

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement International Institute for Water and Environmental Engineering







ÉTUDE DES CONSTRUCTIONS EN BRIQUES DE TERRE STABILISÉE À L'AIDE DES EXTRAITS DU PARKIA BIGLOBOSA.

Mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement

OPTION: Génie-civil.

Présenté et soutenu publiquement le [21 Juin 2010] par :

Armand Pascal TALLA

Travaux dirigés par :

Dr Abibou CISS;

Mr Abdou LAWANE GANA.

Jury d'évaluation du stage :

Président : M. Ismaïla GUEYE

Membres et correcteurs: - M. Jean Pierre ESSONE NKOGHE;

- M. Abdou LAWANE GANA (co-directeur);





DÉDICACE

À:

- Madame et Monsieur **WATIO**, Pour tout le soutient financier et moral ;
 - Ma mère MAKUI Félicité pour sa bénédiction ;
 - A mon défunt père Jonas TALLA.



REMERCIEMENT

J'adresse mes sincères remerciements à tous ceux qui de près ou de loin m'ont accordé un soutien de toute nature pour la réalisation de ce modeste travail.

Je remercie en particulier :

- Dr Abibou CISS ; Mr Abdou LAWANE GANA respectivement mes encadreurs pour leur disponibilité et leur grande patience ;
- Mr Koffi Agbévidé Augustin KOKOLE, Mr Salif OUEDRAGO et tout le corps enseignant du 2iE ;
- L'association Djawolim pour le développement particulièrement à son sécrétaire général (Amoukitan ANAYAN dit prince);
- À monsieur le maire de tiébélé;
- Toute la famille YAO pour l'accueille sur la terre de Tiébélé notre zone d'étude.

Je voudrais également remercier :

- Toute la grande famille SOW KAMELA et la famille MBA TAKUFEUKAM;
- La famille WATIO ;
- Ma nourrisse Mireille NJEHKEU;
- Ma meilleure amie de tous les jours Ramat OUEDRAOGO;
- Ma très chère Biba ZIDA ;
- Tous mes camarades du 2iE et en particulier mon frère et ami Martial GUETCHO;

Sans oublier mes frères et sœurs :

- Viviane TALLA MAFOGANG;
- Jean Colins TALLA KAMKOUM;
- Pélagie Sandrine TALLA DJOUSSI ;
- Christiane TALLA MAPAH;
- Carlos TALLA SIGNE;
- Kévin TALLA MBA.



RÉSUMÉ

La plupart de bâtis *gourounsi* à Tiébélé est en terre. Les maçonneries sont réalisées avec le sol trouvé sur le terrain. Le crépissage est fait avec une latérite de couleur rouge. L'étanchéité et la fixation des couleurs sont assurées avec une décoction de *néré* (parkia biglobosa). Cette étude explore d'abord la technique traditionnelle de construction du peuple *gourounsi*. Ensuite, elle dégage des perspectives vers sa modernisation et son déploiement à plus grande échelle.

Après analyses en laboratoire pour la classification des matériaux traditionnels employés par les *gourounsi*, il est apparu que ces différents sols sont du sable, du limon et des argiles. Ensuite, des blocs de terre comprimée (BTC) ont été réalisés avec une solution obtenue avec la décoction de néré. Les testes des performances en laboratoire ont donné : 1,09MPa à 7 jours ; 1,17MPa à 14 jours et 1,83MPa à 28 jours pour un dosage de 60 grammes de gousses de néré par litre d'eau. Les BTC obtenus sans cette décoction donnent une résistance inférieure, qui est de : 0,72MPa à 7 jours ; 0,78MPa à 14 jours et 0,91MPa à 28 jours.

L'essai d'imbibition a par la suite montré une plus grande stabilité à l'eau pour les BTC traités avec le néré. Cette qualité est à rapprocher avec l'étanchéité recherchée par le peuple gourounsi.

Ces résultats de laboratoire ont montré la pertinence des techniques locales de construction chez les gourounsi. Ils ont aussi fourni de nouvelles méthodes de construction applicables dans les projets d'habitation en terre.

<u>Mots clés</u>: latérite, parkia biglobosa, stabilisation, habitat, éco-construction...



ABSTRACT

Most of built gourounsi to Tiébélé are in earth. Masonries are realized with the earth found on the ground. The crépissage is made with a red color laterite. The waterproofness and the fixation of colors are assured with a decoction of néré (parkia biglobosa). This study investigates at first the traditional technique of construction of the gourounsi people. Then, it loosens perspectives towards its modernization and her larger-scale deployment.

After analyses in laboratory for the classification of the traditional materials used by gourounsi, it seemed that these various grounds are some sand, some silt and some clay. Then, blocks of compressed (restrained) earth (BTC) was realized with a solution obtained with the decoction of néré. The tested of the performances in laboratory gave: 1,09MPa in 7 days; 1,17MPa in 14 days and 1,83MPa in 28 days for a 60 gram dosage pod of néré by liter of water. The BTC obtained without this decoction gives a lower resistance, which is of: 0,72MPa in 7 days; 0,78MPa in 14 days and 0,91MPa in 28 days.

The essay of imbibition afterward showed a bigger stability in the water for the BTC treated (handled) with the néré. This quality is to be moved closer with the waterproofness looked for by the gourounsi people.

These results of laboratory showed the relevance of the local techniques of construction to gourounsi. They also supplied new applicable methods of construction in the projects of house with earth.

Key words: latérite, parkia biglobosa, stabilization, hose, éco-construction.



LISTE DES ABRÉVIATIONS

2iE: Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement;

BTC : Bloques de terre comprimée.

Cc : Coefficient de courbure ;

Cu : Coefficient d'uniformité ;

USCS: Unified Soils Classification System;

VBS : Valeur de bleu de méthylène ;



SOMMAIRE

DÉDICACE	
REMERCIEMENT	i
RÉSUMÉ :	ii
ABSTRACT	i1
LISTE DES TABLEAUX	3
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	
LISTE DES FIGURES	5
INTRODUCTION GÉNÉRALE	6
I. PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE.	7
I.1. présentation du cadre de l'étude.	7
I.2. Objectifs et intérêts de l'étude.	9
I.3. Méthodologie.	9
II.Description de l'habitat Kassena.	- 10
III.Matériaux utilisés dans les constructions en pays Kassena.	- 12
III.1.Identification des sols sur le terrain.	- 13
III.1.1. la terre rouge.	- 13
III.1.2. La terre crue (terre noire).	- 14
III.1.3. La terre de couleur grise pulvérulente (terre collante).	- 16
III.1.4. La bouse de vache.	- 17
III.1.5. Le goudron.	- 17
III.1.6.Le néré.	- 18
IV.Les étapes de construction en pays gourounsi.	19
IV.1. Le maçonnage.	- 19
IV.2. Les finitions.	19
IV.3. Les pathologies et entretien périodique.	- 20
V.Éssais au laboratoire	- 21
V.1. Les essais d'identification.	- 21
V.1.1. Analyse granulométrique et sédimentométrique.	- 22
V.1.1.Analyse granulométrique par tamisage.	- 22

V.1.1.2. Analyse granulométrique par sédimentométrie.
V.1.2. Détermination du poids spécifique γs.
V.1.3.Limites d'Atterberg.
V.1.3.1. Limite de liquidité W_L
V.1.3.2.Limite de plasticité W _P .
V.1.3.3. L'indice de plasticité I _{P.}
V.1.4.Les essais au bleu de méthylène.
VI.Mélanges et traitements sur les matériaux locaux.
VII. Matériaux et méthodes de l'étude.
VIII.Les essais de résistance à la compression.
IX.essais des remontées capillaires.
X.Étude théorique du confort thermique dans les habitats en pays gourounsi.
XI.Les blocs de terre comprimée.
XII.Estimation comparée d'une construction en BTC et d'une construction en parpaings.
XIII.Avantages et inconvénients des constructions en terre.
Conclusion générale.
BIBLIOGRAPHIE
Annexe1
Annexe2

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : analyse granulométrique par tamisage ;

Tableau 2 : valeurs du coefficient d'uniformité et de courbure ;

Tableau 3: poids spécifiques des différents sols de Tiébélé;

Le tableau 4 : limites d'Atterberg des différents sols de Tiébélé ;

Tableau 5 : Valeurs de bleu de méthylène des sols de Tiébélé ;

Tableau 6 : repartions des sols suivant la valeur du bleu de méthylène ;

Tableau 7: Résultats essais de compression;

Tableau 8 : Avantages et inconvénients des constructions en BTC ;

Tableau 9 : Analyse granulométrique par tamisage du sol noire (limon très peu plastique).

Tableau 10 : Analyse granulométrique par sédimentométrie du *sol noire* (limon très peu plastique).

Tableau 11 : Analyse granulométrique par tamisage du *sol de couleur grise* (limon très peu ou pas plastique).

Tableau 12 : Analyse granulométrique par sédimentométrie du *sol de couleur grise* (limon très peu plastique).

Tableau 13 : Analyse granulométrique par tamisage du *sol rouge* sous *terre noire* (argile très peu plastique).

Tableau 14 : Analyse granulométrique par sédimentométrie du *sol rouge* sous *terre noire* (argile très peu plastique).

Tableau 15 : Analyse granulométrique par tamisage du *sol rouge* à 0 ,7m de profondeur (limon pas plastique).

Tableau 16 : Analyse granulométrique par sédimentométrie du *sol rouge* à 0,7m de profondeur (limon pas plastique).

Tableau 17 : Analyse granulométrique par tamisage du *sol rouge* à 3m de profondeur (argile très peu ou pas plastique).

Tableau 17 : Analyse granulométrique par sédimentométrie du *sol rouge* à 3m de profondeur (argile très peu ou pas plastique)

Tableau 18 : Résultats du test de remontée capillaire des briques.

Tableau 19 : Résultats du test de remontée capillaire des briques badigeonnées au néré.

Tableau 20: Valeurs forces des essais de compression.

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie 1 : habitat du peule Tiébélé

Photo 2 et 3 : Entrée d'une maison Kassena vu de l'extérieur (gauche) et de l'intérieur (droite).

Photographie4: Terre rouge en dessous de la terre noire 0,25m de

Photographie5: terre rouge à 0,7m de profondeur

Photographie6: terre rouge à 3m de profondeur

Photographie 7 : Terre crue (terre noire).

Photographie 8 : La terre de couleur grise

Photographie 9 : bouse de vache

Photographie 10 : coques de Néré prêt pour la préparation

Photographie11 : Arbre de Néré.

Photographie 12 : Motte de terre pétrie

photographie13 : mottes de terre superposées

Photographie 14 : Étapes de finition d'une maison Kassena.

Photographie 15 : badigeonnage du mur par le jus de Néré.

Photographie 16 et 17: Exemples de pathologies sur les constructions de Tiébélé

Photographie 18 : pycnomètre à air

photographie19: Presse de traction – Compression.

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 et 2 : situation géographique de Tiébélé ;
- Figure 3: courbes granulométriques des différents sols de Tiébélé;
- Figure 4: Limites d'Atterberg;
- Figure5 : diagramme de Casagrande ;
- Figure 6 : vue du papier filtre et des tâches auréolées ;
- Figure 7: courbes d'absorption d'eau par les briques en fonction du temps;
- Figure 8 : remontées capillaires sur les blocs stabilisés au néré ;
- Figure 9 : remontée capillaire à 20 grammes de néré par litre d'eau « badigeonné » ;
- Figure 10: remontée capillaire à 40 grammes de néré par litre d'eau « badigeonné » ;
- Figure 11: remontée capillaire à 60 grammes de néré par litre d'eau « badigeonné » ;
- Figure 12 : courbe montrant l'allure de la résistance à la compression des blocs suivant les concentrations de Néré.
- Figure 13 : courbe montrant l'allure de la résistance à la compression des blocs suivant le pourcentage de Néré.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Pour s'abriter des intempéries, l'homme s'est dans un premier temps refugié dans les sites ou des abris naturels, tels que les grottes. Mais au fur et à mesure de l'accroissement des effectifs, il s'est vu obligé de concevoir lui-même son habitation. Ceci a donné lieu à des méthodes traditionnelles de construction. C'est le cas par exemple des techniques de construction des Kassena (un sous groupe des gourounsis qui peuplent la région située dans la boucle de la Volta Rouge qui sépare le Ghana au nord et le Burkina-Faso au sud). Ces derniers utilisent une méthode traditionnelle particulière et très peu connue pour améliorer la résistance et l'étanchéité des murs, des toits et des cours des maisons par des décoctions de Néré à chaud. Autrement dit, les femmes qui assurent les finitions sur les maisons à Tiébélé fixent les couleurs des décorations sur les murs en badigeonnant ces derniers par des décoctions de Néré à chaud. Assurant ainsi une certaine résistance et une bonne étanchéité à ces murs. De la tradition de construire en terre, on dénombre de très nombreux modes de constructions avec une infinité de variante qui traduisent l'identité des lieux et des cultures. On connaît principalement douze modes de construction. Parmi ceux-ci sept sont très couramment employés et constituent les genres techniques majeurs [11].

Le matériau terre connaît actuellement un regain d'intérêt suite à la crise du logement. Contrairement au ciment, au béton ou à l'acier, la terre à l'état naturel peut être utilisée comme matériau de construction pratiquement sans dépense d'énergie, elle présente de nombreux avantages environnementaux, sociaux et culturels.

La terre pétrie avec de l'eau est par excellence le matériau utilisé dans les constructions en pays tropicaux et particulièrement au Burkina-Faso [1] et bien entendu à Tiébélé. L'inconvénient est que ce matériau ne résiste pas toujours aux intempéries et beaucoup de bâtisses en terre crue et particulièrement ceux construit avec des matériaux sans aucun traitement sont emportées par les pluies. Cette situation s'est produite récemment lors des inondations de Ouagadougou. Dans le souci de valoriser les matériaux locaux, de protéger l'environnement, d'améliorer les services urbains, de lutter contre la pauvreté, une étude minutieuse de méthode de construction des villageois de Tiébélé a permis de voir les possibilités d'extension dans les constructions modernes.

I. PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

I.1. présentation du cadre de l'étude.

Aujourd'hui estimés à près de 95.000 personnes [3], les Kassena occupent de part et d'autre de la frontière qui sépare le Burkina Faso du Ghana, une région située dans la boucle de la Volta Rouge. Les Kassena sont traditionnellement rattachés à un ensemble de populations, les Gourounsi qui, dans les territoires actuels du Burkina Faso et du nord du Ghana, occupent une région qui s'étend approximativement de la rive gauche de la Volta Noire (à l'ouest) à la rive droite de la Volta Rouge (à l'est). Sur le plan administratif on dénombre environ 67 villages dans la commune de Tiébélé.

