.

Intérêt architectural

La qualité des BTC permet la réalisation de très beaux ouvrages. Leur utilisation en architecture peut aller de l'habitat social à l'architecture d'habitat de luxe ou d'édifice publics prestigieux.

 Confort thermique

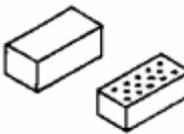
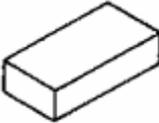
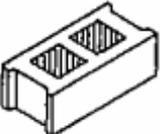
Les BTC ont une bonne inertie thermique et régulent naturellement le taux d'humidité à l'intérieur des constructions (voir le tableau 1).

Cependant, certaines contraintes des BTC viennent ternir le tableau de ces avantages. En effet, la qualité des briques reste tributaire d'une bonne sélection et préparation des terres. Par ailleurs, les BTC présente une faible durabilité lorsqu'elles sont exposées à de fortes pluies ou dans des zones humides et qu'elles ne sont pas protégées.

1.1.3. Les BTC parmi les autres matériaux de construction

Il serait insuffisant de classer les BTC parmi les autres matériaux de construction en les comparant sur un seul aspect. Pour une évaluation sérieuse, il faudrait établir une comparaison des matériaux pour toutes les phases de transformation que ceux-ci rencontrent. Venir à bout d'une telle analyse requiert une étude de faisabilité exhaustive. Aussi, nous limiterons notre analyse à une simple comparaison de quelques caractéristiques importantes des BTC avec celles d'autres matériaux de construction courants (tableau 1).

Tableau 1: Comparaison entre le BTC et d'autres matériaux de maçonnerie (1)

Propriétés	BTC stabilisé	Briques en terre cuite	Adobes	Bloc en béton léger
Forme et taille				
Type				
L x l x h (cm ³)	29,5 x 14 x 9	22 x 10,5 x 6,5	40 x 20 x 10	40 x 20 x 15
Aspect				
Surface	Lisse	Rugueuse à lisse	Irrégulière	rugueuse
Intérêt esthétique	moyen à bon	Bon à excellent	pauvre	moyen
Performances				
Résistance à la compression humide (MPa)	1 - 4	0,5 - 6	0 - 5	0,7 - 5
Dilatation due à l'humidité (%)	0,02 - 0,2	0,00 - 0,02		0,02 - 0,05
Densité (Kg/m ³)	1700 - 2200	1400 - 2400	1200 - 1700	1700 - 2200
Coefficient de conductivité thermique (W/m.°C)	0,81 - 1,04	0,7 - 1,30	0,4 - 0,8	1,0 - 1,7
Durabilité (sous l'action de la pluie)	Faible à très bonne	Faible à Excellente	faible	Faible à très bonne

1.2. La matière première: généralités sur les latérites

La terre est la matière première nécessaire pour la confection des BTC. C'est un matériau meuble formé de la dégradation d'une roche mère par des processus très lents et des mécanismes complexes de migration de particules. On compte une infinité de sortes de terres avec des caractéristiques différentes : la latérite, les terres noires tropicales, les loëss, les terres argileuses, les terres alluviales, les tourbes... C'est la latérite qui fera l'objet de notre étude.

1.2.1. Définition

Il y a plus de deux cent ans que le terme « latérite » a fait son apparition dans la littérature scientifique. Il a été suggéré pour la première fois par Buchanan en 1807 (2). Dans son contexte, la latérite désignait un matériau que les indiens utilisaient pour la construction dans les régions montagneuses du Malabar. Depuis, plusieurs définitions ont été données au terme « latérite » suivant qu'il soit analysé du point de vue morphologique, minéralogique ou pédologique. Pour tenir compte de toutes ces opinions, un sens plus large est admis aujourd'hui pour la désigner. Pour Schellmann, « les latérites sont des produits d'intense altération météorique et sont constituées d'un assemblage minéral qui peut être fait de goethite, d'hématite, d'hydroxyde d'aluminium, de kaolinite et de quartz. Le rapport $\frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$ comparé à celui de la roche mère doit être tel que la formation latéritique ne contienne pas plus de silice que celle qui est retenue dans le quartz qui subsiste et celle qui est nécessaire à la formation de la kaolinite » (3).

1.2.2. Caractéristiques des latérites

Les latérites proviennent de l'altération de roches propre aux zones tropicales. En effet, elles sont caractéristiques des climats chauds et pluvieux à deux saisons alternées bien marquées. Ces matériaux présentent plusieurs traits caractéristiques sur le plan morphologique, chimique et minéralogique.

1.2.2.1. *Caractéristique morphologique*

Les latérites sont des sols fortement altérés qu'on trouve en faible profondeur avec une granularité variant de particules fines à des blocs de roche. Sur le plan morphologique, on distingue ainsi deux (2) types de latérites :

- ✚ Latérite indurée, dont le durcissement est acquis par exposition à l'air. On passe ainsi d'une roche à peine cohérente à une roche plus dure difficilement cassable au marteau.
- ✚ La latérite meuble : matériau hétérogène et discontinu, généralement graveleux, que l'on retrouve dans des horizons gravillonnaires. C'est cette dernière qui est utilisée pour la confection des Briques en Terre Comprimée.

1.2.2.2. *Caractéristiques chimique et minéralogique*

De la définition de Schellmann, on retient que les latérites sont caractérisées par leur haute teneur en oxydes et hydroxydes de fer et/ou d'alumine qui peut atteindre 80% du produit dû à la latérisation. Le fer est présent sous forme de goethite $\alpha\text{Fe}_2\text{O}(\text{OH})$ et/ou d'hématite Fe_2O_3 donnant sa couleur rouge au matériau. L'alumine est contenue dans la gibbsite $\gamma\text{Al}(\text{OH})$ et la bochmite $\text{AlO}(\text{OH})$. On note aussi la présence d'argiles ferralitiques telles que les kaolinites $(\text{Si}_2\text{O}_5)\text{Al}_2(\text{OH})_4$ et des halloysites.

1.3. **Les traitements sur les Briques en Terre Comprimée (BTC)**

Suivant l'usage que l'on fait des briques, il peut être utile, voire nécessaire de les stabiliser. Par exemple, une brique en terre comprimée non stabilisée a de très bonnes propriétés d'échanges thermiques et hygrométriques, et une résistance suffisante à la compression pour être utilisée dans la construction (4). Mais, exposée dans un environnement humide, la brique se désagrège.

La stabilisation est un ensemble de procédés mécanique, chimique ou physique visant à améliorer de façon irréversible les caractéristiques de la brique. Elle permet de réduire le volume des vides entre les particules solides ou de les colmater. Elle permet aussi de créer des liens ou d'améliorer les liaisons existantes entre les particules. Voir le tableau 2 de synthèse ci-dessous.

Tableau 2: Moyens et principes de stabilisation des BTC (1)

Procédés	Nature du stabilisant	Moyens	Principe
Mécanique	Aucun	Densifier	Créer un milieu dense qui bloque les pores et les canaux capillaires
Physique	Minéraux		
	Fibres	Armer	Créer une armature omni-directionnelle qui réduit le mouvement
Chimique	Liants	Enchainer	Créer un squelette inerte qui s'oppose à tout mouvement
		Liaisonner	Former des liaisons chimiques stables entre les cristaux d'argile
	Hydrofugeant	Imperméabiliser	Entourer les grains d'un film perméable et boucher les pores et canaux
		Hydrofuger	Eliminer au maximum l'absorption et l'adsorption

1.3.1. La stabilisation chimique

La stabilisation chimique comme l'indique le tableau 2, modifie les propriétés des BTC par l'intermédiaire de certains liants ou hydrophobants. Les plus couramment utilisés sont le ciment et la chaux.

Le ciment améliore la résistance à la compression, et la tenue des angles des briques à l'abrasion et aux chocs. La résistance à la compression reste cependant très dépendante du dosage. Ngowi en 1997 trouvait une résistance de 5,9 MPa pour une stabilisation à 8% de ciment contre 6,8MPa pour 10% de ciment. Ibrahim était quasiment du même avis. Il trouvait en 2010 une résistance pour un taux de stabilisation à 10% (9,20 MPa) supérieure à la résistance à 8% (5,88 MPa) (5). Dans le cas de la chaux, la stabilisation donne des valeurs intéressantes pour une terre riche en argile (6).

Outre la stabilisation au ciment et à la chaux, plusieurs autres stabilisants d'origine animale ou végétale sont utilisés. On peut citer entre autres, les fibres cellulosiques (manioc cyperus), les déchets de thé, la bouse de vache, l'eau résiduelle d'olive (7), les cosses de néré, l'eau résiduelle de karité... Les cosses de néré et l'eau résiduelle de karité feront l'objet de notre étude.

1.3.2. Le néré (*Parkia biglobosa*)

Le néré, de son nom scientifique *Parkia biglobosa*, est un arbre africain de la famille des Mimosacea. Cette espèce peut atteindre 10 à 15m de haut avec des feuilles bipennées. Son fruit est une gousse longue, de couleur brun foncé à maturité (figure 1). Chaque gousse renferme une pulpe farineuse jaune enveloppant des graines noires et brunes. Pour chaque fruit, les proportions d'éléments sont de 43% d'exocarpe, 39% de pulpe et 18% de graines.



Figure 1: Cosses de *Parkia biglobosa* Source : (11)

Le néré est l'une des plantes spontanées de l'Afrique sub-saharienne les plus protégées par les populations locales, au vu de ses nombreux usages. En effet, il est utilisé dans l'alimentation et la santé humaine et animale, la fertilisation et la restauration des sols, la protection des cultures, la tannerie, la construction et comme ressources énergétiques (8). Son bois entre dans la fabrication de la pâte à papier. L'écorce de la tige est utilisée pour la préparation de plusieurs médicaments traditionnels. Les graines fermentées servent à la production d'un condiment commercialisé sur tous les marchés locaux et régionaux et connus sous des noms divers : Soumbala au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire et au Mali, nététo au Sénégal, dawu-dawu au Niger, Iru au Nigeria et au Ghana, Afiti au Togo et au Bénin. Les cosses sont utilisées pour lustrer les étoffes colorées et les poteries, et pour tanner les peaux. Ils sont aussi utilisés pour traiter les sols et les murs des maisons de torchis contre l'humidité (9).