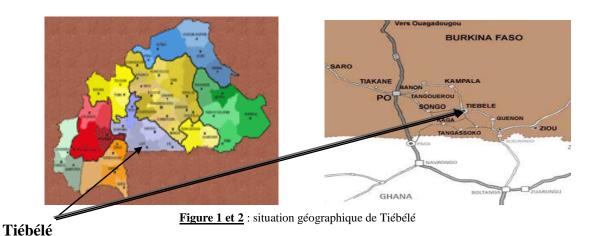
La première caractéristique de ce pays relativement homogène, réside dans l'architecture de son habitat. La case forteresse des peuples Kassena est en effet unique au Burkina; surtout lorsque ses murs sont décorés. Les murs sont gravés généralement. Les femmes utilisent la pierre polie au niveau de la 2ème couche. Les signes gravés sur les murs sont symboliques et non fantaisistes. Cela provient de la tradition animiste qui s'est transmise de génération en génération jusqu'à nos jours. Ces signes gravés sont sur les maisons authentiques uniquement. Les symboles, représentent les croyances, les activités menées, et traduisent l'âme de la société Kassena. Comme exemple, on a le soleil et la lune dont l'ensemble forme l'univers; les pattes de la poule qui représentent l'élevage et la place qu'il occupe dans la société (consommation et sacrifice); les morceaux de calebasse brisée. La calebasse est utilisée comme ustensile de cuisine et comme instrument de musique.

La société Kassena est de type patrilinéaire, régie par le droit d'aînesse. Toutes les décisions doivent recevoir l'aval de l'aîné qui s'occupe par ailleurs des différents rites coutumiers. Les personnes descendant d'un même ancêtre sont considérées comme parents. C'est une organisation sociale en clan (structuré autour du chef de village) et lignage qui se répercute sur l'occupation spatiale. On reconnaît le clan à travers le regroupement de plusieurs concessions dont les occupants apparentés se livrent aux mêmes rites et coutumes. Le lignage se reconnaît à travers le regroupement de plusieurs ménages dans la même concession, sous l'autorité du chef de famille qui est l'aîné. La religion en milieu Kassena est caractérisée par l'animisme et les forces surnaturelles régissent le comportement des hommes. On y pratique ainsi des cultes à l'échelle du village ou de la famille. A l'échelle du village, les cultes sont pratiqués dans des lieux situés soit à l'intérieur du village (à proximité de la concession du chef), soit à l'extérieur du village (marigots, bois sacrés, collines). A l'échelle de la famille,

les cultes sont pratiqués dans la concession. Il s'agit de deux types de culte des ancêtres : celui du fondateur de la concession, et celui de l'ensemble des ancêtres de la lignée. En dehors de ces cultes, il faut souligner les funérailles qui, bien au-delà de la famille, interpellent l'ensemble du village et les clans alliés. Les Kassena croient également en l'existence des animaux sacrés ; par exemple celui du «serpent sacré de Songo».

La concession Kassena qui regroupe plusieurs ménages a toujours son entrée principale orientée vers l'ouest. L'appropriation de l'espace se fait sur la règle du premier occupant, le chef de famille, et qui devient propriétaire de la parcelle. Il installe sa concession qui évoluera horizontalement ou en gradin, en fonction de la morphologie du site, de sa situation matrimoniale et de sa descendance. Chacune de ses femmes devra avoir sa propre unité d'habitation (séjour et chambre). Elle y résidera avec les filles (jusqu'au mariage) et les garçons (jusqu'à l'âge de 20 ans). A l'âge de 20 ans, on estime que le jeune garçon est adulte et ne peut plus vivre dans l'habitation de sa mère. Il est ainsi obligé de se construire une case à l'arrière de la concession existante, de fonder son propre foyer et d'offrir une unité d'habitations à sa future épouse. Ainsi, à chaque mariage chez les Kassena, la concession s'agrandit. Le nouveau ménage ainsi créé ne peut s'établir à l'avant de la vieille concession sous peine de subir la colère des ancêtres.

La spécificité de cette typologie architecturale est son incroyable confort thermique. Ce sont en général des habitations tactiles notamment à l'intérieur (très peu de lumière). Aussi, les agencements avec du mobilier encastré qu'on y trouve, la richesse symbolique des espaces et des décorations, expriment des messages dont seuls les Kassena ont la capacité de décrypter le sens : c'est donc une architecture communicative.



Un des atouts majeurs de tout habitat traditionnel est son originalité. Cette originalité s'exprime dans l'utilisation des matériaux, les formes et l'agencement des espaces, mais aussi

à travers l'utilité et le rôle de chaque espace bâti. Cette originalité est le résultat d'un long processus dont l'homme tient les rênes : l'habitat traditionnel a pour point de départ les besoins, les aspirations et les savoir-faire de l'homme, et pour finalité la satisfaction de ses besoins. De ce fait, l'habitat traditionnel devient le vecteur d'une culture constructive. Cette culture constructive se traduit à Tiébélé par la variété des architectures, la richesse des formes construites, la maîtrise des matériaux traditionnels de construction, des techniques constructives et par une organisation efficace de la main-d'œuvre et des dépenses d'énergie liées à la construction. Des conditions qui ont permis la réalisation de telles architectures prédominent le rapport intelligent que chaque population (et sa culture) entretient avec son environnement et son passé historique.

I.2. Objectifs et intérêts de l'étude.

Il a été constaté une détérioration de l'habitat et de la construction au Burkina-Faso et principalement à Ouagadougou, suite à la précarité des briques de construction. Pour la plus part des constructions qui utilisent de la brique de terre crue (adobe), on peut noter que les briques actuellement fabriquées sont très peu solides, se cassant dans le transport et ne résistent pas aux fortes pluies. Il semblerait que les constructeurs aient oublié ou ignore les techniques et les procédés de leurs ancêtres, et que l'évolution de la technique soit plutôt un retour en arrière concernant la qualité et la solidité des constructions. Par ailleurs la technique de la terre crue (adobe) demande beaucoup de savoir faire de la part du constructeur. Il est donc urgent de prendre les devants en améliorant et en valorisant les matériaux locaux à l'instar des BTC. Les matériaux locaux et la technique de construction offrent à l'habitat traditionnel de Tiébélé des nombreux avantages en matière de confort, de diversité des formes et de décorations. Cette région du Burkina-Faso qui est un pôle d'attraction touristique par la conservation de son patrimoine culturel suscite notre attention. Il est donc question pour nous de s'imprégner de cette technique et de faire des études scientifiques à fin de comprendre le pourquoi une utilisation particulière de décoction néré dans les constructions de Tiébélé. Les résultats nous permettront par la suite de contribuer à une construction durable, moderne et à moindre coût.

I.3. Méthodologie.

Pour mener à bien cette étude, nous avons commencé par une recherche bibliographique sur les études antérieures en rapport avec cette technique, et à faire un bilan des acquis de la

recherche par rapport au sujet. Pendant la phase de terrain nous avons fait l'état de l'art des constructions en latérite en pays gourounsi en parcourant tour à tour les points suivants:

- Répertorier et diagnostiquer les différents ouvrages réalisés à partir du matériau sol à Kassena;
- Passer en revue le procédé traditionnel d'identification du matériau sol;
- Prise de connaissance avec la technique traditionnelle de construction ;

Analyses au laboratoire

Il s'agit de:

- Faire une identification des matériaux (analyse granulométrique, détermination de la teneur en eau et le test au bleu de méthylène des différents matériaux, classification des matériaux);
- Déterminer les caractéristiques hydrauliques et mécaniques des sols utilisés dans la construction;
- Déterminer le pourcentage de dosage des solutions obtenues par la décoction des gousses du parkia biglobosa;
- Faire des essais de compression sur les briques de terre stabilisée à l'aide des décoctions des gousses du parkia biglobosa pour déterminer sa résistance à la compression; (A 7, 14 et 28 jours);
- Faire des essais d'imbibition.

II. Description de l'habitat Kassena.

Il est aisé et passionnant de parler de l'architecture traditionnelle, car elle reflète l'identité culturelle et le patrimoine d'un groupe d'hommes. L'architecture est un jeu savant de formes et de lumière. L'habitat Kassena est très riche et est fait de formes orthogonales. Les maisons sont offensives et défensives, car les entrées sont très basses et cela empêche l'ennemi de pénétrer facilement dans la maison; et une fois qu'on y trouve refuge si l'ennemi insiste à pénétrer, il est facile de se défendre. L'habitat de Tiébélé, est fait de formes orthogonales représentant le plus souvent deux huit incrustés l'un dans l'autre. Cet habitat a donc une certaine particularité. Outre le fait que les formes sont agréables, on remarque que la décoration occupe une place très importante dans cet habitat. La concession gourounsi se compose de plusieurs cases rondes et rectangulaires groupées autour de petites cours privées et de grandes cours communes. La concession peut être petite et ne comporter que 3 ou 4

volumes et quelques murets, mais elle peut aussi former un véritable village (30 volumes) et couvrir 1 ou 2 hectares. Dans ce cas, elle comprendra en plus de petites cours privées, de grandes cours communes.

La concession comporte aussi un certain nombre de greniers cylindriques recouverts de toits

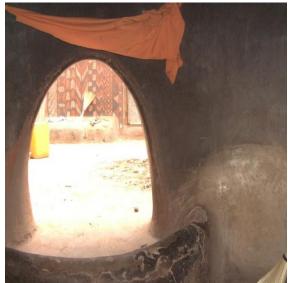


de chaume, de poulaillers, de porcherie et autres étables. Tous ces éléments sont reliés entre eux par des murs en forme d'arc de cercle, formant un ensemble compact. La concession reste un ensemble fermé sur l'extérieur dans lequel on ne pénètre généralement que par une seule entrée et parfois une seconde entrée est construite.

Photographie 1 : habitat du peule Tiébélé

Les murs, en tant qu'éléments d'une case et comme murs limitant toute la concession ou une cour "privée" à l'intérieur de la concession ne sont pas construits en principe d'une façon différente. Ils semblent cependant être adaptés d'une façon beaucoup plus libre à chaque situation particulière. Si un mur bas et large définit dans une cour des zones d'utilisation différentes, il sert aussi de banc ou table. Un peu plus haut, il entoure la cuisine: des renflements servent à ranger toutes sortes d'objets et aussi d'abris aux petits animaux. Des escaliers commodes permettent d'accéder à certaines terrasses. A hauteur convenable, une marche est prolongée le long d'une case pour servir de banc. Certaines cases de femmes ont une porte qui mesure à peine 80 cm de haut. En plus, du côté intérieur un mur en demi cercle d'un diamètre à peine supérieur à la largeur de la porte et presque haut que celle-ci, forme un véritable sas. On n'a donc pas besoin d'ouvrir ou de fermer la porte. Les regards sont arrêtés et aussi les courants d'air. Les ouvertures sont généralement des arcs façonnés. L'habitat des femmes tiébélé est une "case" plus ou moins ronde, à toit plat, constitué de deux ronds de diamètre différents qui s'imbriquent, formant une sorte de huit.





<u>Photo 2 et 3</u>: Entrée d'une maison Kassena vu de l'extérieur (gauche) et de l'intérieur (droite).

La case des hommes généralement rectangulaire est certainement due d'une part à l'influence de l'architecture soudano-sahélienne, véhiculé par l'islam et d'autre part à l'évolution de la technique du banco due à la brique d'adobe. Ces différentes cases sont ornées de motifs de couleur et très soignées. Les décorations sont exécutées par les femmes. L'accès aux terrasses (toit plat) se fait par un escalier en terre ou par un tronc d'arbre à deux (2) fourches sur lequel on a aménagé des marches. A hauteur convenable une marche de l'escalier de terre est prolongée le long du mur pour servir de banc. La terrasse est utilisée pour stocker les céréales et pour y dormir à la saison chaude. Tous les matériaux utilisés pour la construction se trouvent dans la nature. Certains matériaux nécessitent une longue préparation avant leur utilisation. Ainsi, les briques sont fabriquées à l'avance, de même que le bois sec.

Pratiquement tous les systèmes constructifs décrits jusqu'à présent se rencontrent chez les gourounsis ainsi que des combinaisons de leurs éléments. Ce sont des cases rectangulaires ou rondes, des cases rondes à toit de chaume, chose nouvelle, des cases rondes à toit plat, et comme nous l'avons dit des cases composées de deux ronds plus ou moins imbriqués.

III. Matériaux utilisés dans les constructions en pays Kassena.

Pour construire une maison, les industriels ont mis au point de nouveaux produits qui améliorent sensiblement le confort. Bien avant cette industrialisation, le peuple gourounsi utilise des matériaux traditionnels à l'instar de la latérite, de la terre crue avec quelques

améliorations donnant à leurs bâtis une performance indéniables. Pour leur construction, ils utilisent en fonction des tâches les matériaux suivant :

- **Pour les murs**: terre crue, eau, bouse de vache
- Pour le crépi: terre rouge, terre noire, bouse de vache, cendres, eau
- Pour le toit plat (terrasse) : bois de brousse, branches, branchages, terre crue, eau, bouse de vache, gousse de néré.

Il y a une grande variété d'essais qui peuvent être effectués sur la terre, mais en fait il n'y a qu'un nombre assez restreint d'essais qui permettent une interprétation directe de l'adéquation de la terre à la construction et qui sont dont utiles. On distingue des essais de terrain et des essais de laboratoires ; tous les deux servent à fournir les informations nécessaire à la décision concernant l'utilisation de la terre, mais les essais de terrain peuvent également donner une indication quant à la nécessité de passer par les essais de laboratoire qui sont évidemment plus sophistiqués, plus longs à exécuter et surtout beaucoup plus coûteux [11].

III.1.Identification des sols sur le terrain.

Une identification correcte est nécessaire à un contrôle sérieux des sols. Le manque de temps et d'équipement rend souvent les essais de classification détaillé impossibles dans la construction. La capacité d'identifier les sols sur le terrain par une simple inspection visuelle et un examen à la main est importante puisque des décisions vitales doivent souvent être basées sur des identifications sur le terrain. Même lorsqu'on dispose du temps et des appareillages pour les essais de laboratoire, un examen est fait sur le terrain lorsque l'échantillon est prélevé afin de décrire proprement le sol.

III.1.1. la terre rouge.

Pendant la phase de terrain, nous avons identifié par inspection visuelle trois types de terre rouges : toutes situées respectivement à 0,25m ; 0,7m et 3m de profondeur avec des aspects rouges et brunes (photographie 4, 5, 6) ci-dessous et photographie 22, 23, 24 en annexe 2. L'essai aux secousses qui consiste à identifier les sols à grains fins et l'essai de rupture [4], nous a permis de classer les sols rouges à 0,25m et 3m de profondeur parmi les limons légèrement plastique ou limon argileux suite à leur réactions lente face aux secousses et à la résistance à sec faible. Par contre la terre rouge à 0,7m avec son aspect dur est considérée ici comme de la latérite.

Étymologiquement, la latérite vient du latin *later*, qui signifie brique. C'est une roche rouge ou brune, qui se forme par altération des roches sous les climats tropicaux. Le sens large désigne l'ensemble des matériaux, meubles ou indurés, riches en hydroxydes de fer ou d'aluminium, constituant des sols, des horizons superficiels, des horizons profonds de profil d'altération. On trouve des latérites surtout en domaine intertropical. Elles recouvrent 33 % des continents [5]. La majeure partie du Burkina est dominée par des plateaux latéritiques (80%) parfois très cuirassés et de bas-fonds [6]. La latérite rouge (limons pas plastique) est utilisée dans les constructions gourounsi en phase de crépissage; par contre la latérite brune (limon argileux) est utilisée pendant la fabrication des briques et aussi pendant la phase de construction.



<u>Photographie 4 : Terre rouge</u> en dessous de *la terre noire* à 0,25m de profondeur



Photographie 5: terre rouge à 0,7m de profondeur



<u>Photographie 6:</u> *terre rouge* à 3m de profondeur

III.1.2. La terre crue (terre noire).

Avec les mêmes procédés d'identification sur le terrain que précédemment, la terre noire de surface (photographie7) ci-dessous et photographie 24 en annexe 2 a un aspect de limon inorganique typique d'une farine de roche ou d'un sable très fin. Ceci est dû à sa réaction rapide face aux secousses et à sa résistance à sec très faible lors des essais de rupture. Mais

parce qu'elle est utilisée par des villageois de Tiébélé, nous avons également pensé que c'est de la terre crue.



Photographie 7: terre noire)

Utilisée depuis la nuit des temps par les hommes, sous différentes techniques en matériau de construction, la terre crue apparaît dès les premières civilisations dans l'édification de monuments et de cités, encore présents et visibles de nos jours. En pisé, torchis ou adobe, pilée ou mélangée à d'autres produits, elle s'adapte à plusieurs types de construction et est encore très présente aujourd'hui (30 % des habitations dans le monde sont construites en terre) [1]. La raison en est simple, on la trouve partout et sa transformation en matériau de construction ne nécessite que peu d'énergie et respecte notre environnement [1].

Depuis plusieurs siècles, le peuple gourounsi est un fidèle utilisateur de la terre crue que l'on retrouve partout bien sûr dans tous les soixante-sept villages de Tiébélé, ainsi que dans tout le BURKINA-FASO voire dans toute l'Afrique tropicale. La terre crue constitue quasiment pour toutes les populations sédentaires du Burkina Faso même encore aujourd'hui, la matière de base pour élever les murs de leurs maisons d'habitation et bien d'autres éléments de leur cadre de vie. Elle est utilisée selon les procédés suivants :

La terre façonnée

La terre choisie suffisamment plastique est façonnée à la main pour dresser des murs minces. C'est une technique ancestrale dont l'usage est aujourd'hui peu courant. Elle sert entre autre à élever les murs de cases rituelles (conservation de fétiches), construction de greniers et de four pour potières.

La terre empilée

Des boules de terre sont empilées les unes sur les autres puis tassées à l'aide des mains ou des pieds pour constituer des murs épais.

La terre moulée ou adobe

La terre est moulée manuellement à l'aide de moules dont les formes sont diverses et cela donne autant de formes à la brique ainsi confectionnée. Cette brique séchée au soleil est plus communément connue sous le nom d'adobe. Ces briques sont moulées à partir d'une terre choisie malléable souvent additionnée de paille coupée, de balles de céréales, etc. Formées à l'origine à la main, elles sont de nos jours fabriquées encore à la main mais en utilisant des moules à formes prismatiques en bois. Ce procédé apparu plus récemment semble prendre le pas sur les plus anciens. Il est largement utilisé sur l'ensemble du territoire du Burkina-Faso.

Les blocs de terre comprimée

Cette technique consiste initialement à comprimer la terre choisie de bonne compressibilité dans un moule à l'aide d'un pilon.

Ce procédé est semble-t-il intervenu au Burkina sous sa forme mécanisée qui utilise des presses de toutes sortes. Cette technique est en voie de normalisation au Burkina Faso. Elle a été utilisée dans la construction de nombreuses cités dans les années 1984-1985 sous la révolution [1].

Le choix de la terre se fait donc par empirisme et grâce à une connaissance approfondie de l'environnement proche de la concession. En effet certaines particularités de la terre, tel son état hydrique suivant sa situation topographique, ou tout simplement sa texture si elle fait partie d'un champ de case, sont prises en compte. N'excluons pas les critères occultes car on n'installait pas un site d'extraction de terre à un endroit sacré ou à un endroit jugé inapproprié par des consultations. Les sites de prélèvement sont généralement choisis à proximité du chantier de construction. Ceux qui ont fait leur preuve sont fortement sollicités à telle enseigne que la tranchée ouverte est appelée la mare à banco (*tend loongo* en mooré).

III.1.3. La terre de couleur grise pulvérulente (terre collante).

Comme la terre crue décrit précédemment, la terre collante (photographie8) rencontrée à tiébélé est un sol superficiel présentant plusieurs caractéristiques: L'aspect visuel et l'aspect au touché de ce sol révèlent qu'il est fait de grains dont le diamètre est inférieur à 0,05mm; il manque de plasticité et n'on que peu ou pas de résistance à sec alors se pourrait être du limon.



Photographie 8 : La terre de couleur grise

III.1.4. La bouse de vache.

La bouse de vache est très utilisée dans les constructions chez les gourounsis, et elle satisfait à tous les canons de l'écologie. Ce déchet, qu'on pourrait rejeter, est en fait très respecté et recherché. De nos jours, elle est devenue trop rare raison pour laquelle de nombreux crépissages Kassena sont désormais faits d'une terre collante de couleur grise mélangé à du goudron et au jus de Néré. Il y a même quelque chose de sacré là dedans. Les gens la touchent



Photographie 9 : bouse de vache

sans hésitation. Ils en enduisent les murs de leurs maisons pour chasser, le croirait-on, les mouches.

« Asseyez-vous donc sur un sol en terre battue qu'une couche tout juste sèche de bouse de vache recouvre ; c'est frais, c'est propre! » Propos de mon guide Hubert! Qu'est-ce qui a bien pu pousser une première personne à utiliser de façon aussi imaginative ce déchet?

III.1.5. Le goudron.

Le **goudron** est un dérivé de la houille de couleur noire. Sous-produit de la distillation de la houille lors de la fabrication du coke, il est très visqueux, voire solide (brai de goudron). Dans le langage courant, on le confond souvent avec le bitume d'origine pétrolière. Le goudron a longtemps été employé pour ses propriétés d'imperméabilité et pour ses propriétés de **liant**, c'est-à-dire comme une forme de mortier, conférant de la cohésion dans le revêtement des chaussées, pour les joints de toiture, et pour le calfatage des coques de navire, etc.

De nos jours, le goudron n'est plus employé couramment en technique routière à cause de la présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques cancérigènes. Par contre le peuple

gourounsi l'utilise dans les constructions comme liant dans le mortier de crépissage. Son utilisation en pays gourounsi dans les constructions suscite de ce fait des interrogations.

III.1.6.Le néré.

Origine

LE NÉRÉ est un arbre Africain de la famille des Mimosaceas [10]. Arbre nourricier, il pousse dans les zones de savane et du Sahel. Ses fruits apparaissent au bout de 6 ans. Ce sont de longues gousses d'environ vingt cm, suspendues en grappes et contenant de nombreuses graines noires enrobées de pulpe jaune très sucrée et acidulée. Celle-ci est très appréciée des enfants, mais aussi des adultes, qui la consomment telle quelle ou délayée dans de l'eau.

Usage

De ces gousses, est extrait un condiment à l'odeur très forte qui se présente sous forme de boule de pâte. Il est utilisé dans presque toute l'Afrique de l'Ouest pour son intérêt aromatique et nutritionnel. Les gousses de Néré bouillies produit une décoction utilisée par les femmes Kassena pour assurer l'étanchéité et l'embellissement des murs des constructions.



<u>Photographie</u> 10 : coques de Néré prêt pour la préparation



Photographie11 : Arbre de Néré.

IV. Les étapes de construction en pays gourounsi.

Comme toute construction, les maisons Kassena se font en des étapes successives :

IV.1. Le maçonnage.

Les maisons authentiques sont construites par les familles de bâtisseurs. Les bâtisseurs utilisent des mottes de terre (terre + eau) bien pétrit pour construire. Ils les superposent en couches jusqu'à un certain niveau (30 – 40 cm), ensuite ils les laissent sécher pendant 3 jours avant d'ajouter d'autres couches. Il fera ainsi pour atteindre la hauteur normale désirée. Donc, la construction se fait étape par étape avec des couches superposées. C'est la technique de colombinage [2]. Après, on fait la charpente en bois, on met de la terre pétrie au dessus et on fait la terrasse avec des trous d'aération et des endroits permettant aux eaux de pluie de s'écouler facilement.





<u>Photographie12</u>: Motte de terre pétri <u>photographie13</u>: mottes de terre superposées

IV.2. Les finitions.

Quand les hommes achèvent la construction, la finition revient aux femmes notamment les décorations et les couleurs. Cette partie comprend trois étapes :

- La 1^{re} étape c'est le crépissage, exécuté par les femmes. Il demande des déchets végétaux, de la bouse de vache, et une *terre collante*.
- La 2^e étape est l'application de la latérite rouge pour obtenir la couleur rouge ocre et du kaolin pour obtenir la couleur blanchâtre. Elles les écrasent pour obtenir une poudre fine qu'elles mélangent avec l'eau pour réaliser les couleurs grâce aux pierres polies. Les teintes noires (dessins) du mur sont faites à base de pierres volcaniques, qu'elles écrasent et mélangent avec une plante gluante (plante pilée et mélangée à de l'eau). Avec des plumes comme pinceaux, elles font des dessins à main levée.
- La 3^e étape est la fixation des couleurs. On fait bouillir la coque (peau) du néré pour obtenir une solution. Avec cette décoction, on arrose le mur avec des balais, cela fixe

les couleurs et permet à l'eau de pluie de s'écouler facilement sans trop de dommages pour le mur. C'est ce dernier aspect qui nous intéresse!

Le damage des sols est aussi le travail des femmes. Elles utilisent de la latérite, *une terre collante* et de l'eau, et avec des dames en bois, elles font le damage ; en suite elle traite ce sol damé par des décoctions de néré à chaux pour assurer leur étanchéité.



<u>Photographie 14:</u> Étapes de finition d'une maison Kassena.(http://tiezbreiz.org/images/Stages/enduits_te rre/enduits_terre.html).



<u>Photographie 15</u>: badigeonnage du mur par le jus de Néré.

IV.3. Les pathologies et entretien périodique.

Les pathologies rencontrées sont inhérentes à la solubilité à l'eau de la terre crue nue. L'entretien de l'enduit extérieur est essentiel. Lorsqu'il se désagrège, la maçonnerie de terre crue subit directement l'attaque des eaux pluviales, d'où la désagrégation des joints puis des briques ou motte de terre elles -mêmes.





Photographie 16 et 17: Exemples de pathologies sur les constructions de Tiébélé

À Tiébélé, les pathologies que l'on remarque dans les maisons sont fréquemment dues à l'humidité : désagrégation du matériel de revêtement et perte d'épaisseur à la base du mur dues à l'action conjointe et érosive de l'humidité capillaire et aux efflorescences de sels

(pathologie privilégiée par l'absence de socle et le contact direct de la maçonnerie avec le terrain) ; décollage de l'enduit et dissolution de la terre qui constituait les murs dû à l'action conjointe de la pluie, du vent, et de l'humidité par infiltration ; usure, et parfois la déformation des maçonneries en hauteur, dû à l'action conjointe et érosive du vent et de l'eau. Chaque année, après la saison des pluies, elles font l'entretien des maisons. S'il y a une fissure sur le mur, elles grattent et elles accommodent. Les femmes refont les décorations des maisons, les couleurs et la fixation par le même procédé. On peut refaire le revêtement du mur chaque 7-8 ans. La charpente est changée tous les 20-25 ans. L'une des préoccupations majeures c'est la conservation des symboles et la transmission du savoir-faire local. Une association dénommée Association « Djowolim » pour le Développement (ADD) est née dans ce sens pour valoriser la culture Kassena. Elle œuvre aussi pour le développement de Tiébélé.

V. Les essais au laboratoire.

Les sols naturels sont constitués par un mélange de particules élémentaires de différentes dimensions et par suite de propriétés différentes. D'une manière générale, les propriétés d'un sol dépendront de la proportion de fines particules par rapport à la quantité des plus grosses. Pour étudier les propriétés mécaniques des sols, il est donc nécessaire d'en connaître la nature et de les classer. Pour ce faire, on se référera aux classifications mises au point (classification française et/ou Américaine) qui reposent sur deux essais principaux d'identification à savoir: l'analyse granulométrique et la détermination des limites d'Atterberg par le diagramme de Casagrande. La norme NFP 94-051 ; la norme NFP 18-560, NFP 18-540 (fiche aide mémoire du laboratoire de génie-civil du 2iE).pour identifier de manière approfondit les différents sols précédemment présentés.

V.1. Les essais d'identification.