Ntouda trouvait même dans son étude en 2010 que le traitement des blocs de latérite taillé au néré, améliorait significativement leur résistance à la compression de près de 40% (10). L'utilisation des cosses de fruits de néré dans le bâtiment traditionnel nous a conduits à sélectionner l'organe de cette plante comme traitement pour nos briques en terre.

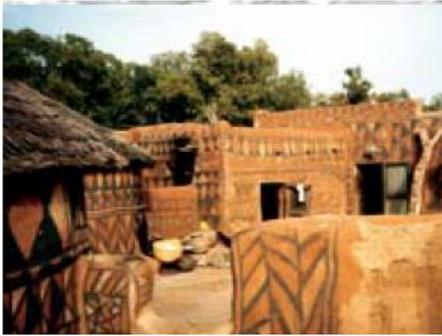


Figure 2: maisons enduites et décorées au néré et au karité

Source : Association Bâtir et Construire.
Architecture des kassenas du Burkina



Figure 3: Cour traitée au néré à Tita

Source : (10)

1.3.3. Le karité (*Vitellaria paradoxa*)

Le karité pousse principalement dans les savanes arborées d'Afrique de l'ouest. C'est un grand arbre qui peut atteindre 15m de haut avec un diamètre de près de 1m. Le *Vitellaria paradoxa*, anciennement appelé *Butyrospermum parkii* est le seul *Vitellaria* connu de la famille des Sapotaceae.

Ses fruits donnent des noix servant à la fabrication du beurre de karité. Ce sont des grappes de fruits ovoïdes comestibles, de couleur vert sombre à brun, renfermant des amandes blanches et dures. Le karité est exploité particulièrement pour ses amandes qui permettent la fabrication du beurre de karité, du lait de karité ou du savon pour la cosmétique. Ses amandes permettent aussi de fabriquer de l'huile de karité pour des raisons culinaires. Ces différentes transformations de l'amande de karité produisent de l'eau résiduelle, utilisée par les populations pour crépir les murs des cases traditionnelles, leur conférant certaines propriétés stabilisantes (figure 2). Des études montrent que le traitement des Blocs de Latérite Taillé (BLT) par cette eau leur confère une bonne étanchéité et une assez bonne résistance mécanique (10).

Le chapitre suivant présente la méthodologie utilisée pour cette étude.

CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE DE L'ETUDE

SOMMAIRE

2.1. Matériaux utilisés	11
2.1.1. <i>Caractérisation physique de la latérite utilisée</i>	<i>11</i>
2.1.2. <i>Stabilisation chimique.....</i>	<i>13</i>
2.1.3. <i>Formulation des adjuvants</i>	<i>14</i>
2.1.4. <i>Confection et cure des Briques en Terre Comprimée.....</i>	<i>16</i>
2.2. Outils expérimentaux	20
2.2.1. <i>Caractérisation physique.....</i>	<i>20</i>
2.2.2. <i>Caractérisation mécanique.....</i>	<i>23</i>

2.1. Matériaux utilisés

Les briques objets de notre étude, sont un mélange de latérite, de ciment et d'adjuvants naturels à base de néré et de karité.

2.1.1. Caractérisation physique de la latérite utilisée

La latérite utilisée est issue des carrières qu'exploite l'entreprise de Construction Consolidée en 3 Dimensions (CC3D). Plusieurs tests ont été réalisés pour identifier cette terre et vérifier si elle est appropriée pour la production des BTC.

- ✚ Analyses granulométriques : ces essais ont eu pour but de déterminer les proportions des grains de différentes dimensions qui constituent le matériau. Ils ont été réalisés suivant les normes NF P-94 056 et NF P-94 057. De ces analyses, il ressort que la latérite étudiée contient plus de 40% de particules de diamètre inférieur à quatre-vingts microns ($\phi < 80\mu\text{m}$). L'analyse par sédimentation indique la présence de plus de 25% de grains argileux ($\phi < 0,002\text{mm}$) (figure 1).

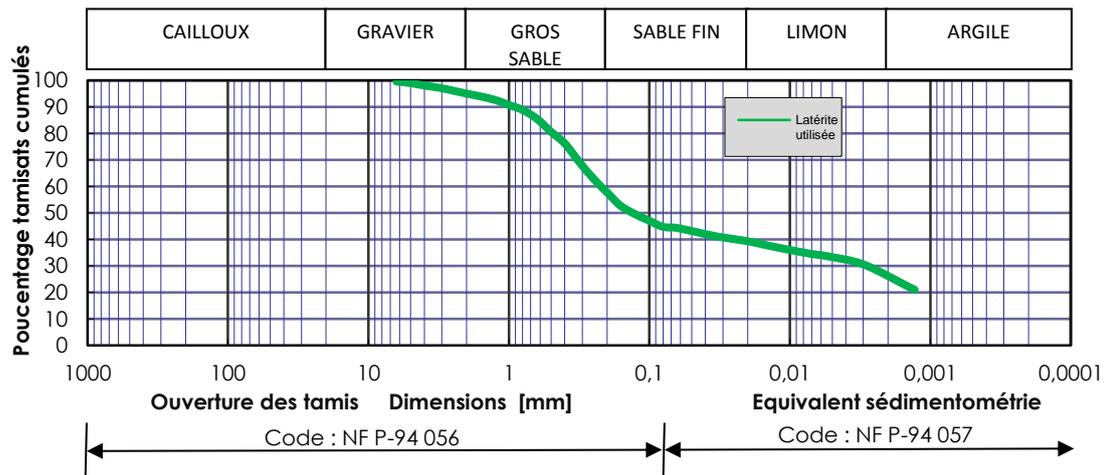


Figure 4: Analyse granulométrique de la latérite utilisée

- ✚ La teneur en eau de la latérite utilisée à l'état naturel est $\omega = 1,9 \%$
- ✚ Les limites d'Atterberg : les teneurs en eau du matériau à son passage de l'état liquide à l'état plastique et de l'état plastique à l'état solide ont été déterminées à l'aide de ces essais. Il faut une teneur en eau de 20,8% pour avoir un matériau plastique et une de 47,5% pour que la latérite utilisée soit liquide. (Voir tableau 3)
- ✚ Le poids spécifique : le poids par unité de volume des particules du granulat étudié avec un pycnomètre à air donne en moyenne la valeur $2,84 \text{ KN/m}^3$.

Tableau 3: Récapitulatif des caractéristiques de la latérite utilisée

Propriétés		Valeur
Granulométrie	Sable (>0,02 mm)	57,76 %
	Limon (0,02 – 0,002 mm)	18,5 %
	Argile (<0,002 mm)	25%
Limites d'Atterberg	Limite de liquidité Wl	47,5%
	Limite de plasticité Wp	20,8%
	Indice de plasticité Ip	26,7%
Teneur en eau		1,9 %
Poids spécifique		28,4 KN/m ³

Le matériau ainsi caractérisé est un sol de nature argileuse. Il répond aux normes recommandées par CRATERre-EAG (centre international de la construction en terre) (1).

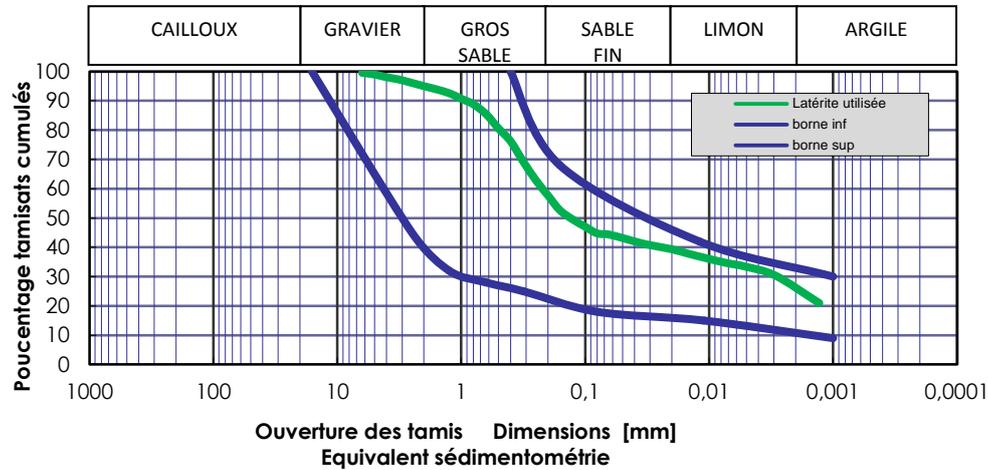


Figure 5: Fuseau granulométrique recommandé par CRATERre pour la confection des BTC

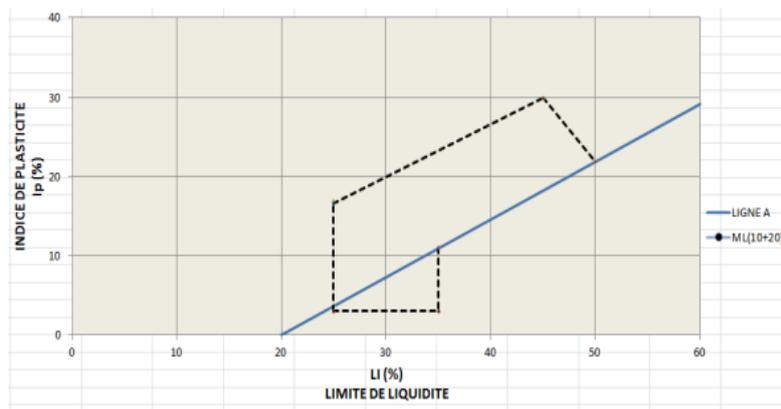


Figure 6: Indice de plasticité fonction de la limite de liquidité recommandé par CRATERre pour la confection des BTC

Un détail des résultats de caractérisation de la latérite sont disponible dans les annexes 1 à 3

2.1.2. Stabilisation chimique

Une stabilisation chimique à un taux de 10% a été réalisée sur la latérite. Le liant hydraulique utilisé est le ciment CPA 45 de l'usine Ciment Togo. Il a une masse volumique $\approx 1,30 \text{ Kg/m}^3$.