À la différence des autres matériaux du génie civil et du bâtiment en particulier, les sols et les roches préexistent sur le site des travaux et la première phase de toute construction consiste à définir la nature et l'état de ces terrains. En d'autres termes, l'identification correcte est un pas essentiel dans le processus de décision concernant le choix d'une technologie de transformation de la terre en matériau de construction. C'est ainsi que à Tiébélé les techniques utilisées pour caractériser les sols d'un site de construction sont visuelles et empiriques. Autrement dit le choix des matériaux et des lieux de construction du peuple Kassena reste et demeure de l'habitude. Dans le cadre de ce mémoire nous allons utiliser les techniques scientifiques de caractérisation des sols dans le laboratoire de génie-civil (2iE de Kamboinsé) afin d'avoir une idée concrète des types de sols utilisés pas les gourounsis dans leur construction. Pour cette phase d'identification scientifique, les échantillons de sols prélevés

dans les différentes carrières qui sont en même temps les lieux de construction peuvent être décrits de plusieurs façons complémentaires :

V.1.1. Analyse granulométrique et sédimentométrique.

Cet essai consiste à déterminer la répartition en poids des grains du sol suivant leur dimension. Pour les particules de dimensions supérieures à 80 μ m, la séparation se fait par tamisage. Pour les fines ($< 80 \mu$ m), on doit pratiquer l'essai de sédimentométrie.

V.1.1.1.Analyse granulométrique par tamisage.

Elle peut se faire à sec ou sous l'eau à l'aide de tamis ou de passoires en progression géométrique à raison de $\sqrt[10]{10}$. Dans le cadre du présent mémoire, nous avons procédé à l'analyse granulométrique sous l'eau. Les résultats de l'analyse sont reportés sur un diagramme semi-logarithmique où l'on porte les diamètres des particules en abscisse (graduation log) et les pourcentages en poids de tamisât cumulés en ordonnée. Sur la courbe on appellera D_x le diamètre pour lequel le tamisât cumulé est de x %. A l'aide de cette courbe on détermine ainsi pour chaque diamètre D_x la quantité de particules inférieures en dimension à D_x .

échantillons Description sommaire $%<80 \mu m$ classification N°1 Terre noire de surface 50.2% Sols fins N°2 Terre grise de surface 44.6% Sols grenus N°3 Terre rouge à 0,25m de profondeur 55.3% Sols fins Terre rouge à 0,7 m de profondeur N°4 43.7% Sols grenus N°5 Terre rouge à 3m de profondeur 77.4% Sols fins

Tableau 1 : analyse granulométrique par tamisage.

Le tableau ci-dessus représente les valeurs de l'analyse granulométrique par tamisage. Suivant la classification Américaine (USCS), nous pouvons dire que les sols numéro 1, 3,5 sont des sols fins avec leur pourcentage de particules de diamètre inférieurs à $80 \, \mu m$ supérieurs 50%. Par contre les sols numéro 2 et 4 sont des sols plus ou moins grenus avec un pourcentage d'éléments de diamètres inférieurs à $80 \, \mu m$ en dessous de 50%.

V.1.1.2. Analyse granulométrique par sédimentométrie.

Cet essai est basé sur la loi de Stockes qui donne la vitesse limite V d'une particule de poids spécifique γ_s tombant sous l'action de la pesanteur, dans un liquide visqueux comme l'eau de poids spécifique γ_w . En réalité cet essai se fait en dispersant les particules de sol dans l'eau par agitation. On laisse décanter, et on mesure la densité de la solution à différents niveaux et

en fonction du temps. En établissant une relation entre le diamètre des particules et le temps d'une part, la densité et le pourcentage de particules d'autre part, on peut ainsi tracer la courbe sédimentométrique qui complète la courbe granulométrique. Les courbes ci-dessous tracées sont des courbes sédimentométrique des différents sols précédemment définis.

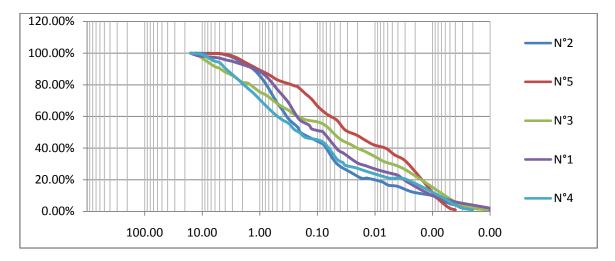


Figure 3: courbes granulométriques des différents sols de Tiébélé.

Suivant la forme des courbes granulométriques, et suivant la norme USCS (unified soils classification system), nous pouvons conclure que tous les échantillons prélevés à Tiébélé sont d'une distribution dimensionnelle continue. En fait il n'y a pas d'interruption granulométrique. Tous les diamètres de particules sont représentés.

Nous avons tour à tour déterminé les caractéristiques des sols par le coefficient d'uniformité et le coefficient de courbure dont les valeurs pour les différents sols décrit précédemment sont représentées dans le tableau ci-dessous :

<u>Tableau 2</u> : valeurs du coefficient d'uniformité et de courbure.

Type d'échantillon /coefficient de Hazen et de courbure	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$
N°1 : Terre crue de surface	240	1.6
N°2 : Terre collante en surface	35	7.14
N°3 : Terre rouge à 25cm de profondeur	333	0.2
N°4 : Terre rouge à 0,70m de profondeur	714	2.57
N°5 : Terre rouge à 3m de profondeur	66	0.115

Les résultats du tableau ci-dessus présentent les valeurs du coefficient d'uniformité et de courbure des différents échantillons de terre prélevés à Tiébélé. À la lecture de ces résultats, nous pouvons dire que toutes ces terres sont d'une granulométrie étalée car les valeurs de **Cu** sont toutes supérieures à deux. En se reportant aux valeurs de Cu, plus une valeur est supérieur à deux, plus sa granulométrie est étalée ; Alors les sols N°2, N°5, N°1, N°3, et N°4 sont respectivement plus étalés les uns par rapport aux autres.

V.1.2. Détermination du poids spécifique γ_s .

Le poids spécifique, parfois appelé "densité relative" ou "masse volumique", est le rapport du poids d'un corps à celui d'un égal volume d'eau. Pour un corps de poids spécifique X, cela signifie qu'il pèse X fois plus que le même volume d'eau (la densité de l'eau étant de 1.0).

Il existe plusieurs méthodes de détermination du poids spécifique d'un matériau. Dans le cadre de cette étude nous avons utilisé la méthode au pycnomètre à air (Photographie 18); on a ainsi pour les différents sols de Tiébélé précédemment décrits les résultats consignés dans le tableau 3 ci- dessous.



N°échantillon	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
(le cas échéant)					
γς	30.06	29.60	28.97	27.54	27.44
(KN/m3)					

<u>Tableau 3</u>: poids spécifiques des différents sols de Tiébélé

Photographie 18: pycnomètre à air.

V.1.3.Limites d'Atterberg.

Les limites d'Atterberg sont déterminées selon la norme française (norme NF P 94-051) et par la méthode à la coupelle avec l'appareil de Casagrande ; elle à pour but de déterminer la teneur en eau des différents sols prélevés à Tiébélé à leur passage de l'état liquide à l'état plastique.

Cet essai se pratique sur la fraction de sol dont les particules ont une dimension inférieure à 0,42 mm. Si à un échantillon de sol préalablement desséché et pulvérisé, on fait croître la teneur en eau de façon homogène par malaxage, il passe progressivement de l'état solide, à

l'état plastique puis à l'état liquide. Par définition, la teneur en eau W d'un sol est le rapport entre le poids d'eau W_w et le poids de sol sec W_s . Elle est exprimée en pourcentage. En 1905, Atterberg a défini des teneurs en eau fixant les limites entre les 3 états [12].

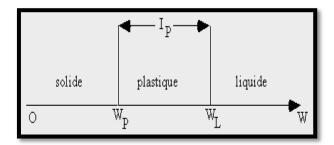


Figure 4 : Limites d'Atterberg.

Ces limites ne représentent pas un état physique précis. Elles ont un caractère conventionnel et sont définies à partir d'essais normalisés.

V.1.3.1. Limite de liquidité W_L.

Le mortier est placé dans une coupelle et est séparé en 2 parties par une rainure. Des coups secs sont imprimés à la coupelle avec un appareillage spécial. Par définition, la limite de liquidité est la teneur en eau pour laquelle les deux lèvres de la saignée se rejoignent sur une longueur supérieure à 1 cm pour un nombre de coups donnés à la coupelle égale à 25. (Norme NF P 94-051 et la fiche aide mémoire du laboratoire de génie-civil 2iE).

V.1.3.2.Limite de plasticité W_P.

C'est la teneur en eau au-dessous de laquelle il n'est plus possible de confectionner des boudins de sol de 3 mm de Ø sans qu'ils ne se rompent ou ne s'émiettent.

V.1.3.3. L'indice de plasticité I_{P.}

Il donne l'étendue du domaine plastique $I_P = W_L - W_P$. La plasticité d'un sol (c'est-à-dire sa faculté de devenir très déformable en absorbant de l'eau) est appréciée par le couple (W_{L}, I_P) qui dépendent de la nature des minéraux argileux contenus dans le sol et de leur quantité. C'est ainsi que Casagrande a défini un diagramme dit "Abaque de plasticité de Casagrande" qui permet de classer les sols fins. En suivant les étapes ci-dessus cités avec les sols de tiébélé précédemment décrit, nous avons les résultats suivants :

Le tableau 4 : limites d'Atterberg des différents sols de Tiébélé :

Numéro de	Limite de liquidité	Limite de plasticité	Indice de plasticité
l'échantillon	$ W_l $	W_p	$I_P = W_l - W_p$
N°1	42%	00%	0,00%
N°2	42%	00%	0,00%
N°3	42%	21%	21%
N°4	42%	23%	10%
N°5	42%	8%	34%

Il ressort de cette analyse que tous les sols utilisés dans les constructions à Tiébélé ont une même valeur de limite de liquidité (42%); et ne sont différents que par leur limite de plasticité et leur indice de plasticité. Les terres de surface (terre noire, et terre grise pulvérulente) ont une limite de plasticité nulle par conséquent elles ne contiennent pas de matériaux collantes à l'instar des argiles. Ces matériaux doivent alors être très sensibles à l'eau. On peut également commencer à penser que c'est l'une des propriété qui amène les villageois à procéder au mélange de la terre crue de surface avec celle située juste en dessous surtout que cette dernière contient un peu de l'argile confirmé par son indice de plasticité qui est de 21%.

À la lecture du diagramme de Casagrande ci-dessous, on a :

Des sols limoneux pas plastiques (Latérite plus ou moins indurée à 0,7m de profondeur) avec une limite de liquidité de 42% et un indice de plasticité de l'ordre de 10%. Point A sur la figure5;

Des sols limoneux très peu plastiques (terre crue de surface de couleur noire, terre de couleur grise) avec une même valeur de limite de liquidité (42%) et la même valeur de l'indice de liquidité (0,00%). (Point D et E) sur la figure5.

Des sols argileux très peu plastiques (Latérite plus ou moins meuble entre 25cm et 30cm de profondeur (N°3), latérite meuble à 3m de profondeur (N°5)). Avec respectivement 21% et 33% d'indice de plasticité et 42% de limite de liquidité. Point B et point C sur la figure5.

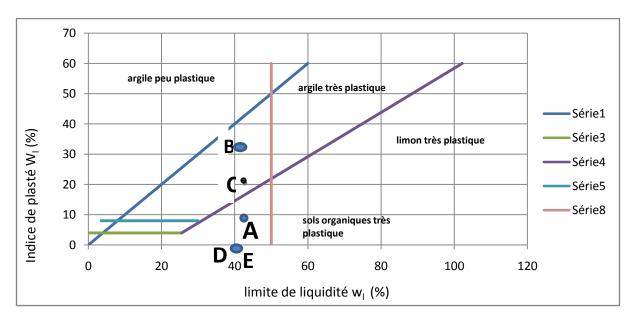
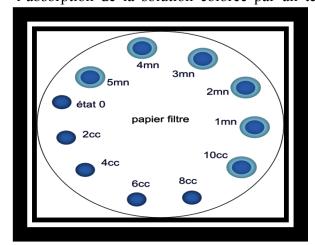


Figure 5 : diagramme de Casagrande

V.1.4.Les essais au bleu de méthylène.

La mesure de la surface spécifique des particules présentes dans un sol offre une caractérisation sélective de la teneur en argile de ce sol, puisque cette surface spécifique varie de façon très importante avec la nature des particules.

L'essai au bleu de méthylène permet de le faire dans des conditions simples et rapides, en utilisant la propriété de la molécule du bleu de méthylène de s'adsorber sur la surface des particules minérales. L'essai est effectué en ajoutant successivement des doses d'une solution de bleu de méthylène dans une suspension aqueuse de matériau et par vérification de l'absorption de la solution colorée par un test à la tâche sur papier filtre pour déceler la



présence de colorant libre. Le bleu de méthylène a la propriété d'être absorbé préférentiellement par les argiles et les matières organiques. Une masse connue de fines est dispersée dans l'eau distillée à laquelle on ajoute des doses croissantes de bleu de méthylène.

Figure 6 : vue du papier filtre et des tâches auréolée

Tant que le bleu de méthylène est absorbé, il ne colore pas l'eau. On le vérifie en déposant une goutte sur un papier buvard: le centre de la tache est bleu vif (argile ayant absorbé le bleu) et l'auréole de la tache reste incolore. A partir d'une certaine dose de bleu, l'auréole se colore aussi: c'est le signe que toute l'argile a épuisé sa capacité d'absorption.

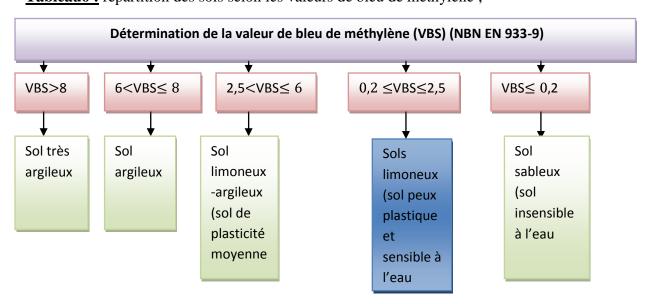
La quantité de bleu consommée est donc une indication de la quantité d'argile. La valeur de bleu s'exprime par la quantité de bleu en grammes consommée par 100 grammes de fines. C'est ainsi que pour les différents sols de Tiébélé nous avons les résultats du tableau5 cidessous :

Tableau 5: Valeurs de bleu de méthylène des sols de Tiébélé

Numéro de l'échantillon /VBS	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
Valeurs au bleu de méthylène(VBS)	0,7	1,3	1,1	0,5	1,8

La *terre crue* de surface (N°1) et la *terre rouge dure* à 0,7m de profondeur (N°4) ont une valeur au bleu de méthylène très proche l'une de l'autre et ces valeurs sont comprises entre 0,2 et 2,5 ; par conséquent elles contiennent presque les mêmes quantités de particules fines (argiles). Il en est de même pour la terre grise pulvérulente de surface (N°2), la terre rouge à 0,25m de profondeur (N°3) et la terre rouge à 3m de profondeur (N°5) qui ont des valeurs au bleu de méthylène (VBS) sensiblement proche.