2.1.3. Formulation des adjuvants

2.1.3.1. L'adjuvant au néré

Les cosses de *Parkia biglobosa* (néré) sont séchées et réduites en poudre par un broyeur. La poudre obtenue est macérée dans de l'eau suivant deux (2) ratios Solide / Liquide différents (S/L : masse du solide / masse du liquide) : 5% et 10%. La macération est faite par les deux procédés suivants :

- ✚ Une macération à chaud : le mélange solide + liquide est portée à des températures variant entre 70 et 100°C pendant 3 heures ;
- ✚ Une macération à froid : la solution est placée à température ambiante pendant 24 heures.

Les solutions obtenues sont filtrées à l'aide d'une toile en nylon pour éliminer toutes les particules en suspension. Pour les besoins de l'étude et aussi d'économie d'énergie, ce sont les filtrats obtenus par macération à froid qui ont été utilisés.

2.1.3.2. L'adjuvant au karité

L'adjuvant au karité est en réalité un sous-produit de la production artisanale de beurre de karité. C'est une solution de couleur marron foncé avec une désagréable odeur de matières organiques fermentées. La méthode traditionnelle de production du beurre de karité dont elle provient suit les étapes suivantes :

- ✚ Les noix de karité collectées sont triées et lavées pour retenir les meilleures amandes ;
- ✚ Les noix retenues sont séchées puis concassées en petits fragments ;
- ✚ Les fragments d'amandes de karité sont torréfiés afin de briser les cellules oléifères,
- ✚ Les amandes grillées sont d'abord écrasées au pilon, puis moulues en une pâte épaisse brunâtre ; la pâte ainsi obtenue est malaxée et battue manuellement ;
- ✚ Cette étape terminée, de l'eau est rajoutée au produit qui est ensuite chauffé. La matière grasse flottant à la surface est récupérée : c'est le beurre de karité. L'eau

résiduelle restante est celle qui nous intéresse.

2.1.3.3. Composition chimique des solutions

L'hypothèse du travail est qu'il est possible d'améliorer le comportement physico-mécanique des BTC en ajoutant au mélange des solutions d'origine végétales. Pour répondre à cette hypothèse, il est important d'évaluer les caractéristiques chimiques des solutions adjuvantes.

Composition chimique des cosses de néré

Le néré (*Parkia biglobosa*) est une plante très riche en tannins. On retrouve dans les cosses de ses fruits les constituants suivants :

- ❖ **Les tannins** : Historiquement, leur importance est liée aux propriétés qu'ils ont de transformer la peau fraîche en un matériau imputrescible. Les cosses de néré contiennent des tannins hydrolysables. Les tannins réduisent la perméabilité face à l'eau. Leur solubilité dans l'eau, associée à la stabilité thermique des matières qui les contiennent, permettent d'envisager la formation par ces tannins d'un liant.
- ❖ **Les lignines** sont des polymères phénoliques de structure de la paroi végétale. Dans les plantes la lignine est responsable du durcissement des cellules. Elles assurent aussi une imperméabilité face à l'eau et une grande résistance à la décomposition.
- ❖ **La cellulose** : La cellulose est un homopolymère linéaire composé de très nombreuses unités de D-Anhydroglucopyranose (AGU) reliées entre elles par des liaisons glycosidiques β -(1→4). Des traitements thermomécaniques modifieraient la structure de la cellulose permettant son utilisation dans la fabrication des matériaux plastiques.
- ❖ **Les hémicelluloses** : Les hémicelluloses sont des polymères à chaînes courtes, amorphes, et fortement hydrophiles souvent utilisées comme agent épaississant, stabilisant ou émulsifiant. On ne les retrouve qu'en très petite quantité ($\pm 2\%$) dans les cosses de *Parkia biglobosa* (11).

✚ Composition chimique de l'eau résiduelle de karité

- ❖ **Les acides gras et les huiles végétales** : ils sont constitués essentiellement de triglycérides. Ces derniers sont d'oligomères d'acide gras et de glycérol qui peuvent être utilisés comme plastifiant lors de l'élaboration de matériaux composites (12).

2.1.3.4. *Quantité de matières sèches des solutions*

La teneur en extractibles des solutions définit la quantité de matière des adjuvants qui agit réellement sur les propriétés des briques. Elle a été obtenue par mesure de la masse des résidus secs. Elle est calculée sur la base de la masse de résidus secs dans la décoction, rapportée à la masse initiale de l'échantillon testé suivant la formule ci-après :

$$Teneur\ en\ matière\ sèche = 100 \times \frac{Masse\ de\ résidus\ secs}{masse\ de\ l'échantillon} \quad [1]$$

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 4 ci-dessous :

Tableau 4: Teneur en matières sèches des solutions adjuvantes

Solutions adjuvantes	Eau résiduelle de karité	Décoction de cosses de néré			
		Dosée à 5%		Dosée à 10%	
		A chaud	A froid	A chaud	A froid
Teneur en matière sèche	2%	2,5%	2%	4%	3%

Ce taux d'extraction est très faible. En effet Nenonene trouvait en 2009 que la matière sèche extraite à l'eau (1 h à 70 °C, avec un ratio de 8 soit 12,5%) pouvait atteindre 58,1% pour les cosses de néré. Un rendement qui peut être augmenté avec un ratio S/L de 25% (11).

En général, les adjuvants sont des substances concentrées (au moins 40%) ajoutées en petite quantité dans un mélange. Toutefois, compte tenu de la faible teneur en matières sèches de « nos solutions adjuvantes », l'eau de gâchage sera intégralement remplacée par celles-ci.

2.1.4. *Confection et cure des Briques en Terre Comprimée*

Les BTC objet de notre étude ont été confectionnées suivant le processus de la figure 3

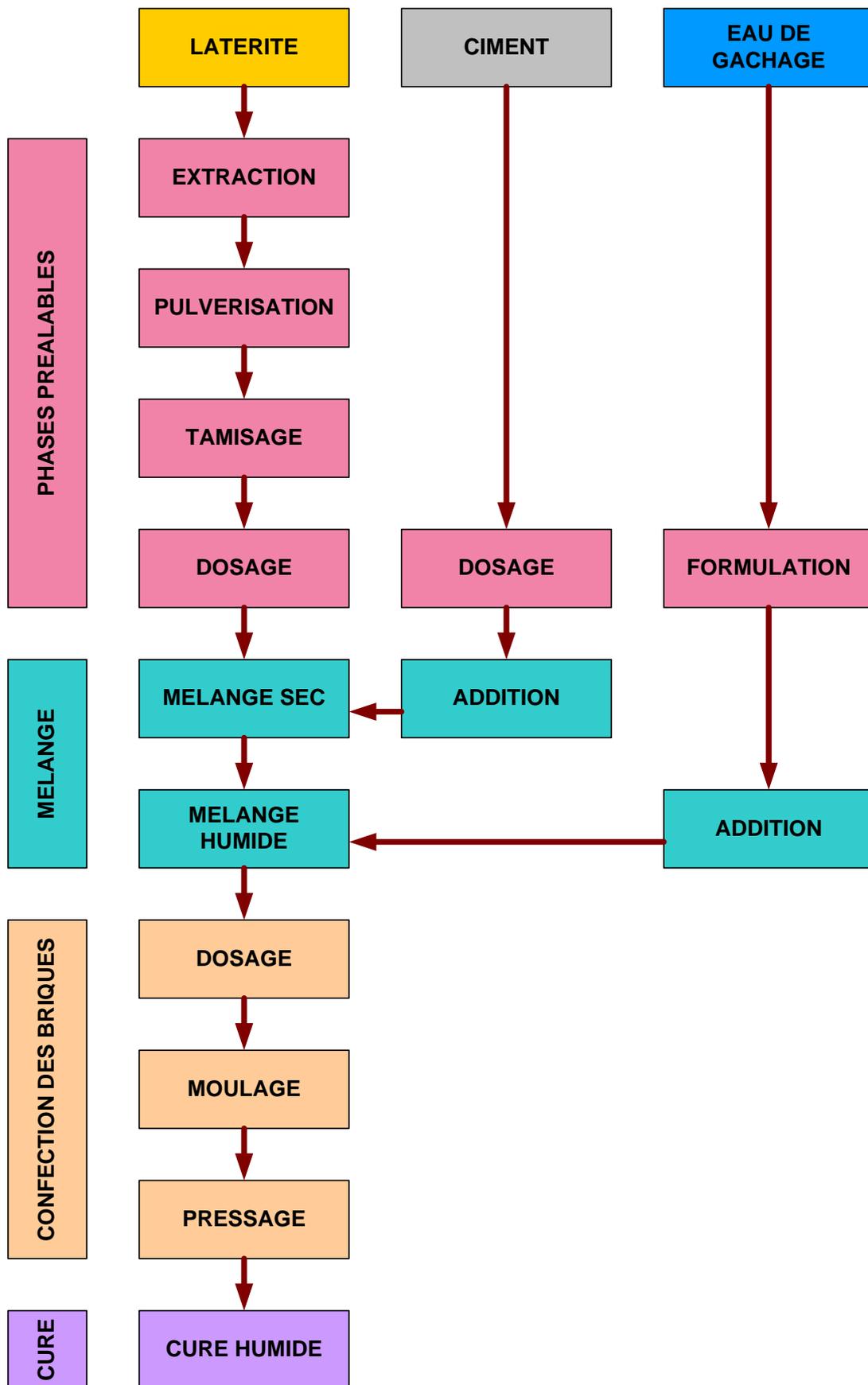


Figure 7: Processus de confection des BTC

2.1.4.1. Phases préalables

La terre destinée à la confection des BTC est extraite de la carrière CC3D et broyée pour briser les constituants grossiers. Elle passe alors sur un tamis d'ouverture de maille 8 mm pour ne garder que des grains de faible diamètre, qui sont idéaux pour un mélange de bonne qualité. Cette étape terminée, les dosages pour la confection des briques sont préparés. Pour la présente étude, quatre formulations, fonction de la nature de l'adjuvant utilisé ont été réalisées :