Tableau6: répartition des sols selon les valeurs de bleu de méthylène;



Les différentes valeurs au bleu de méthylène dans le tableau5 étant comprises entre 0,2 et 2,5 ; et en se référant aux répartitions ci-dessus relatif à la classification française (norme NF P 94-068), nous pouvons conclure que les sols de Tiébélé sont des sols limoneux (sol peux plastique et sensible à l'eau).

VI. Mélanges et traitements sur les matériaux locaux.

Dans le but d'améliorer la résistance des matériaux locaux utilisés dans les constructions, plusieurs traitements ont vu le jour. Il s'agit par exemple des traitements des latérites par le ciment, par de la chaux, par des fibres cellulosiques etc. Ces techniques d'amélioration de la résistance des matériaux locaux font appel à la technique de mélange afin d'homogénéiser et de bien répartir le traitement dans l'ensemble du matériau. Dans le même ordre d'idée nous allons procéder au traitement du sol utilisé par le peuple gourounsi par la décoction du néré. Cette idée vient du constat selon lequel les villageois de Tiébélé utilisent cette décoction pour fixer les couleurs des décorations faites sur les murs et pour assurer l'étanchéité de ces derniers ainsi que les terrasses de leur maison.

Ce traitement a l'avantage d'être sains et naturels. Il ne demande pas une importante source énergétique pour sa production. C'est également un produit à valoriser dans le domaine du génie-civil si on vient à avoir des meilleurs résultats après traitement.

VII. Matériaux et méthodes de l'étude.

La terre crue de surface (N°1), la latérite située directement en dessous (N°2) et les gousses de néré sont les principaux matériaux utilisés dans le cadre de ce travail. Ce choix est fait suivant celui des villageois qui est un choix empirique. Les villageois pour obtenir les décoctions de Néré procèdent comme suit : Dans un premier temps ils collectent soit par ramassage ou par cueillette des gousses de néré dans les champs. Les gousses sont ensuite débarrassées de leurs contenus décrits précédemment. Enfin la coque est séchée puis bouillie à une concentration empirique qui peut être évaluée à 100 grammes par litre. Dans le cadre de ce travail nous procéderons différemment afin de déterminer la concentration optimale donnant la meilleure étanchéité et la meilleure résistance aux BTC. Pour cela, nous avons décidé de faire des préparations à des concentrations de 0,00 ; 20 ; 40 ; 60 et 80 grammes de Néré par litre d'eau.

Ces différentes concentrations sont par la suite utilisées relativement à la quantité de l'optimum Proctor normal ; qui est de 10%. Soit 300g d'eau dosé à des pourcentages de Néré précédemment cité. On procèdera ainsi pour comprimer des cylindres de terre (photographie 16) par stimulation aux briques de terre comprimées. Ces dernières doivent être utilisées pour des essais de compressions à 7 ; 14 ; 28 jours.

Le compactage vise à densifier la terre. Le taux d'humidité de la terre au moment du compactage est primordial. Il existe une teneur en eau de compactage optimale qui après

séchage produit la meilleure densité. Si on compacte à une mauvaise teneur en eau, la densité sèche finale peut être fortement amoindrie :

Trop d'eau empêche le compactage (absorption d'énergie par mise en pression des molécules d'eau) ;

Pas assez d'eau génère des frottements entre les grains, ce qui absorbe l'énergie du compactage.





Photographie 19: mélange de terre prête à être compactée Photographie 20: cylindres de terre compactée

VIII. Les essais de résistance à la compression.

Il permet de déterminer les capacités mécaniques des matériaux de construction. Les résultats obtenus permettent d'affecter les matériaux (BTC) dans une partie précise du bâtiment. Autrement dit, ils permettent de décider d'utiliser les BTC pour des murs porteurs, ou comme briques de remplissage...

Dans le cadre de ce travail, la caractéristique prépondérante recherchée est la résistance à la compression car les BTC travaillent essentiellement en compression. Il se fera sur les cylindres de briques dosés à 20%, 40%, 60% de Néré bien évidement sur des blocs sans Néré comme témoins afin d'apprécier l'influence des traitements appliqués.

La résistance à la compression est déterminée par la charge nécessaire pour provoquer la rupture de l'éprouvette soumise à une charge de compression uniformément répartie sur une face du cylindre. Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé la Presse de traction – Compression (photographie 26) en annexe2 pour la détermination de la force de rupture des blocs comprimés.

La contrainte de rupture $\sigma = \frac{F}{S}$ avec :

 ${f F}=$ force de rupture en KN ; ${f S}=$ surface d'application de l'effort en mm² (S=RxRx3, 14) ; ${f \sigma}=$ contrainte de rupture en MPa.

La contrainte σ retenue est la moyenne des contraintes obtenues sur les deux échantillons d'essais : $\sigma_m = \sigma_1 + \sigma_2/2$.Pour tous les essais, l'écart-type E et la dispersion RDS sont calculés ainsi qu'il suit :

Écart-type:

$$E = \left[\left(\Sigma \sigma^2 - n \times \sigma^2_m \right) / n \right] 1/2.$$

Dispersion:

$$RDS = (100 \times E) / \sigma_m$$
.

À la lecture des résultats des essais réalisés au laboratoire de génie-civil de l'Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE) et consignés dans le tableau cidessous, les blocs de terre comprimés (BTC) voient apparaître ses premières fissures autour de 0,72Mpa (sans stabilisant) à 1,17MPa (blocs stabilisés au néré à 60%) à 7 jours de cure à l'air ; de 0,78Mpa (sans Néré) à 1,17Mpa (blocs stabilisés au Néré à 60%) et de 1,17Mpa (sans stabilisant) à 1,76Mpa (blocs stabilisés au Néré). Une toiture à charge bien répartie peut être reprise sans problème par un mur BTC maçonné en mortier de terre. C'est surtout en flexion que le matériau possède ses limites. Il conviendra de proscrire tout risque de flexion dans le mur en:

- Évitant les charges ponctuelles poutre maitresse de toiture s'appuyant ponctuellement ;
- Adoptant des épaisseurs minimal des murs requises pour éviter les risques de flambement;
- Réalisant des fondations solides pour éviter les risques de tassement différentiels.

Tableau 6 : résultats essais de compression.

Durées /teneur en	0,00 gramme de	20 gramme de	40 gramme de	60 gramme de
néré	néré dans un	néré dans un	néré dans un	néré dans un
	litre d'eau	litre d'eau	litre d'eau	litre d'eau
Résistance à la compression à 7 jours	$0,72M_{Pa}$	$0,83M_{Pa}$	0,91 <i>M_{Pa}</i>	1,09 <i>M_{Pa}</i>
Résistance à la compression à 14 jours	0,78M _{Pa}	1,05 <i>M_{Pa}</i>	1,13 <i>M_{Pa}</i>	1,17 <i>M_{Pa}</i>
Résistance à la compression à 28 jours	0,91 <i>M_{Pa}</i>	1,32 <i>M_{Pa}</i>	1,44M _{Pa}	1,76M _{Pa}

Les résultats des essais de compression ci-dessus montrent que la résistance des BTC à la compression augmente avec les pourcentages croissants de néré. Cette augmentation est linéaire c'est ainsi que nous avons respectivement des équations de forme f(x)=0.006x+0.709; f(x)=0.006x+0.845; et f(x)=1.155x+1.236 pour des essais à 7jours, à 14 jours et à 28 jours voir courbe en annexe2. Alors il revient à chaque promoteur de décidé de la valeur de résistance qui lui est propre à fin de doser son mélange mais en respectant les règles de l'art. Certes dans certaines carrières de presse de BTC on obtient des valeurs de compression de 5Mpa supérieur à la pression des parpaings qui est de 4Mpa. Il sera aussi question de la destination de la brique. Autrement dit des briques qui serviront pour des murs de remplissage peuvent être d'une résistance moindre que celles qui seront utilisées pour des murs porteurs.

La BTC nécessite une terre suffisamment argileuse (20 à 30%). Toutes les argiles ne se comportant pas de la même façon (réactivité, résistance mécanique, ...) la qualité de la brique est à étudier au cas par cas en effectuant des tests en laboratoire. Toutefois, la plupart des terres sont aptes à être compressées, la qualité des briques dépendra de la qualité de la terre. Le test le plus simple est d'observer autour de soi pour voir s'il y a des constructions traditionnelles en terre crue. S'il y en a, c'est que la terre est bonne à être compressée.

IX. Essais d'imbibition.

Les murs de fondation d'une maison se trouvent très souvent en contact avec de l'eau (terrains humides, source ou sur une nappe phréatique). L'humidité pénètre dans le mur et remonte à l'intérieur de celui-ci par des effets de capillarité. Le fait de planter de la végétation devant un mur peut priver celui-ci d'ensoleillement et favoriser les remontées d'eau. Les traces d'humidité peuvent apparaître et disparaître dans le temps. Ce phénomène s'explique par les

variations de hauteur des nappes d'eau souterraines. L'humidité provenant du sol n'atteint pas uniquement les murs mais également les dallages qui se trouvent en contact avec le sol. Les inondations immergent également les murs de nos constructions et ces derniers sous l'effet des remontées capillaires peuvent s'effondrer. Ce phénomène est plus marqué dans les constructions en terre. Pour pallier ce problème des constructeurs peuvent, soit empêcher l'eau d'atteindre les fondations et les murs enterrés, soit empêcher l'eau de remonter dans la maçonnerie par la création d'une barrière étanche ; par des injections des produits hydrofuges ou par l'électro-osmose et l'électrophorèse. Ces différents traitements demandent une certaine maîtrise et un savoir-faire considérable. Dans cette partie de notre étude nous proposons une protection particulière qui nécessairement peu être à la porté de tous constructeurs en BTC. Il s'agira de badigeonner les murs des constructions en BTC par du jus de néré à chaud. Cette proposition découle des résultats d'immersion faite sur les cylindres de terre comprimée par stimulation au BTC. En fait pour cet essai, nous avons utilisé les blocs cylindriques précédemment fabriqués que nous avons immergés dans dix litre d'eau. Après chaque une minute ils sont extraits de l'eau et pesé pour déterminer la différence de poids ; pour un début le poids augmente lorsqu'il commence à baisser c'est le début de la détérioration et la fin de l'essai.

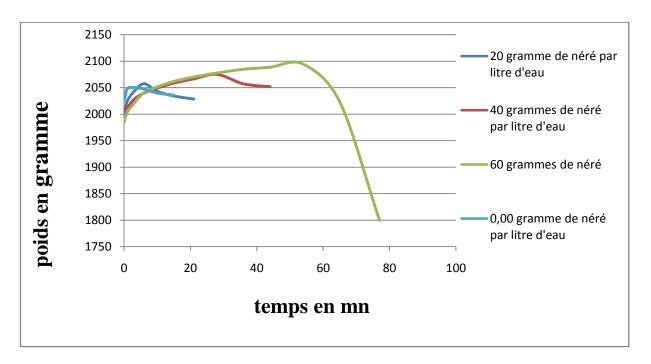


Figure 7 : courbe d'absorption d'eau par les briques badigeonnées au néré en fonction du temps.

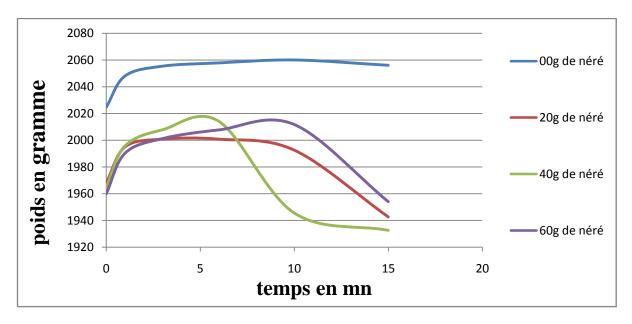


Figure 8 : courbe d'absorption d'eau par les briques stabilisées au néré en fonction du temps.

Les résultats des tests d'immersion réalisés sur des briques à teneur en néré variable après 28 jours de cure à l'air et badigeonnées avec du jus de Néré à chaud sont consignés dans le tableau 18 et 19 en annexe 1. Chaque résultat de ce tableau est la moyenne des résultats de deux essais cohérents. Par ailleurs on constate sur les courbes de la (figure 7) que temps d'absorption d'eau par les briques badigeonnées avec du jus de Néré dosé à 0,00 ; 20,00 ; 40,00 ; 60,00 grammes par lite sont respectivement inférieures les unes des autres.

Les briques sans Néré atteignent la saturation en eau plus rapidement que les autres. Cependant, la vitesse d'absorption d'eau varie en fonction du pourcentage de décoction de néré. C'est ainsi que nous pouvons constater sur la fugure7 que les briques atteignent leur optimum de saturation à la troisième minute pour les blocs non traités; à la dixième minute pour les blocs traités à 20 grammes de Néré par litre d'eau, à la trente-huitième pour les blocs traités à 40 grammes de néré et à la quarante-septième minute pour les blocs traités à 60 grammes de Néré. Autrement dit les briques badigeonnées avec 0,00; 20,00; 40,00; 60,00 grammes de néré par litre d'eau commencent à se dégrader et à perdre leur particule (baisse de poids) respectivement à partir de la dixième minute, trente-huitième, quarante-septième minute. Alors plus la brique est badigeonnée avec de concentrations progressives de Néré, moins elle absorbe de l'eau et moins elle se désagrège.







<u>Photographie 21 :</u> états de dégradation des briques avant et après immersion vue de profil et vue de dessous de la gauche vers la droite

Le BTC étant pressée, la matière devient très dense ce qui va empêcher la diffusion de l'eau liquide vers le cœur du matériau. En cas de pluie, seule une couche superficielle de la brique va s'humidifier, et les qualités mécaniques de celle-ci ne seront pas altérées [5], Il faut bien sûr éviter de les soumettre à une exposition directe, en prévoyant un toit à débordement sur les façades les plus exposées, et en isolant de l'humidité du sol.

X. Étude théorique du confort thermique dans les habitats en pays gourounsi.

Le confort thermique peut être défini comme une sensation complexe produite par un système de facteurs physiques, psychologiques, physiologiques, conduisant l'individu à exprimer son bien-être. Sa sensation dans ce cas est neutre (aucune sensation de chaleur ni de froid). Les blocs BTC jouent un rôle important au niveau de l'hygrométrie (humidité de l'air ou vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant). Ce matériau naturel a en effet la particularité d'absorber le surplus d'humidité contenu dans l'air ambiant et cela, particulièrement en zone maritime et lagunaire. Le bloc BTC restitue cette humidité pendant les phases sèches. Grâce à l'inertie, pas besoin de climatisation, donc pas de dessèchement des muqueuses ou de « mise en dépression » de la maison avec entrées de poussières. De même, leur bonne performance acoustique évite hypertension, fatigue et troubles du sommeil. Enfin comme toute construction en terre crue, les BTC protègent des champs électromagnétiques. La BTC absorbe ces nuisances à la place de notre corps et garantit un environnement de vie, de travail, plus sain. [7].

Suite aux études menées pendant la phase de terrain, il ressort que les constructions Kassena faite en terre comparativement à celles faites en parpaings de ciment offrent plus de confort thermique. Les performances thermiques des constructions en terre crue sont jugées bonnes à très bonnes dans l'ensemble à tiébélé. Cette confirmation pourra s'appuyer par des tests de

conductivité thermique dans un laboratoire ; ceci faisant l'objet d'un autre sujet de mémoire nous ne lui avons pas accordé une attention particulière.

L'intérêt principal du mur de briques crues réside en la régulation de la température intérieure, dans un milieu climatique soumis à des variations de température. La construction privilégie souvent l'épaisseur et la masse du mur. Lui confère ainsi une grande inertie thermique. Ce type de mur freine la pénétration de la chaleur pendant la journée et la rétrocède utilement la nuit. Les performances acoustiques (assez bonnes à très bonnes) varient en fonction de la densité des matières premières utilisées.

XI. Les blocs de terre comprimée.

Les blocs de terre comprimée sont des petits éléments de maçonnerie de forme parallélépipédique dont les dimensions courantes diffèrent cependant des blocs de terre moulée ou des briques cuites et varient selon les types de presse et les modules qui leur sont adaptés.

Ce sont principalement les blocs pleins qui sont utilisés pour la réalisation de maçonneries. Pour cela, la tradition de production des blocs de terre comprimée a adopté des dimensions compatibles avec un poids unitaire de l'ordre de 6 à 8 kg et la possibilité de réaliser des murs de 15, 30, 45 cm d'épaisseur. La dimension nominale la plus courante est aujourd'hui de 29,5X14X9 cm (L X l X h) qui donne un matériau facilement manipulable et très souple dans son utilisation pour de multiples configuration de systèmes constructifs de murs, de toitures (planchers à voutains, voutes et coupoles) et d'ouvertures en forme d'arcs.

Il ya quatre genres de blocs :

- Blocs pleins: ils sont généralement de forme prismatique (parallélépipèdes, cubes, hexagones multiples...).
- Blocs évidés : observe généralement de 5 à 10% d'évidement, voire 30% avec des procédés sophistiqués. Les évidement améliorent l'adhérence du mortier et allègent les blocs. Certains blocs évidés permettent la réalisation de chaînages (coffrage perdu).
- Les blocs alvéolaires : Ils ont l'avantage de leur légèreté mais exigent de moules assez sophistiqués ainsi que des pressions de compression plus élevées. Ils sont adaptés en maçonnerie armée (régions sismiques).

Les blocs à emboitement : Ils permettent de se passer de mortier pour leur assemblage,
 mais exige des moules assez sophistiqués et des pressions de compressions élevées. Ils
 sont souvent utilisés pour des ouvrages non porteurs.

XII. Estimation comparée d'une construction en BTC et d'une construction en parpaings.

La consommation énergétique du compactage de la BTC est dérisoire : 1/700 de l'énergie nécessaire à la réalisation d'un m3 de béton [6]. Pour calculer l'ensemble de l'énergie grise consommée, il reste à chiffrer l'énergie d'extraction, du malaxage éventuel, et du transport de la terre. Pour ce qui est du coût, des études ont montré qu'un mur réalisé en blocs de terre comprimée (BTC) fabriqués sur site de construction permet de faire une économie de 30 à 40% comparé à celui en parpaings de sable et de ciment [6]. En plus « le mur en BTC n'a pas nécessairement besoin de crépissage ou de peinture ». La rapidité est aussi garantie. Avec des presses pour la production sur site des BTC, il est possible de produire 1000 blocs par jour et donc 10 000 blocs en 10 jours, suffisant pour élever une maison T4 par exemple.

Selon CRATerre-EAG, « **le prix du m2** de murs en blocs de terre comprimée stabilisée est **supérieur** à celui du m2 de murs en blocs de ciment mais le **coût global** de la construction reste **très inférieur** grâce à une économie faite avec l'absence de poteaux - poutres en béton armé, l'absence d'enduit extérieur et l'utilisation du bloc de terre en toiture ».

Plusieurs facteurs contribuent à freiner le développement des matériaux locaux. Le manque d'équipements de production, le manque de centres de formation et de personnes formées dans le domaine des matériaux locaux, les unités de production opérationnelles presque inexistantes ou se limitant à l'échelle artisanale.

XIII. Avantages et inconvénients des constructions en terre.

Le bloc de terre comprimée stabilise et un élément solide, résistant et imperméable qui peut être utilisé en maçonnerie comme finition à l'extérieur ou l'intérieur. Son aspect et sa structure naturelle permet d'économiser en enduits et en peintures.

Les différents formats et couleurs disponibles donnent aux dessinateurs une richesse architecturale en plus avec réduction des chutes car ils peuvent proposer une modulation plus efficace, flexible et harmonieuse.

Notons que beaucoup de problèmes se posent aussi avec les déchets de fabrication des maisons. Plus de 30 millions de tonnes de déchets de chantier de bâtiments sont produits chaque année [10], un problème qui ne se pose pas avec la BTC car ce matériau est recyclable à 100 %. La BTC est un matériau extrêmement économe en énergie avant, pendant et après sa fabrication (extraction, transformation, mise en œuvre, utilisation, recyclage). Les matériaux à base de terre crue comme le BTC sont les moins gourmands en consommation d'énergie nécessaire à leur fabrication. Ils devancent même le bois et bien évidemment la brique cuite. Le BTC ne nécessite aucun traitement chimique, aucune cuisson. Il est entièrement recyclable : l'impact sur l'environnement est donc quasi nul.

Les opérateurs immobiliers construisent des bâtiments sans se soucier du confort des occupants. Ceux-ci doivent alors installer des climatiseurs grands consommateurs d'électricité. De même, les entrepreneurs utilisent des techniques nécessitant d'énormes quantités de ciment, ce qui élève fortement les coûts de construction. Si les habitants des grandes villes ont les moyens d'investir dans des solutions médiocres, ce n'est pas le cas pour les populations rurales. C'est ainsi que nous avons eu l'idée de proposer un autre mode de construction rurale beaucoup plus performant et surtout moins coûteux.

Le BTC (Bloc de Terre Comprimée) est l'industrialisation du concept géo-béton. Avec des presses hydrauliques de 20 tonnes produisant des blocs multiformes à emboîtement vertical et horizontal pour réaliser des murs secs sans mortier entre les blocs et n'imposant ni crépissage ni peinture. On a des constructions à faible utilisation de ciment et d'armature, permettant ainsi d'amoindrir les coûts de construction. Les presses automatiques sont mobiles et se déplacent sur chaque chantier pour produire jusqu'à 4000 blocs par jour en utilisant la main d'œuvre locale. Des industries de fabrication des BTC vont plus loin par la préfabrication et la standardisation des composants constructifs. Résultats: un abaissement substantiel des coûts, une construction fiable, solide et antisismique, et une économie de 50 % du temps de chantier. Le BTC est utilisé partout en Afrique. Il s'avère être le matériau le plus adapté au climat africain et le plus économique pour la construction de programmes de logements en milieux rural et urbain. La terre, un matériau économique, écologique et sain est sujette à beaucoup de préjugés (Matériau pauvre, fragile, archaïque).

<u>Tableau 7</u>: Avantages et inconvénients des constructions en BTC

Avantages	Inconvénients
disponibilité sur site des matériaux, pas ou peu de transport	sensibilité à l'action de l'eau
très faible énergie grise (de la production à l'élimination)	faible résistance mécanique
entièrement recyclable	besoin d'entretien
grande diversité des techniques	La technique et la qualité varient en fonction des sols disponibles et contraintes environnementales
bonnes capacités thermo- physiques	requiert un savoir-faire important
isolant phonique	techniques intensives en main d'œuvre

Conclusion et perspective.

Les constructions en terre sont particulièrement sensibles aux actions de l'eau. Lorsque l'eau séjourne à proximité du bâtiment ou y pénètre, celui-ci devient inconfortable, voire malsain et risque de se dégrader rapidement. La plupart des constructions de tiébélé au sud du Burkina-Faso sont faites en terre et respecte une architecture de terre sahélienne qui suite aux vicissitudes du climat néglige les protections de la base et du haut des murs. Mais les constructeurs de Tiébélé pour assurer la résistance des bâtis utilisent des décoctions de néré qu'ils badigeonnent à chaud sur les murs après le crépissage.

Pour valoriser les matériaux et les savoir-faire locaux, nous sommes partis des techniques de construction traditionnelles du peuple Tiébélé. Des blocs de terre comprimée sont réalisés après stabilisation par des décoctions de néré extraites de la préparation de coques du parkia biglobosa. Des essais de compressions sur ces blocs de terre comprimée avec une concentration de 60 grammes de néré par litre d'eau ont donné comme valeurs de résistance 1,09MPa; 1,17MPa et 1,83MPa pour des durées de cure à l'air de 7 jours, 14 jours et 28 jours respectivement; par contre les blocs de terre comprimée avec les mêmes forces de compression et ne contenant pas de décoction de néré donnent des résistances inférieures, soit 0,72MPa à 7 jours; 0,78MPa à 14 jours et 0,92MPa à 28 jours. Vu ces variations de résistance nous pouvons confirmer objectivement l'idée selon laquelle le jus de néré augmente la résistance des murs des constructions.

Les blocs absorbent l'eau par remontée capillaire plus lentement en fonction de la teneur en néré de la décoction. Le temps de résistance à la désagrégation dans l'eau pouvant atteindre 47 mn, ces blocs offrent une plus grande tenue face aux inondations, pour l'évacuation des personnes et des biens en cas d'inondation. Les briques stabilisées sans néré par contre, se désagrègent très vite ; à moins de trois minutes immergées dans de l'eau, ces dernières commencent à perdre des particules.

Les briques badigeonnées avec du jus néré à chaud commencent à perdre les particules suite à l'immersion dans l'eau respectivement à 7minutes, 38minutes, 47minutes pour des briques badigeonnées avec des décoctions dosées à 20,00 ; 40,00 ; 60,00 gramme de Néré dans un litre d'eau. L'idée première du peuple gourounsi qui est de donner un éclat au mur et d'améliorer l'étanchéité est d'une importance capitale dans les constructions en BTC et cela pendant la phase de finition et les périodes d'entretien. On ne restera pas stupéfait devant les avantages que nous procurent les constructions en BTC. En fait il ressort de cette étude que

les constructions en BTC requièrent beaucoup d'avantages sur le plan économique (une construction en BTC permet au promoteur de faire une économie à l'ordre de 30% par rapport au béton de ciment), écologique (tout est recyclable sur un chantier de BTC), confort (pas de nuisances acoustique, résistent aux intempéries...).

Le nombre de sans abris occasionné par l'inondation de septembre dernier à Ouagadougou serait moindre si les constructions étaient faites avec la technique gourounsi. En fait il ressort des analyses du laboratoire que les constructions en BTC stabilisés par des extraits du parkia biglobosa sont résistantes et se veut d'être un model pour toute construction en terre. À l'issu de ce travail nous préconisons de promouvoir la culture du parkia biglobosa; former des maçons et les exploitants des briqueteries sur cette méthode de stabilisation; faire des recherches plus poussées pour déterminer les éléments en interaction entre les décoctions de néré et la terre; et de faire des essais en nombre considérable pour confirmer et normaliser les résultats des différent analyses.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Latévi F. LAWSON, (Évaluation du confort thermique dans l'habitat individuel à Ouagadougou mémoire de fin d'étude, 111pages, 1990-1991;
- [2] (architecture des Kassena du Burkina Faso : Bâtir et développer) ;
- [3] (Terre crue. (2010, mai 16). Wikipédia, l'encyclopédie libre. Page consultée le 08:22, mai25, 2010 à partir de http://fr.wikipedia.org/wiki/Terre_crue).
- [4] (Blocs de terre comprimée Volume I : Manuel de production par Vincent Rigassi, édition CRATerre ;
- [4'](http://www.ambaburkina.dk/geologie.html);
- [5] Lyon ASSOCIATE Baltimore, Maryland, U.S.A (1971). BULDING AND ROAD RESEARCH INSTITUTE; Koumassi, Ghana. MANUEL pour le prélèvement et les essais DES LATERITES, DES SOLS LATERITIQUES et d'autre sols difficiles;
- [6] http://construire-en-btc.blogspot.com/ Page consultée le 08:22, mai25, 2010; [8] Malaïny DIATTA, et al, ISRA/CRA, BP 53, Bambey, Sénégal. le projet de coopération fernelmont/tiébélé;
- [7] http://construire-en-btc.blogspot.com/ Page consultée le 08:22, mai25, 2010;
- [8] H. Ezbakhe et al, « Etude Thermique de la Terre Stabilisée au Ciment Utilisée en construction au Nord du Maroc », Laboratoire de Thermique, Energie Solaire & Environnement, Faculté des Sciences, Université A. Essaâdi, B.P. 2121, Tétouan, Maroc, 2001;
- [9]http://constructionetrenovation.blogspot.com/2008_07_01_archive.html;
- [10] Julien T. (Étude de la résistance mécanique des blocs de latérite ayant subi un traitement de renforcement) pour l'obtention d'un Master, 86pages, 2009;
- [11] Hugo Houben et al, (Traité de construction en terre), EAG-CRATerre, 355 pages, 1989;
- [12] fiche aide mémoire laboratoire de génie-civil 2iE;
- Essais de Stabilisation de la Latérite avec les Fibres Cellulosiques : AJST, Vol. 5, N°1: June, 2004 ;
- http://noofi.fr/africabitat/tableauethnies.htm Page consultée le 18:02, mai26, 2010
- http://www.inti.be/ecotopie/bloc.html Page consultée le 21:26, mai26, 2010
- http://terre.grenoble.archi.fr/documentation/downloads/catalogueterreGI.pdf
 consultée le 17:45, mai26, 2010
- http://terre.grenoble.archi.fr/accueil.php Page consultée le 11:24, mai28, 2010
- http://forums.futura-sciences.com/habitat-bioclimatique-isolation-chauffage/155730-fabriquer-briques-de-terre-crue.html Page consultée le 10:01, avril5, 2010
- <u>http://tiez-breiz.org/images/Stages/enduits_terre/enduits_terre.html</u>
 Page consultée le 8:01, avril15, 2010;
- http://archilibre.org/materiaux/terpail/terrepaille1.html Page consultée le 13:17, avril16, 2010;
- http://www.areso.asso.fr/spip.php?article80 Page consultée le 10:08, avril09, 2010;

- http://www.tamaisontonjardin.net/article.php3?id_article=32
 Page consultée le 10:01, avril5, 2010
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_de_terre_compressée
- http://www.lamaisondurable.com/terrecrue.htmlftp://ftp.fao.org/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706f/x6 706f06.htm
- http://www.solem.ch/Tunnel/didacticiel/reconnaissances/reconnaissances/essaisLabo...
 22/10/2008;

Annexe1

(Tableaux des valeurs des différents essais)

<u>Tableau 8 :</u> Analyse granulométrique par tamisage du sol noire (limon très peu plastique).