- ✚ Formulation 1 : briques témoins (BT) = latérite + ciment + eau
- ✚ Formulation 2 : briques au néré (BN50) = latérite + ciment + eau + adjuvant au néré 5%
- ✚ Formulation 3 : briques au néré (BN100) = latérite + ciment + eau + adjuvant au néré 10%
- ✚ Formulation 4 : briques au karité (BK) = latérite + ciment + eau + adjuvant au karité

Toutefois, les proportions en matériaux considérés sont restées les mêmes. Chacune des formulations a utilisé un volume de latérite de 50 litres pour une stabilisation à 10% de ciment. Ce taux correspond au poids du stabilisant par rapport à celui du matériau (13). Ainsi, pour ce taux de stabilisation, le poids de ciment nécessaire pour un volume de terre est donné par la formule ci-après :

$$P_C = C \times \rho_h \times V(1 - \omega) \quad [2]$$

Avec :

- P_C : Poids de ciment
- C : Taux de stabilisation (ici 10%)
- ρ_h : Masse volumique apparente de la terre
- V : Volume de la terre
- ω : Teneur en eau de la terre

2.1.4.2. Mélange sec et humide

Un mélange à sec est réalisé avec la latérite et le ciment dans un malaxeur planétaire (annexe 7) pour obtenir un mélange homogène. L'homogénéité est appréciée par l'uniformité de couleur du mélange dans le volume. Il vient alors la phase de mélange humide. L'eau de gâchage est incorporée progressivement dans le mélange latérite + ciment en raison de 20% en volume de latérite. Les différentes formulations sont récapitulées dans le tableau 4 :

Tableau 5: Formulation des Briques en Terre Comprimée (BTC)

Formulation	Latérite + ciment + eau	Latérite + ciment + Néré 5%	Latérite + ciment + Néré 10%	Latérite + ciment + Karité
Sigle échantillon	BT	BN50	BN100	BK
Teneur en eau du mélange	12,30%	12,9%	11,7%	13,10%
Quantité de latérite	50 litres			
Quantité de ciment	7,2 litres			
Quantité d'eau de gâchage	10 litres			

2.1.4.3. Confection des briques

Dans le contexte de l'étude, la confection des BTC est réalisée avec une presse manuelle de marque TESTARAM (voir annexe 8). Pour obtenir quasiment la même densité pour tous les échantillons, les moules sont remplis de mortier frais à raison de 3,5 litres pour les briques de dimensions 14cm x 14cm et de 6,5 litres pour celles de 29,5cm x 14cm. Les échantillons sont alors pressés pour obtenir des épaisseurs d'environ 9,5cm.

2.1.4.4. Cure des briques

Les briques après confection sont stockées sous une bâche à l'abri du soleil pendant vingt-huit (28) jours. Elles sont arrosées deux fois par jour pendant les dix (10) premiers jours pour les maintenir dans un état humide.

2.2. Outils expérimentaux

A la fin de la période de cure, chaque brique à tester est pesée et ses dimensions sont déterminées. Les grandeurs utilisées sont obtenue de la manière suivante :

- ✚ Les masses sont effectuées par une balance de sensibilité 0,01g
- ✚ Les dimensions sont obtenues par simple mesure à l'aide d'un pied à coulisse à lecture digitale

Cette étape prépare les échantillons aux différents essais de caractérisation. Les différents tests sont réalisés sur 3 échantillons, puis la moyenne et l'écart-type sont calculés.

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{3} \quad [3]$$

X_m : Valeurs moyennes des résultats
 X_i : Valeur de l'échantillon i
 n : Nombre d'échantillon = 3

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i^2 - X_m^2)}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - 3X_m^2}{3}} \quad [4]$$

E : Ecart-type
 X_m : Valeurs moyennes des résultats
 X_i : Valeur de l'échantillon i
 n : Nombre d'échantillon = 3

2.2.1. Caractérisation physique

La caractérisation va consister à déterminer la densité apparente des BTC, de la porosité accessible à l'eau et de la capacité d'absorption d'eau par capillarité par immersion partielle ou totale.

2.2.1.1. Densité apparente et porosité accessible à l'eau

Les mesures de la porosité ouverte des briques et de la densité apparente ont été conduites par la méthode de saturation par l'eau compte tenu de sa simplicité. Le mode opératoire utilisé est celui du groupe AFCG (ex AFREM) (14). C'est une adaptation de la norme ISO 5017 traitant de la détermination de la masse volumique apparente, de la porosité ouverte et de la porosité totale sur les produits réfractaires façonnés denses. La méthode se déroule en quatre phases qui sont :

- ✚ Phase 1 : saturation par immersion. Les échantillons sont plongés entièrement dans un bac contenant de l'eau jusqu'à saturation. Les briques ont été déclarées saturées lorsque le gain de masse entre deux pesées n'avait pas changé significativement (<0,1%).
- ✚ Phase 2 : pesée dans l'eau. L'échantillon saturé est pesé dans l'eau suivant le dispositif de la figure 7 et sa masse M_{eau} est mesurée.

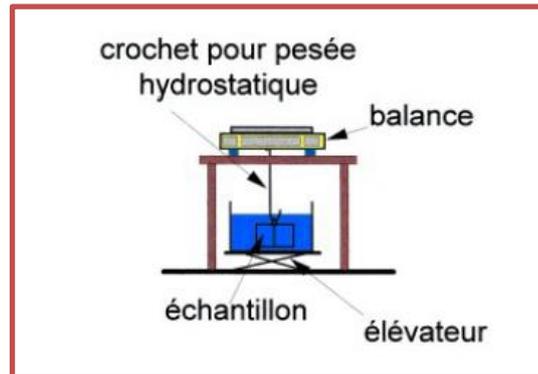


Figure 8: Dispositif pour pesée hydrostatique

- ✚ Phase 3 : pesée dans l'air. L'échantillon saturé est alors pesé à l'air et sa masse M_{air} est mesurée.
- ✚ Phase 4 : l'échantillon est séché à 40°C à l'étuve jusqu'à ce que la variation de masse entre deux pesées successives soit inférieure à 0,1% de la masse initiale. La masse $M_{sèche}$ de l'échantillon sec est mesurée.

A l'issue de ces phases, les propriétés recherchées peuvent être calculées comme suit :

❖ Densité apparente : $\gamma_d = \frac{M_{sèche}}{M_{air} - M_{eau}}$ [5]

❖ Porosité accessible à l'eau : $\varepsilon = \frac{M_{air} - M_{sèche}}{M_{air} - M_{eau}}$ [6]

2.2.1.2. Capacité d'absorption d'eau

Les essais d'absorption permettent d'apprécier le comportement des Briques dans un environnement humide. Ils nous donnent une idée sur la cinétique d'absorption de l'eau et le taux d'absorption durant une période donnée.

Chaque échantillon est séché au préalable à l'étuve à une température de 40°C jusqu'à

l'obtention d'une masse constante. L'échantillon sec est aéré pendant quelques heures à température ambiante. Il peut être alors pesé et ses dimensions mesurées.

✚ *Absorption d'eau par capillarité (immersion partielle)*

Des échantillons de dimension 14cm x 14cm x 9,5 cm sont immergés dans l'eau d'un récipient sur une hauteur de 5 mm à l'aide de cales pendant 10 minutes (voir figure 8).

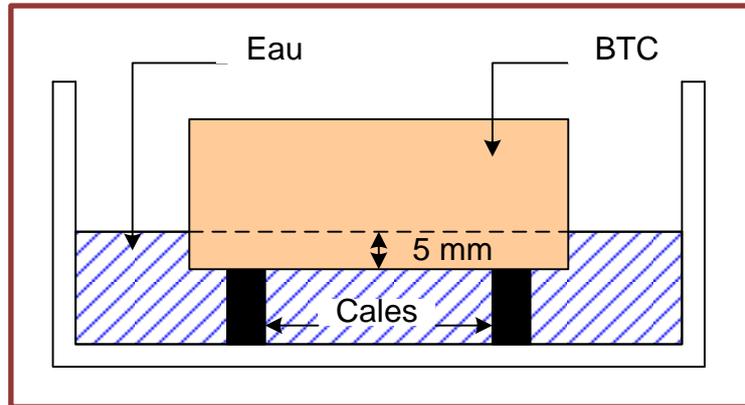


Figure 9: Dispositif pour essai d'absorption capillaire (immersion partielle)

Le coefficient d'absorption correspond alors à la vitesse avec laquelle l'eau est absorbée après 10 min. Cette adaptation de la norme ARS 674 - 677 donne une valeur plus représentative du comportement d'une brique soumise à une violente pluie que la capacité d'absorption mesurée à saturation (15). Après 10 minutes l'échantillon est sorti du récipient essuyé avec une éponge, et pesé. Le coefficient d'absorption capillaire est donné par la formule :

$$C_b = \frac{100 \times (M_h - M_d)}{A \times \sqrt{t}} \quad [7]$$

Dans cette formule :

- M_h : masse de l'échantillon après immersion en g
- M_d : masse initiale de l'échantillon en g
- A : section de la brique plongée dans l'eau en cm^2
- T : temps d'immersion de la brique en minutes (ici 10 min)

Absorption d'eau par immersion totale

Cette méthode permet d'apprécier la capacité que présente un matériau à se gorger d'eau à court et à long terme. Pour cela, les échantillons sont immergés entièrement dans l'eau d'un récipient avec une lame d'eau d'au moins 5 mm au-dessus. Après chaque échéance, les échantillons sont sortis du récipient, essuyés avec une éponge, pesés puis replacés dans le récipient. Les échéances suivantes ont été retenues : 1, 2, 5, 10, 30, 60, 120, 240, 480, 1440, 2880 minutes. La teneur en eau (H_p) des briques à chaque échéance est donnée par la formule :

$$H_p = \frac{(M_i - M_d)}{M_d} \quad [8]$$

Avec :

M_i : masse de l'échantillon à l'échéance i en g

M_d : masse initiale de l'échantillon en g

2.2.2. Caractérisation mécanique

Les essais ont pour but de déterminer les propriétés mécaniques des BTC. Il s'agit de la résistance à la compression et à la flexion en 3 points.

2.2.2.1. Résistance à la compression

L'essai a été réalisé suivant la norme NF EN 14617-15 sur des blocs de dimensions 14cm x 14cm x 9,5cm. La résistance à la compression est déterminée par la charge nécessaire pour provoquer la rupture d'une éprouvette soumise à une charge de compression uniformément répartie sur une des faces. La résistance à la compression s'obtient donc par la relation :

$$\sigma_c = \frac{10F}{A} \quad [9]$$

σ_c : Contrainte de rupture en MPa

F : Force de compression à la rupture en KN

A : Surface d'application de l'effort en cm

2.2.2.2. Résistance à la flexion en 3 points

Ces essais ont été réalisés sur des échantillons de dimensions 29,5cm x 14cm x 9,5cm. Un portique d'une capacité maximale de 160 KN permet d'appliquer une force de flexion (F) au milieu de l'échantillon. A la rupture, la contrainte maximale de la traction due à la flexion est calculée à partir de l'équation suivante :

$$\sigma_t = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad [10]$$

σ_t : Contrainte maximale due à la flexion en MPa

F : Force de flexion à la rupture en KN

l : Distance entre les points d'appui en cm

b : Largeur de l'échantillon en cm

h : Hauteur de l'échantillon en cm

Le chapitre suivant porte sur l'analyse et la discussion des résultats.

CHAPITRE 3 : ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

SOMMAIRE

3.1. Comportements physiques	25
3.1.1. <i>Densité apparente et porosité accessible à l'eau</i>	<i>25</i>
3.1.2. <i>Capacité d'absorption d'eau</i>	<i>27</i>
3.2. Comportements mécaniques	29
3.2.1. <i>Résistance à la compression</i>	<i>29</i>
3.2.2. <i>Résistance à la flexion</i>	<i>30</i>

Après une cure de 28 jours, des essais mécaniques et physiques sont réalisés sur les briques. Les résultats présentés dans cette section du document, correspondent à la moyenne des différentes mesures effectuées sur les échantillons affectée de l'écart-type (annexe 3-6).

3.1. Comportements physiques

Nous nous sommes intéressés à l'influence des décoctions de cosses de néré et de l'eau résiduelle de karité sur la densité apparente, la porosité accessible à l'eau et les propriétés hydriques des briques.

3.1.1. Densité apparente et porosité accessible à l'eau

Le tableau 6 donne les moyennes de densité apparente et de porosité accessible à l'eau des quatre différentes formulations.

Tableau 6: Densité et porosité accessible à l'eau des échantillons testés

Formulations	Masse (g)	Densité apparente	Porosité accessible à l'eau
BT	3639,95	2,03 ± 0,04	0,11 ± 0,03
BN50	3500,72	1,92± 0,01	0,14 ± 0,03
BN100	3552,76	2,02± 0,05	0,12± 0,01
BK	3515,41	1,94± 0,02	0,15± 0,01

Ce tableau montre que les briques dans leur ensemble ont une densité faible avec une valeur maximale de 2,03 ($\pm 0,04$). En plus la porosité accessible à l'eau ne varie pratiquement pas pour les différents traitements (même ordre de grandeur). On pourrait donc penser que les traitements n'ont pas une grande influence sur la porosité accessible à l'eau des briques.

Pour les briques traitées au néré la concentration de la solution adjuvante affecte la densité et la porosité des briques. En effet, les résultats montrent que les BN100 sont plus denses et moins poreuses que les BN50. Ils laissent donc entrevoir que la concentration améliore la compacité du matériau. Ils permettent de penser à une réaction chimique entre les composés de néré et ceux de la latérite. Une analyse au DRX est nécessaire pour confirmer ces résultats.

Les BK sont les moins denses et les plus poreuses. Le traitement au karité augmente la porosité accessible à l'eau de près de 36% par rapport aux BT. Les BN50 tout comme les BK ont une valeur de porosité un peu plus élevée que celle des autres briques. Cette légère augmentation pourrait être due à de l'air entraîné durant le processus de production des briques. Le mélange avec l'eau de karité a provoqué la formation de grumeaux, de diamètres plus ou moins gros, ce qui expliquerait aussi l'apparition de vides dans la brique (figure 9).



Figure 10: Mélange latérite + ciment + eau résiduelle de karité

3.1.2. Capacité d'absorption d'eau

La courbe 10 présente le taux d'absorption d'eau des briques durant 48 heures (2880 minutes). Le tableau 10 précise la cinétique d'absorption d'eau les 10 premières minutes.

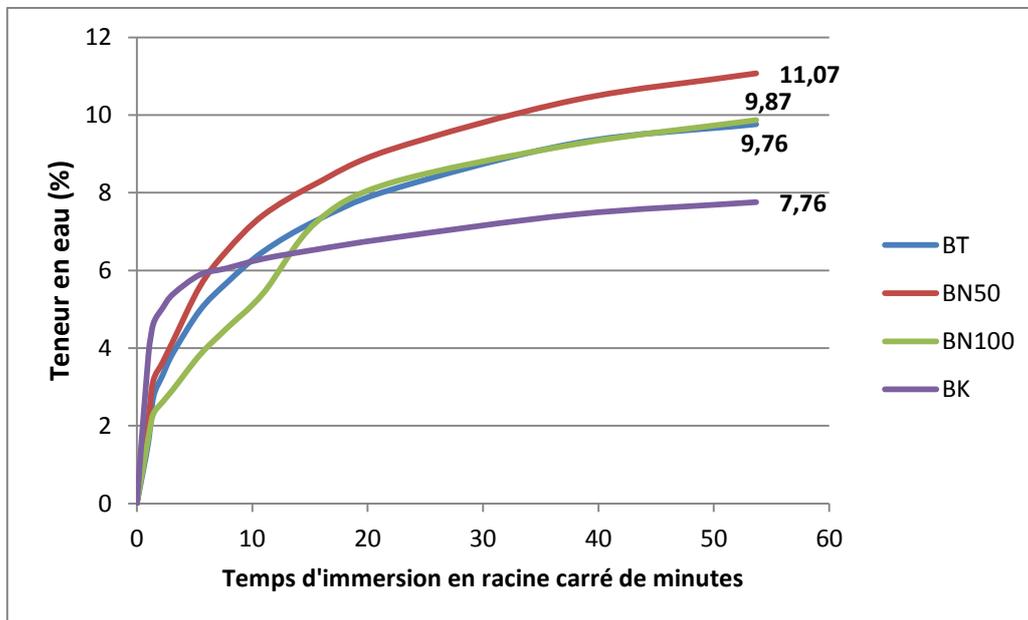


Figure 11: Taux d'absorption des briques en fonction du temps

Tableau 7: Cinétique d'absorption d'eau des BTC testées

Formulations	Masse sèche (g)	Temps d'immersion	Coefficient d'absorption ($\text{g.cm}^{-2}.\text{mn}^{-1/2}$)
BT	3639,95	10 minutes	5,44
BN50	3500,72		2,50
BN100	3552,76		3,43
BK	3515,41		7,01

Nous remarquons que les BTC témoins (BT) ont au bout de 48 heures, un taux d'absorption de presque 10%. Cette valeur est inférieure au taux d'absorption maximal de 15% que Houben et al, trouvaient dans leur étude, en 1996 (4). En comparant les BT et les autres formules avec adjuvants, nous observons que :

- ✚ Les BN ont une cinétique d'absorption d'eau nettement inférieure à celle des BT respectivement de -54% pour les BN50 et de -37% pour les BN100. Toutefois, les BN ont un taux d'absorption à 48 heures plus élevé que les BT. On pourrait penser qu'un film de protection se crée à la surface de la brique empêchant l'entrée d'eau. Mais, ce film semble disparaître lorsque le contact avec l'eau est trop prolongé. Une analyse de la micro structure permettrait de confirmer ces résultats primaires.
- ✚ Les BK bien qu'ayant la cinétique d'absorption la plus élevée à court terme, ont une capacité d'absorption beaucoup plus faible que toutes les autres briques sur le long terme (figure 10). Cette réduction de l'entrée d'eau dans les BK est sans doute liée aux propriétés hydrofuges que possède l'eau résiduelle de karité. La présence d'huile dans la solution rend les briques plus imperméables. Ces résultats confirment les observations faites sur les cases traditionnelles et les techniques traditionnelles de construction. (retrouver les références biblio).

3.2. Comportements mécaniques

L'une des qualités d'un matériau pour la construction est de résister aux efforts de compression et de traction qu'il subit. Nous nous intéresserons dans ce paragraphe à l'influence des adjuvants (néré et karité) sur les caractéristiques mécaniques des briques.

3.2.1. Résistance à la compression

Le tableau 8 et la figure 11 présentent les résultats d'essais de compression mono-axiale sur les briques.