Modules		Refus	Refus	% Refus	% Passants	
AFNOR	f tamis mm	partiels	cumulés	cumulés	cumulés	
42	12.5	73.12	73.12	1.49%	98.51%	
41	10	21.13	94.25	1.92%	98.08%	
40	8		94.25	1.92%		
39	6.3	38.94	133.19	2.71%	97.29%	
38	5	23.57	156.76	3.19%	96.81%	
37	4	49	205.76	4.19%	95.81%	
36	3.15	39.44	245.2	4.99%	95.01%	
35	2.5	52.86	298.06	6.06%	93.94%	
34	2	55.93	353.99	7.20%	92.80%	
33	1.6	58.99	412.98	8.40%	91.60%	
32	1.25	70.11	483.09	9.83%	90.17%	
31	1	95.88	578.97	11.78%	88.22%	
30	0.8	119.51	698.48	14.21%	85.79%	
29	0.63	193.72	892.2	18.15%	81.85%	
28	0.5	226.35	1118.55	22.76%	77.24%	
27	0.4	194.47	1313.02	26.72%	73.28%	
26	0.315	233.45	1546.47	31.47%	68.53%	
25	0.25	299.26	1845.73	37.55%	62.45%	
24	0.2	239.21	2084.94	42.42%	57.58%	
23	0.16	148.91	2233.85	45.45%	54.55%	
22	0.125	116.32	2350.17	47.82%	52.18%	
21	0.1	70.77	2420.94	49.26%	50.74%	
20	0.08	25.78	2446.72	49.78%	50.22%	

<u>Tableau 9 :</u> Analyse granulométrique par sédimentométrie du sol noire (limon très peu plastique).

Heures	temps	Lecture	Température	Correction	Lecture	Profondeur	Facteur	Diamètre	Pourcentage	Passant
	cumulés tc de	R	T °c	CT+Cm-	corrigée	effective Hr	F	équivalent	des grains <	échantillon
	lecture en			Cd	Rc	(cm)		Φ	Φ	p
	seconde							(mm)	P (%)	(p = C.P)
										en %
t0 =10:53:00										
10:53:30	30	1005	33.4	4.466	1009	14.43	0.923	64	77%	39%
10:54:00	60	1005	33.4	4.466	1009	14.53	0.923	45.41	73%	37%
10:55:00	120	1004	33.4	4.466	1008	14.73	0.923	32.33	65%	33%
10:58:00	300	1003	33.5	4.499	1007	14.82	0.922	20.49	61%	31%
11:03:00	600	1003	33.6	4.532	1007	14.91	0.921	14.52	58%	29%
11:13:00	1200	1002	33.7	4.566	1007	15.01	0.92	10.29	54%	27%
11:33:00	2400	1002	34	4.666	1006	15.09	0.917	7.273	50%	25%
12:13:00	4800	1001	34.5	4.832	1006	15.15	0.913	5.128	48%	24%
14:53:00	14400	1000	36.5	5.499	1005	15.22	0.895	2.909	45%	23%
10:53:00 J+1	86400	1000	33.3	4.432	1004	15.43	0.924	1.235	36%	18%

<u>Tableau 10</u>: Analyse granulométrique par tamisage du sol de couleur grise (limon très peu ou pas plastique).

Modules	f tamis	Refus	Refus	% Refus	% Passants
AFNOR	mm	partiels	cumulés	cumulés	cumulés
43	16		0.0		
42	12.5	3.0	3.0	0.1%	99.9%
41	10	1.5	4.4	0.1%	99.9%
40	8		4.4	0.1%	99.9%
39	6.3	6.1	10.6	0.2%	99.8%
38	5	3.9	14.5	0.3%	99.7%
37	4	37.4	51.8	1.1%	98.9%
36	3.15	56.8	108.6	2.3%	97.7%
35	2.5	86.2	194.8	4.1%	95.9%
34	2	91.9	286.7	6.0%	94.0%
33	1.6	88.4	375.1	7.9%	92.1%
32	1.25	129.5	504.6	10.6%	89.4%
31	1	178.3	683.0	14.4%	85.6%
30	0.8	217.8	900.7	18.9%	81.1%
29	0.63	296.8	1 197.5	25.2%	74.8%
28	0.5	294.4	1 491.9	31.4%	68.6%
27	0.4	225.5	1 717.4	36.1%	63.9%
26	0.315	267.5	1 984.9	41.7%	58.3%
25	0.25	242.2	2 227.1	46.8%	53.2%
24	0.2	144.2	2 371.3	49.8%	50.2%
23	0.16	102.9	2 474.2	52.0%	48.0%
22	0.125		2 474.2	52.0%	
21	0.1		2 474.2	52.0%	
20	0.08	162.0	2 636.2	55.4%	44.6%

<u>Tableau 11:</u> Analyse granulométrique par sédimentométrie du sol de couleur grise (limon très peu plastique).

Heures	Temps	Lecture	Température	Correction	Lecture	Profondeur	Facteur	Diamètre	Pourcentage	Passant
t0 = 10:01:00	cumulé tc de lecture	R	T°c	CT+Cm- Cd	corrigée Rc	effective Hr (cm)	F	équivalent Φ (mm)	des grains < Φ P (%)	échantillon p (p = C.P) en %
10:01:30	30 s	1004.0	32.7	4.2	1008.2	14.7	0.93	65	67.4%	30.0%
10:02:00	1 min	1003.5	32.7	4.2	1007.7	14.8	0.93	46	63.3%	28.2%
10:03:00	2 min	1002.5	32.7	4.2	1006.7	15.0	0.93	33	55.1%	24.6%
10:06:00	5 min	1001.5	32.7	4.2	1005.7	15.2	0.93	21	46.9%	20.9%
10:11:00	10 min	1001.5	32.8	4.3	1005.8	15.2	0.93	15	47.2%	21.0%
10:21:00	20 min	1001.5	32.8	4.3	1005.8	15.2	0.93	10	47.2%	21.0%
10:41:00	40 min	1001.0	33.1	4.4	1005.4	15.2	0.93	7	43.9%	19.6%
11:21:00	80 min	1000.0	33.6	4.5	1004.5	15.4	0.92	5	37.1%	16.5%
14:01:00	4 h	999.0	36.0	5.3	1004.3	15.5	0.90	3	35.5%	15.8%
10:01:00 J+1	24 h	999.0	33.1	4.4	1003.4	15.6	0.93	1	27.5%	12.3%

<u>**Tableau 12**</u>: Analyse granulométrique par tamisage du sol rouge sous terre noire (argile très peu plastique).

Modules	f tamis	Refus	Refus	% Refus	% Passants
AFNOR	mm	partiels	cumulés	cumulés	cumulés
42	12.5	53.8	53.8	1.1%	98.9%
41	10	97.2	151.0	3.2%	96.8%
40	8	97.2	151.0	3.2%	96.8%
39	6.3	236.7	387.7	8.1%	91.9%
38	5	70.3	458.0	9.6%	90.4%
37	4	114.5	572.5	12.0%	88.0%
36	3.15	82.7	655.2	13.7%	86.3%
35	2.5	107.8	763.0	16.0%	84.0%
34	2	123.8	886.8	18.6%	81.4%
33	1.6	24.5	911.3	19.1%	80.9%
32	1.25	2.5	913.8	19.1%	80.9%
31	1	253.9	1 167.7	24.5%	75.5%
30	0.8	85.2	1 252.9	26.2%	73.8%
29	0.63	128.2	1 381.1	28.9%	71.1%
28	0.5	134.8	1 515.8	31.8%	68.2%
27	0.4	107.1	1 622.9	34.0%	66.0%
26	0.315	107.5	1 730.4	36.2%	63.8%
25	0.25	124.4	1 854.8	38.9%	61.1%
24	0.2	81.4	1 936.1	40.6%	59.4%
23	0.16	72.7	2 008.8	42.1%	57.9%
22	0.125	72.7	2 008.8	42.1%	57.9%
21	0.1	72.7	2 008.8	42.1%	57.9%
20	0.08	125.8	2 134.6	44.7%	55.3%

<u>Tableau 13</u>: Analyse granulométrique par sédimentométrie du sol rouge sous terre noire (argile très peu plastique).

Heures t0 = 08:41:00	Temps cumulé tc de lecture	Lecture R	Température T°c	Correction CT+Cm- Cd	Lecture corrigée Rc	Profondeur effective Hr (cm)	Facteur F	Diamètre équivalent Φ (mm)	Pourcentage des grains < Ф P (%)	Passant échantillon p (p = C.P) en %
08:41:30	30 s	1006.0	33.0	4.3	1010.3	14.3	0.93	64	84.6%	46.8%
08:42:00	1 min	1005.5	33.0	4.3	1009.8	14.4	0.93	45	80.5%	44.5%
08:43:00	2 min	1005.0	33.0	4.3	1009.3	14.5	0.93	32	76.4%	42.2%
08:46:00	5 min	1004.5	33.0	4.3	1008.8	14.6	0.93	20	72.3%	40.0%
08:51:00	10 min	1004.0	33.0	4.3	1008.3	14.7	0.93	14	68.2%	37.7%
09:01:00	20 min	1004.0	33.2	4.4	1008.4	14.6	0.92	10	68.7%	38.0%
09:21:00	40 min	1003.0	33.5	4.5	1007.5	14.8	0.92	7	61.4%	33.9%
10:01:00	80 min	1002.9	34.0	4.7	1007.6	14.8	0.92	5	61.9%	34.2%
12:41:00	4 h	1001.5	36.3	5.4	1006.9	14.9	0.90	3	56.7%	31.4%
08:41:00 J+1	24 h	1001.5	33.1	4.4	1005.9	15.1	0.93	1	48.0%	26.5%

<u>Tableau 14:</u> Analyse granulométrique par tamisage du sol rouge dure (limon pas plastique).

Modules	tamis	Refus	Refus	% Refus	% Passants
AFNOR	mm	partiels	cumulés	cumulés	cumulés
42	12.5	16.5	16.5	0.4%	99.6%
41	10	22.8	39.3	0.9%	99.1%
40	8		39.3	0.9%	
39	6.3	165.7	205.0	4.9%	95.1%
38	5	48.7	253.7	6.0%	94.0%
37	4	146.1	399.8	9.5%	90.5%
36	3.15	136.5	536.3	12.7%	87.3%
35	2.5	138.3	674.6	16.0%	84.0%
34	2	136.8	811.4	19.3%	80.7%
33	1.6	130.4	941.8	22.4%	77.6%
32	1.25	143.4	1 085.2	25.8%	74.2%
31	1	149.5	1 234.7	29.3%	70.7%
30	0.8	149.5	1 384.2	32.9%	67.1%
29	0.63	153.7	1 537.8	36.5%	63.5%
28	0.5	139.5	1 677.4	39.8%	60.2%
27	0.4	104.5	1 781.8	42.3%	57.7%
26	0.315	91.1	1 873.0	44.5%	55.5%
25	0.25	164.9	2 037.8	48.4%	51.6%
24	0.2	86.2	2 124.0	50.4%	49.6%
23	0.16	123.8	2 247.7	53.4%	46.6%
22	0.125	123.8	2 247.7	53.4%	46.6%
21	0.1	123.8	2 247.7	53.4%	46.6%
20	0.08	122.2	2 369.9	56.3%	43.7%

<u>Tableau 15</u>: Analyse granulométrique par sédimentométrie du sol rouge à 0,7m de profondeur (limon pas plastique).

Heures	Temps	Lecture	Température	Correction	Lecture	Profondeur	Facteur	Diamètre	Pourcentage	Passant
t0 = 08:41:00	cumulé tc de lecture	R	T°c	CT+Cm- Cd	corrigée Rc	effective Hr (cm)	F	équivalent Φ (mm)	des grains < Φ P (%)	échantillon p (p = C.P) en %
08:41:30	30 s	1005.0	32.4	4.1	1009.1	14.5	0.93	65	74.7%	32.7%
08:42:00	1 min	1004.5	32.4	4.1	1008.6	14.6	0.93	46	70.7%	30.9%
08:43:00	2 min	1004.0	32.4	4.1	1008.1	14.7	0.93	33	66.6%	29.1%
08:46:00	5 min	1003.5	32.4	4.1	1007.6	14.8	0.93	21	62.5%	27.3%
08:51:00	10 min	1003.0	32.4	4.1	1007.1	14.9	0.93	15	58.4%	25.5%
09:01:00	20 min	1003.0	32.5	4.2	1007.2	14.9	0.93	10	58.6%	25.7%
09:21:00	40 min	1002.0	32.6	4.2	1006.2	15.1	0.93	7	50.7%	22.2%
10:01:00	80 min	1001.5	33.0	4.3	1005.8	15.2	0.93	5	47.7%	20.9%
12:41:00	4 h	1000.5	35.6	5.2	1005.7	15.2	0.90	3	46.6%	20.4%
08:41:00 J+1	24 h	1000.5	33.2	4.4	1004.9	15.3	0.92	1	40.1%	17.5%

<u>Tableau 16</u>: Analyse granulométrique par tamisage du sol rouge à 3m de profondeur (argile très peu ou pas plastique).