Tableau 8: Résultats des essais de résistance mono-axiale

BTC	Densité apparente	Résistance à la rupture (MPa)
BT	$1,99 \pm 0,05$	$10,29 \pm 0,3$
BN50	$1,95 \pm 0,03$	$9,01 \pm 0,7$
BN100	$1,95 \pm 0,03$	$11,22 \pm 0,4$
BK	$1,97 \pm 0,02$	$6,80 \pm 0,4$

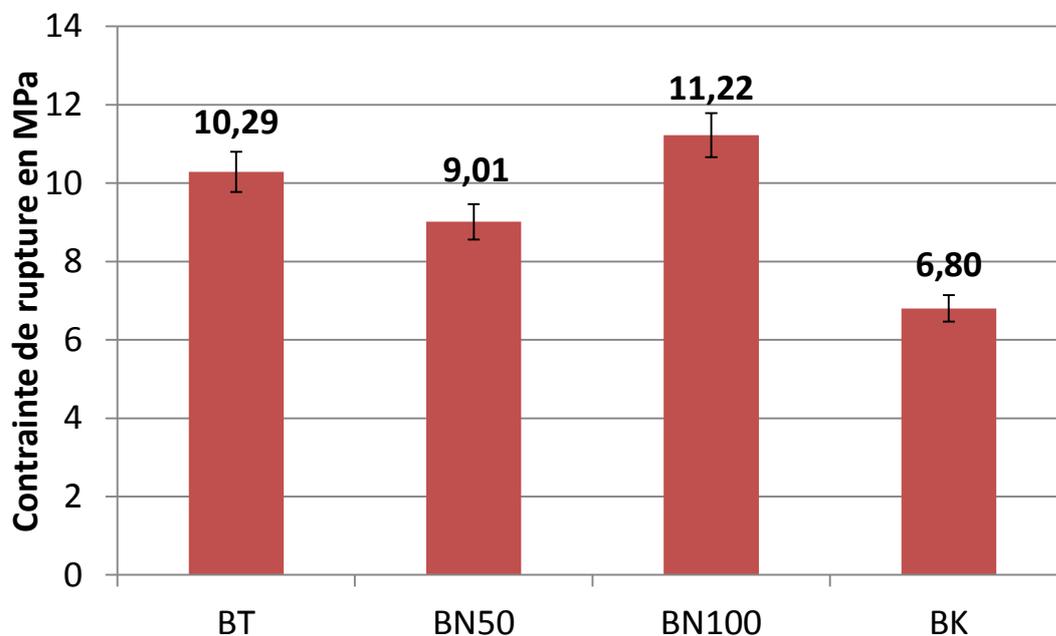


Figure 12: Résistance à la compression mono axiale des briques

Nous remarquons que les briques dans leur ensemble ont une résistance à la compression convenable pour la construction au bout de 28 jours. Elles présentent une valeur maximale de 11,22 MPa pour une valeur minimale approchant les 7MPa.

Pour des densités quasi identiques, les BN100 sont les plus résistantes avec une amélioration de 10% par rapport aux BT. Il est donc possible que les décoctions de néré réagissent chimiquement avec le mélange pour améliorer la résistance mécanique des briques. Les faibles résistances que présentent les BN50 par rapport aux BN100 et aux BK (respectivement -20% et -12%) nous permettent de confirmer que plus la décoction de néré est concentrée, plus est la résistance à la compression des briques est meilleure.

D'après les résultats ci-dessus les BK présentent une résistance beaucoup plus faible que les BT (-34%). Cela est probablement dû à la porosité élevée (+36%) des BK par rapport au BT.

3.2.2. Résistance à la flexion

Le tableau 9 et la figure12 résume les résultats de résistance à la flexion des différents types de BTC associés à leur écart-type.

Tableau 9: Résultats des essais de résistance à la flexion en 3 points

Formulations	Densité apparente	Résistance à la compression
BT	1,89 ± 0,09	1,28 ± 0,5
BN50	1,94 ± 0,02	1,42 ± 0,1
BN100	1,92 ± 0,05	1,16 ± 0,2
BK	2,05 ± 0,06	1,85 ± 0,5

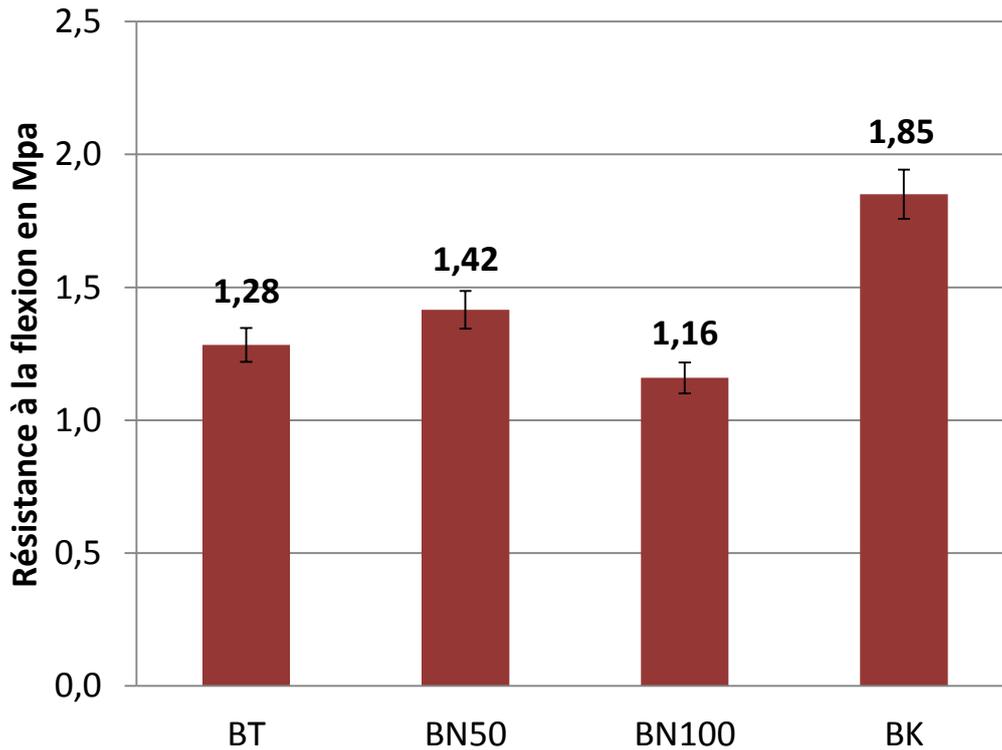


Figure 13: Résistance à la flexion des BTC

Ces résultats nous indiquent que la décoction de néré (avec ses 3% de matière sèche) n'a pratiquement eu aucun impact sur la résistance à la flexion des briques.

Les effets du traitement sur les BK sont les plus remarquables. On note une augmentation sensible de la résistance à la flexion après l'incorporation d'eau résiduelle de karité (+44,5% par rapport au BT).

CONCLUSION

Dans notre étude, nous avons réalisé des Briques de Terre Comprimée (BTC) en incorporant en plus de la latérite et du ciment, un troisième composant en vue d'une amélioration des performances. Nous avons ajouté à la place de l'eau de gâchage des extraits végétaux (*Parkia biglobosa* et *Vitellaria paradoxa*) en solution.

La première étape de notre travail expérimental a consisté à faire une caractérisation générale des matériaux utilisés : de la latérite provenant de la carrière de l'entreprise CC3D très riche en argile; du ciment portland CPA 45 ; des solutions de cosses de néré (*Parkia biglobosa*) et de l'eau résiduelle issue de la fabrication artisanale du beurre de karité (*Vitellaria paradoxa*).

La deuxième étape de notre étude a été de confectionner des briques, et d'évaluer les améliorations physico-mécaniques liées aux solutions adjuvantes utilisées. Il ressort de cette étude que les décoctions de cosses de néré, à une certaine concentration, augmentent la résistance à la compression des BTC. Une concentration de 100g/l en masse de cosse de néré (contenant 3% d'extrait sec), permet d'améliorer les performances d'une brique normale de 10%. L'eau résiduelle de karité par contre altère la résistance à la compression des briques (-34%). Toutefois, du point de vue des caractéristiques hydriques, le traitement au karité se démarque des autres en réduisant la capacité d'absorption des briques sur le long terme.

Les résultats trouvés sont assez satisfaisants et peuvent avoir des avantages sur différents plans. Sur le plan social par exemple, les traitements au néré pourraient réduire les coûts de production des BTC en substituant une partie du ciment. Sur le plan scientifique, ces résultats laissent penser qu'il existe des réactions chimiques entre des composants présents dans les solutions adjuvantes et la latérite qui améliorent les performances des briques. Il serait même envisageable de synthétiser ces composés chimiques s'ils sont mieux connus pour une utilisation plus rationnelle.

SUGGESTIONS

D'après les résultats obtenus par cette recherche, et en vue d'une utilisation rationnelle des BTC traités au néré et au karité, nous suggérons de compléter notre recherche par les axes suivants :

- ✚ Réaliser une étude chimique des solutions adjuvantes, pour déterminer de façon plus précises, les principaux constituants et leur teneur.
- ✚ Analyser la microstructure des briques après traitement afin de déterminer les mécanismes chimiques en cause.
- ✚ Etudier l'influence que pourrait avoir les cosses de *Parkia biglobosa* et l'eau résiduelle du *Vitellaria paradoxa* sur les propriétés thermiques des BTC.
- ✚ Analyser la stabilité de la brique après des cycles de séchages et de mouillage (processus de vieillissement).
- ✚ Déterminer un dosage optimal de la solution de néré qui permettrait de réduire le dosage en ciment sans altérer les performances des briques.
- ✚ Etudier l'influence que pourrait avoir un mélange de décoction de néré et d'eau résiduelle de karité sur les BTC.

BLIBLIOGRAPHIE

1. **GUILLAUD, Hubert, JOFFROY, Thierry et ODUL, Pascal.** *Blocs de terre comprimée, Manuel de conception et construction.* CRATerre & GTZ. 1995. Vol. II.
2. **BOURGEON, G. et GUNNEL, Y.** *La latérite de Buchanan. Etude et gestion des sols.* 2005. pp. 87-100. Vol. 12.
3. *A critique of the Schellman definition and classification of laterite.* **OLLIER, R.P. BOURMAN and C.D.** 2003, Elsevier, pp. 77-79.
4. **HOUBEN, Hugo, RIGASSI, Vincent et GARNIER, Philippe.** *Blocs de terre comprimée: équipements de production.* CDI & CRATerre-EAG. 1996.
5. **IBRAHIM, Mahamt, Saleh.** *Etude comparative entre l'amélioration des briques en terre comprimée stabilisées par le ciment et la chaux éteinte.* [éd.] 2iE. Ouagadougou : s.n., 2010.
6. **SAKINE, BOKOR YOUSOUF.** *Vérification des caractéristiques des BTC stabilisées avec de la chaux.* Ouagadougou : mémoire 2iE, 2011.
7. **MEKKI, Houda, ANDERSON, Michael et BENZINA, Mourad, Ammar, Emma.** *Valorization of olive mill wastewater by its incorporation in building bricks.* Sfax : Elsevier, 2008.
8. **RIGAL, L.** *Les Matériaux issus du Végétal.* Journée technique AGRICE - ADME "Biomasse et Matériaux: une réalité". 02 JUIN 2005.
9. **MAPONGMETSEM, P. M., NKONGMENECK, B. A. et Denedoumba, D.** *Germination et croissance initiale d'une Mimosacea alimentaire locale: parkia biglobosa.* [éd.] FAO. 2004.
10. **NTOUDA, Julien.** *Etude de la résistance mécanique des blocs de latérite taillé ayant subi un traitement de renforcement.* [éd.] Institut Internationale d'Ingénierie de l' Eau et de l'Environnement (2iE). Ouagadougou (Burkina Faso) : s.n., 2010. p. 86 pages.

11. **NENONENE, Amen, Yawo.** *Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tiges de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage.* Institut National Polytechnique de Toulouse. Toulouse : s.n., 2009. p. 179.

12. **WILLIAMS, C. L. et WOOL, R. P.** *Composites from Natural Fibers and Soy Oil Resins.* Applied composite material. 2000. pp. 421-432.

13. **RIGASSI, V. et al.** *Blocs de terre comprimés: Manuel de production.* s.l. : CRATerre-EAG, 1994. Vol. I.

14. **OLLIVIER, J.P.** *Resultats des essais croisés AFREM pour la détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau des bétons.*

15. **CDE Guides, 'Technologies Series'.** *Compressed Earth blocks - Testing Procedures.* 2000. p. 83. Vol. No. 16.

ANNEXES

Annexe 1: Analyse granulométrique par tamisage humide de la latérite.....	37
Annexe 2: Limites d'Atterberg de la latérite utilisée	38
Annexe 3: Résultats des essais de densité apparente et porosité accessible à l'eau	39
Annexe 4: Résultats des essais d'absorption capillaire des BTC.....	41
Annexe 5: Résultats des essais de résistance à la compression	43
Annexe 6: Résultats des essais de résistance à la flexion en 3 points	45
Annexe 7: Malaxeur planétaire de marque TESTARAM	47
Annexe 8: Presse manuelle de marque TERSTARAM	47

Annexe 1: Analyse granulométrique par tamisage humide de la latérite

LABORATOIRE GENIE CIVIL
01 BP 594 OUAGA 01 - Tel 50 30 20 53

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE HUMIDE

Client	TITRE DU PROJET	OPERATEUR	DATE
LEMCA / CC3D	Mémoire de fin d'études	Yasmine B TRAORE	25 FEVRIER2013

Modules AFNOR	ϕ tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					
49	63					
48	50					
47	40					
46	31,5					
45	25					
44	20					
43	16					
42	12,5					
41	10					
40	8					
39	6,3	9,0	9,0	0,5%	99,6%	
38	5	11,5	20,5	1,0%	99,0%	
37	4	18,7	39,2	2,0%	98,0%	
36	3,15	16,1	55,3	2,8%	97,2%	
35	2,5	22,4	77,7	3,9%	96,1%	
34	2	22,2	99,9	5,0%	95,0%	
33	1,6	21,1	121,0	6,1%	94,0%	
32	1,25	27,0	148,0	7,4%	92,6%	
31	1	37,7	185,7	9,3%	90,7%	
30	0,8	37,4	223,1	11,2%	88,8%	
29	0,63	68,0	291,1	14,6%	85,4%	
28	0,5	98,2	389,3	19,5%	80,5%	
27	0,4	86,4	475,7	23,8%	76,2%	
26	0,315	140,8	616,5	30,8%	69,2%	
25	0,25	125,3	741,8	37,1%	62,9%	
24	0,2	103,1	844,9	42,2%	57,8%	
23	0,16	101,8	946,7	47,3%	52,7%	
22	0,125	65,2	1 011,9	50,6%	49,4%	
21	0,1	47,4	1 059,3	53,0%	47,0%	
20	0,08	45,8	1 105,1	55,3%	44,7%	

Module de finesse M_{df} = 1,05
Coefficient de HAZEN Cu = 457
Coefficient de courbure Cc = 3,3

Annexe 2: Limites d'Atterberg de la latérite utilisée

LABORATOIRE GENIE CIVIL
01 BP 594 OUAGA 01 - Tel 50 30 20 53

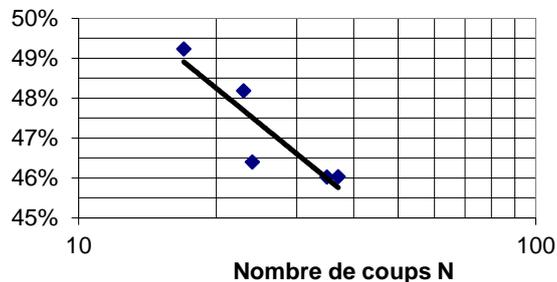
LIMITES D'ATTERBERG : METHODE A LA COUPELLE

Client	TITRE DU PROJET	OPERATEUR	DATE
LEMC / CC3D	Mémoire de fin d'études	Yasmine B TRAORE	25 FEVRIER2013

Paramètres d'état initiaux	
* Teneur en eau naturelle ω :	1,9%
* Proportion pondérale C de la fraction 0/0,4 mm :	76,0%
Mode opératoire	Détermination des teneurs en eau par :
	<input type="checkbox"/> Micro-onde (NP 94-049-1)
	<input checked="" type="checkbox"/> Etuve (NFXP 94-060-1, 24h à 105 +/- 5°C)

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	25,94	25,00	26,31	28,94	24,34	19,45	18,44	18,25	
Poids total sec (g)	23,40	22,49	23,61	25,35	22,20	19,18	18,13	17,96	
Poids tare (g)	18,24	17,28	17,79	17,55	17,55	17,84	16,70	16,56	
Poids de l'eau (g)	2,54	2,51	2,70	3,59	2,14	0,27	0,31	0,29	
Poids sec (g)	5,16	5,21	5,82	7,80	4,65	1,34	1,43	1,40	
Teneur en eau (g)	49,2%	48,2%	46,4%	46,0%	46,0%	20,1%	21,7%	20,7%	

RESULTATS	
$\omega_L =$	47,5%
$\omega_P =$	20,8%
Indice de plasticité :	
IP = $\omega_L - \omega_P$	
IP =	26,7%
Indice de consistance du terrain naturel :	
$I_c = (\omega_L - \omega) / IP$	
$I_c =$	1,7



Annexe 3: Résultats des essais de densité apparente et porosité accessible à l'eau

LABORATOIRE GENIE CIVIL
01 BP 594 OUAGA 01 - Tel 50 30 20 53

ESSAI DENSITE APPARENTE ET POROSITE ACCESSIBLE A L'EAU

Client	TITRE DU PROJET	OPERATEUR	DATE
LEMC / CC3D	Mémoire de fin d'études	Yasmine B TRAORE	09 MAI 2013

Nom échantillon	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Volume (dm ³)	Masse initiale (g)	Densité apparente	Masse saturée dans l'eau (g)	Masse saturée dans l'air (g)	Masse sèche (g)	Porosité accessible à l'eau
TEMOIN (BT)										
1	140	140	95	1,86	3693,58	1,98	2096,80	3956,60	3691,21	0,13
2	140	140	95	1,86	3715,43	2,02	2150,80	4027,76	3786,19	0,09
3	140	140	95	1,86	3759,62	2,08	2167,28	4041,62	3906,28	0,11
Moyenne	140	140	95	1,86	3722,88	2,03	2138,29	4008,66	3794,56	0,11
Ecart-type	0	0	0	0	27,47	0,04	30,10	37,24	88,00	0,03
NERE (BN50)										
1	140	140	95	1,86	3538,70	1,94	1994,53	3835,08	3566,66	0,15
2	140	140	95	1,86	3716,86	1,91	1975,73	3927,38	3735,71	0,10
3	140	140	95	1,86	3548,31	1,92	2028,34	3873,05	3545,18	0,18
Moyenne	140	140	95	1,86	3601,29	1,92	1999,53	3878,50	3615,85	0,14

Influence d'un adjuvant naturel sur les propriétés physico-mécaniques des BTC : néré et karité