Modules	tamis	Refus	Refus	% Refus	% Passants
AFNOR	mm	partiels	cumulés	cumulés	cumulés
39	6.3	11.7	11.7	0.2%	99.8%
38	5	1.6	13.3	0.3%	99.7%
37	4	25.2	38.4	0.7%	99.3%
36	3.15	38.8	77.2	1.5%	98.5%
35	2.5	74.3	151.6	3.0%	97.0%
34	2	100.9	252.5	4.9%	95.1%
33	1.6	97.4	349.9	6.8%	93.2%
32	1.25	103.2	453.1	8.8%	91.2%
31	1	99.9	553.0	10.8%	89.2%
30	0.8	84.7	637.7	12.4%	87.6%
29	0.63	105.9	743.6	14.5%	85.5%
28	0.5	100.7	844.3	16.5%	83.5%
27	0.4	73.9	918.2	17.9%	82.1%
26	0.315	73.5	991.6	19.3%	80.7%
25	0.25	67.9	1 059.5	20.7%	79.3%
24	0.2	32.9	1 092.4	21.3%	78.7%
23	0.16	20.1	1 112.4	21.7%	78.3%
22	0.125	23.6	1 136.0	22.2%	77.8%
21	0.1	12.7	1 148.7	22.4%	77.6%
20	0.08	8.9	1 157.6	22.6%	77.4%

<u>Tableau 17:</u> Analyse granulométrique par sédimentométrie du sol rouge à 3m de profondeur (argile très peu ou pas plastique).

Heures	Temps	Lecture	Température	Correction	Lecture	Profondeur	Facteur	Diamètre	Pourcentage	Passant
t0 =	cumulé tc	R	T °c	CT+Cm-	corrigée	effective Hr	F	équivalent	des grains <	échantillon
09:17:00	de lecture			Cd	Rc	(cm)		Φ	Φ	p
09.17.00								(mm)	P (%)	(p = C.P)
										en %
09:17:30	30 s	1005.5	32.3	4.1	1009.6	14.4	0.93	65	78.6%	60.8%
09:18:00	1 min	1005.0	32.3	4.1	1009.1	14.5	0.93	46	74.5%	57.7%
09:19:00	2 min	1004.0		4.1	1008.1	14.7	0.93	33	66.3%	51.3%
0,11,100		32.3			100011		0.50			011070
09:22:00	5 min	1003.5	32.3	4.1	1007.6	14.8	0.93	21	62.2%	48.1%
09:27:00	10 min	1003.0	32.3	4.1	1007.1	14.9	0.93	15	58.1%	45.0%
09:37:00	20 min	1002.5	32.4	4.1	1006.6	15.0	0.93	10	54.3%	42.0%
09:57:00	40 min	1002.0	32.5	4.2	1006.2	15.1	0.93	7	50.5%	39.1%
10:37:00	80 min	1002.0	32.9	4.3	1006.3	15.1	0.93	5	51.6%	39.9%
13:17:00	4 h	1000.5	35.4	5.1	1005.6	15.2	0.90	3	46.1%	35.7%
09:17:00 J+1	24 h	1000.5	33.3	4.4	1004.9	15.3	0.92	1	40.4%	31.3%

<u>Tableau 18</u>: Résultats du test de remontée capillaire des briques stabilisées au néré.

Poids	temps (t/mn)	Dosage en néré			
		0,00 g de néré par litre d'eau	20,00 g de néré par litre d'eau	40 g de néré par litre d'eau	60 g de néré par litre d'eau
poids avant immersion	0	20246	1968	1965	1960
poids après 1mn d'immersion	1	2048.07	1995.07	1995.78	1990.37
poids après 3mn d'immersion	3	2055.4	2000.84	2007.88	2001.28
poids après 6mn d'immersion	6	2057.83	2000.8	2014.03	2007.76
poids après 10mn d'immersion	10	2060.01	1992.59	1945.59	2011.77
poids après 15mn d'immersion	15	2056.04	1942.66	1932.66	1954.08

<u>Tableau 19</u>: Résultats du test de remontée capillaire des briques badigeonnées au néré.

	Dosage en néré			
Poids aux différentes périodes d'immersion	0.00 g de néré par litre d'eau	20,00 g de néré par litre d'eau	40.00 g de néré par litre d'eau	60,00 g de néré par litre d'eau
poids avant immersion				
	20246	1998.3	2010.06	1985.03
poids après 1mn d'immersion	2048.07	2024.42	2012.54	2003.72
poids après 3mn d'immersion				
	2055.4	2042.52	2027.98	2020.18
poids après 6mn d'immersion	2057.83	2057.49	2040.01	2040.58
poids après 10mn d'immersion	2060.01	2043.18	2049.25	2051.46
poids après 15mn d'immersion	2056.04	2044.25	2058.74	2062.01
poids après 21mn d'immersion		2028.48	2066.68	2070.17
poids après 30mn d'immersion			2075.18	2077.82
poids après 38mn d'immersion			2057.28	2084.86
poids après 47mn d'immersion			2052.09	2088.76
poids après 57mn d'immersion				2094.57
poids après 68mn d'immersion				2023.42
poids après 80mn d'immersion				1799.38

<u>Tableau 20</u> : résultats des essais de compression.

Nombre de jours/	Force de	Force de	Force de	Force de
force de	compression	compression	compression	compression
compression	blocs à 0,00	blocs à 0,20	blocs à 0,40	blocs à 0,60
	gramme de Néré	gramme de Néré	gramme de Néré	gramme de Néré
7 jours	4,68	6,87	6,69	7,19
	6,64	9,70	10,91	11,22
moyenne	5,652	8,28	8,8	9,205
14 jours	5,68	6,81	8,09	6,97
	6,64	6,30	6,25	10,28
moyenne	6,16	6,55	7,17	8,625
28 jours	7,58	10,43	11,32	13,84
•	6,83	13,11	17,56	14,94
moyenne	7,205	11,77	14,44	14,39

Annexe2

(Figures et photographies)

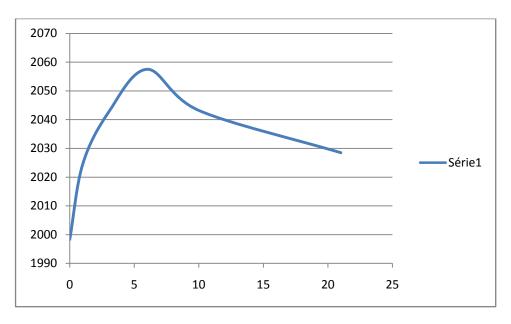


Figure 9: remontée capillaire à grammes de néré par litre d'eau « badigeonné ».

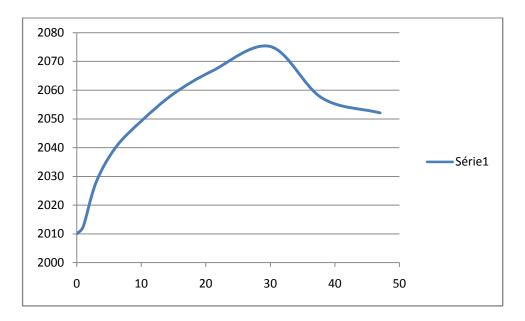
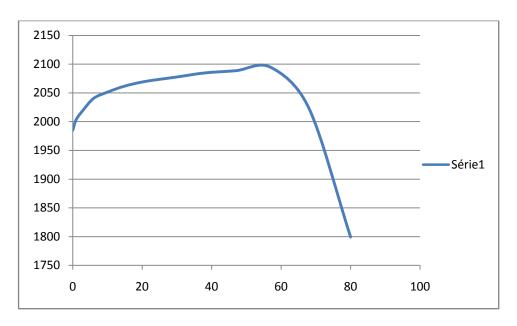
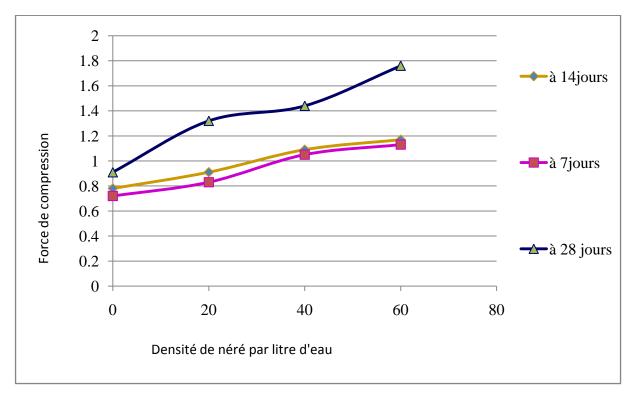


Figure 10: remontée capillaire à 40 grammes de néré par litre d'eau « badigeonné ».



 $\underline{Figure~11} \hbox{: remont\'ee capillaire \`a~60 grammes de n\'er\'e par litre d'eau « badigeonn\'e ».}$



<u>Figure 12</u> : courbe montrant l'allure de la résistance à la compression des blocs suivant le pourcentage de Néré.

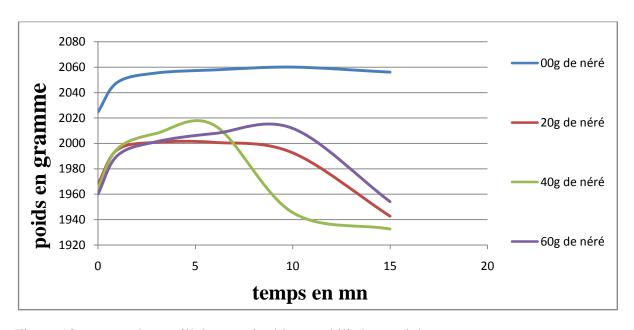


Figure 13 : remontées capillaires sur les blocs stabilisés au néré.



Photographie22: terre rouge à 0,25m de profondeur



<u>Photographie23:</u> terre rouge à 0,7m de profondeur





Photographie 24: (terre noire).

Photographie25: terre collante.



<u>**Photographi26**</u>: Presse de traction – Compression.









Photographie 27: quelques BTC et leur aspect après réalisation d'une structure

Questionnaires aux habitants dans ces types de maison

Quelles sont les qualités	s ambiantes de votre maison ?	
en saison sèche :		
le jour		
□ CHAUD	☐RES CHAUD	□ PLUS OU MOINS CHAUD
□FRAIS	□PLUS OU MOINS FRAIS	□TRES FRAIS
la nuit		
□CHAUD	☐FRES CHAUD	□PLUS OU MOINS CHAUD
□FRAIS	□ PLUS OU MOINS FRAIS	□res frais
en saison humide		
le jour		
□ CHAUD	☐RES CHAUD	□ PLUS OU MOINS CHAUD
□ FRAIS	☐ PLUS OU MOINS FRAIS	S
la nuit		

□CHAUD □FRES CHAUD □PLUS OU MOINS CHAUD □FRAIS □FRES FRAIS

Toutes les personnes interrogées ayant répondu par des réponses cochées en couleur sur la fiche d'enquête nous pouvons confirmer que l'habitat des Kassena offre un meilleur confort thermique. Mais il reste à savoir qu'il ne s'agit là que des appréciations individuelles et personnelles des personnes. Pour être certain et sur il serait important de faire une étude scientifique en relevant par exemple les températures de ces maisons par des thermomètres.

Quelques questions et réponses au sujet des BTC :

Quelle est la composition d'une Brique de terre comprimée (BTC) ?

De la terre (argile + limons + sable), de l'eau, et éventuellement un liant comme de la chaux ou du ciment pour augmenter la résistance mécanique.

On peut envisager l'introduction d'une très faible quantité de fibres (chanvre ou autre, à condition qu'elles soient très fines) pour jouer un rôle de drain et évacuer plus efficacement l'humidité.

Pourquoi de la terre argileuse?

C'est l'argile qui assure la cohésion de la matière, en formant des strates, comme un mille feuilles. Des forces d'interaction microscopique interviennent alors, conférant sa grande dureté à l'argile séchée.

Quelle est la densité d'une BTC?

Densité d'environ 1.8 à 1.9 kg/dm³. (=kg/litre=T/m³)

Quelle est la Résistance mécanique d'une BTC ?

Dépendant de la nature de l'argile et du mélange utilisés. On atteint généralement des résistances supérieures à 5Mpa (parpaing = 4Mpa, Brique cuite ~7Mpa ?)

La BTC est elle un bon isolant phonique?

La terre crue est considérée comme un très bon isolant phonique.

Comment faire les linteaux?

On peut faire toutes formes de linteaux, comme pour une construction classique, On peut également faire des voûtes en terre crue, poser des linteaux en bois etc...Votre architecte saura vous conseiller pour la mise en œuvre des ouvertures.

Le mur peut-il tenir sans joint?

La masse du mur suffit à lui donner une excellente stabilité sans joint. Les joints ne servent pas à renforcer la stabilité du mur, mais à rattraper les écarts de hauteur et à boucher les jours entre les briques pour être plus étanche à l'air. Le choix de jointure à l'aide d'une barbotine d'argile dépendra donc du positionnement et du rôle du mur dans la maison. Pour les murs porteurs, il est préférable d'utiliser un léger joint, au moins sur les premiers et derniers rangs du mur.

Quel isolant choisir ? À l'intérieur ou à l'extérieur ?

Il faut isoler à l'extérieur ! Plusieurs mises en œuvre sont possibles. Pour n'utiliser que des BTC, il est possible de faire deux rangs de briques par mur, espacés de 10cm d'air, ou de chanvre, paille, etc.

La paroi intérieure sert de masse thermique, celle extérieure est juste structurelle, elle peut être recouverte d'un enduit isolant type chaux - chanvre pour la protéger. Ou alors, une simple épaisseur de brique, doublée de panneaux en fibre de bois, de liège, etc. En tout état de cause, il ne doit pas y avoir de couche isolante entre le mur de BTC et l'intérieur de la maison.

Quelle dalle, comment démarrer le mur ?

En tout état de cause, il faut des fondations pour isoler le mur du sol. Elles peuvent être conventionnelles (béton L), mais aussi un lit de pierre (celles qu'on aura retirées de la terre servant à faire les briques). Pour la dalle, mêmes considérations. Si on veut éviter le béton, un hérisson suffisamment épais (couche de pierres concassées ou roulées sur une épaisseur avoisinant les 25 cm) doublé de couches d'isolants et de terre, recouvert de dalles en terre cuite.