<i>Ecart-type</i>	0	0	0	0	81,81	0,01	21,77	37,88	85,21	0,03
NERE (BN100)										
1	140	140	95	1,86	3871,22	2,08	2265,10	4141,36	3907,12	0,12
2	140	140	95	1,86	3430,18	1,99	1975,32	3776,00	3591,26	0,10
3	140	140	95	1,86	3553,73	1,97	2027,55	3865,96	3621,12	0,13
Moyenne	140	140	95	1,86	3618,38	2,02	2089,32	3927,77	3706,50	0,12
Ecart-type	0	0	0	0	185,77	0,05	126,11	155,43	142,38	0,01
KARITE (BK)										
1	140	140	95	1,86	3538,42	1,94	1939,81	3757,40	3528,03	0,13
2	140	140	95	1,86	3683,83	1,97	2065,53	3909,97	3626,24	0,15
3	140	140	95	1,86	3546,00	1,93	1991,25	3824,79	3532,58	0,16
Moyenne	140	140	95	1,86	3589,42	1,94	1998,86	3830,72	3562,28	0,15
Ecart-type	0	0	0	0	66,83	0,02	51,61	62,43	45,26	0,01

Annexe 4: Résultats des essais d'absorption capillaire des BTC

LABORATOIRE GENIE CIVIL
01 BP 594 OUAGA 01 - Tel 50 30 20 53

ESSAI D'ABSORPTION DES BTC : IMMERSION PARTIELLE 10 MN

Client	TITRE DU PROJET	OPERATEUR	DATE
LEMC / CC3D	Mémoire de fin d'études	Yasmine B TRAORE	06 MAI 2013

Nom échantillon	TEMOIN (BT)				NERE (BN50)				NERE (BN100)				KARITE (BK)			
	Masse humide [g]	Masse Sèche [g]	Masse d'eau absorbée [g]	Absorption [%]	Masse humide [g]	Masse Sèche [g]	Masse d'eau absorbée [g]	Absorption [%]	Masse humide [g]	Masse Sèche [g]	Masse d'eau absorbée [g]	Absorption [%]	Masse humide [g]	Masse Sèche [g]	Masse d'eau absorbée [g]	Absorption [%]
1	3631,19	3598,24	32,95	5,32	3451,38	3435,80	15,58	2,51	3819,57	3798,94	20,63	3,33	3492,46	3460,64	31,82	5,13
2	3679,77	3645,62	34,15	5,51	3626,56	3614,32	12,24	1,97	3394,60	3365,94	28,66	4,62	3710,20	3618,78	91,42	14,75
3	3710,10	3675,99	34,11	5,50	3470,70	3452,04	18,66	3,01	3507,82	3493,40	14,42	2,33	3521,85	3466,80	55,05	8,88
<i>Moyenne</i>	3673,69	3639,95	33,74	5,44	3516,21	3500,72	15,49	2,50	3574,00	3552,76	21,24	3,43	3574,84	3515,41	59,43	9,59
<i>Ecart-type</i>	32,50	31,99	0,56	0,09	78,42	80,60	2,62	0,42	179,69	181,69	5,83	0,94	96,47	73,14	24,53	3,96

LABORATOIRE GENIE CIVIL
01 BP 594 OUAGA 01 - Tel 50 30 20 53

ESSAI D'ABSORPTION DES BTC : IMMERSION TOTALE

Client	TITRE DU PROJET	OPERATEUR	DATE
LEMC / CC3D	Mémoire de fin d'études	Yasmine B TRAORE	20 MAI 2013

Nom échantillon	Masse initiale (g)	Masse humide(g) après :											Masse d'eau absorbée (g)
		1 min	2 min	5 min	10 min	30 min	60 min	120 min	240 min	480 min	1440 min	2880 min	
TEMOIN (BT)													
1	3390,18	3461,25	3523,55	3555,26	3584,77	3636,10	3666,15	3697,46	3725,88	3750,25	3778,65	3787,66	388,47
2	3884,60	3926,89	3942,92	3952,21	3963,85	3989,50	4008,68	4036,40	4065,16	4098,81	4160,03	4187,66	275,43
Teneur en eau moy		1,59	2,72	3,30	3,89	4,98	5,67	6,49	7,28	8,07	9,27	9,76	
NERE (BN50)													
1	3409,80	3495,53	3531,02	3548,54	3573,00	3633,81	3676,00	3713,15	3737,14	3758,11	3782,78	3795,09	372,98
2	3432,01	3495,10	3525,95	3541,83	3555,80	3590,47	3609,45	3636,25	3667,36	3706,30	3769,52	3804,22	337,51
Teneur en eau moy		2,18	3,15	3,63	4,20	5,59	6,49	7,42	8,23	9,10	10,39	11,07	
NERE (BN100)													
1	3646,63	3695,69	3707,80	3716,32	3725,60	3756,24	3780,50	3813,34	3848,92	3889,54	3944,30	3982,11	297,67
2	3507,38	3579,47	3609,55	3623,87	3638,13	3670,60	3694,13	3726,81	3819,76	3852,19	3869,68	3876,95	362,30
Teneur en eau moy		1,70	2,30	2,62	2,95	3,83	4,50	5,41	7,23	8,25	9,25	9,87	
KARITE (BK)													
1	3509,60	3668,57	3701,52	3717,70	3730,88	3746,35	3749,77	3755,33	3761,32	3769,18	3787,24	3797,73	277,64
2	3578,32	3688,79	3712,60	3726,33	3738,88	3758,49	3766,61	3778,64	3789,42	3802,42	3827,78	3839,72	249,46
Teneur en eau moy		3,81	4,61	5,03	5,40	5,89	6,05	6,30	6,54	6,83	7,44	7,76	

Annexe 5: Résultats des essais de résistance à la compression

LABORATOIRE GENIE CIVIL
01 BP 594 OUAGA 01 - Tel 50 30 20 53

ESSAI RESISTANCE A LA COMPRESSION

Client	TITRE DU PROJET	OPERATEUR	DATE
LEMC / CC3D	Mémoire de fin d'études	Yasmine B TRAORE	09 MAI 2013

Nom échantillon	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Volume (dm ³)	Masse initiale (g)	Densité apparente	Force de rupture	Contrainte à la compression
TEMOIN (BT)								
1	140	140	95	1,86	3776,31	1,98	210,00	10,71
2	140	140	95	1,86	3763,51	2,02	200,00	10,20
3	140	140	95	1,86	3554,35	2,08	195,00	9,95
Moyenne	140	140	95	1,86	3698,06	2,03	201,66	10,29
Ecart-type	0	0	0	0	101,75	0,04	6,24	0,32
NERE (BN50)								
1	140	140	95	1,86	3656,12	1,96	160,00	8,16
2	140	140	95	1,86	3688,15	1,98	195,00	9,95
3	140	140	95	1,86	3550,34	1,90	175,00	8,93
Moyenne	140	140	95	1,86	3631,54	1,95	176,67	9,01
Ecart-type	0	0	0	0	58,88	0,03	14,33	0,73

Influence d'un adjuvant naturel sur les propriétés physico-mécaniques des BTC : néré et karité

NERE (BN100)								
1	140	140	95	1,86	3642,96	1,95	240,00	12,24
2	140	140	95	1,86	3565,58	1,91	210,00	10,71
3	140	140	95	1,86	3677,03	1,97	210,00	10,71
Moyenne	140	140	95	1,86	3628,52	1,94	220,00	11,22
Ecart-type	0	0	0	0	46,63	0,03	14,14	0,72
KARITE (BK)								
1	140	140	95	1,86	3669,16	1,97	130,00	6,63
2	140	140	95	1,86	3706,83	1,99	145,00	7,40
3	140	140	95	1,86	3616,10	1,94	125,00	6,38
Moyenne	140	140	95	1,86	3664,03	1,97	133,33	6,80
Ecart-type	0	0	0	0	37,22	0,02	8,50	0,43

Annexe 6: Résultats des essais de résistance à la flexion en 3 points

LABORATOIRE GENIE CIVIL
01 BP 594 OUAGA 01 - Tel 50 30 20 53

ESSAI RESISTANCE A LA FLEXION EN 3 POINTS

Client	TITRE DU PROJET	OPERATEUR	DATE
LEMC / CC3D	Mémoire de fin d'études	Yasmine B TRAORE	09 MAI 2013

Nom échantillon	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Volume (dm3)	Masse initiale (g)	Densité apparente	Force de rupture	Contrainte à la flexion
TEMOIN (BT)								
1	295	140	95	3.92	7084,00	1,81	4,14	0,96
2	295	140	95	3.92	7224,00	1,84	3,89	0,90
3	295	140	95	3.92	7309,00	2,00	8,60	1,99
Moyenne	295	140	95	3.92	7122,25	1,89	5,54	1,28
Ecart-type	0	0	0	0	101,75	0,09	2,16	0,50
NERE (BN50)								
1	295	140	95	3.92	7514,00	1,92	6,14	1,42
2	295	140	95	3.92	7686,00	1,96	6,44	1,49
3	295	140	95	3.92	7576,00	1,93	5,76	1,33
Moyenne	295	140	95	3.92	7592,00	1,94	6,11	1,42

Influence d'un adjuvant naturel sur les propriétés physico-mécaniques des BTC : nééré et karité

Ecart-type	0	0	0	0	71,12	0,02	0,28	0,064
NERE (BN100)								
1	295	140	95	3.92	7432,00	1,89	5,02	1,16
2	295	140	95	3.92	7368,00	1,88	4,06	0,94
3	295	140	95	3.92	7528,00	2,00	5,94	1,38
Moyenne	295	140	95	3.92	7478,00	1,92	5,00	1,159042343
Ecart-type	0	0	0	0	96,63	0,05	0,77	0,187
KARITE (BK)								
1	295	140	95	3.92	7084,00	1,95	5,86	1,36
2	295	140	95	3.92	7224,00	2,03	6,97	1,61
3	295	140	95	3.92	7382,00	2,1	11,14	2,58
Moyenne	295	140	95	3.92	7230,00	2,05	7,99	1,85
Ecart-type	0	0	0	0	90,22	0,06	2,27	0,53

Annexe 7: Malaxeur planétaire de marque TESTARAM



Source : nous même

Annexe 8: Presse manuelle de marque TERSTARAM



Source : nous même