



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

**ETUDE DE LA STABILISATION DES CHAUSSEES ROUTIERES
A BASE DES LATERITES AVEC LES EXTRAITS DU PARKIA
BIGLOBOSA**

**MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE
L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT**

OPTION : GENIE CIVIL

Présenté et soutenu publiquement le 15 Juin 2010 par

Martial GUETCHO TAKEDO

Travaux dirigés par :

Abibou CISS, Docteur/Ingénieur en Génie Civil

Abdou LAWANE GANA, Ingénieur du Génie Civil

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Ismaila GUEYE**

Membres et correcteurs : 1- **Abdou LAWANE GANA**

2- **Raffaele VINAI**

Promotion 2009/2010

DÉDICACE

L'Éternel est mon Berger, je ne manquerai de rien

(Psaume 23)

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, ma reconnaissance va l'endroit de notre Seigneur Dieu Tout Puissant qui m'a permis par sa grâce de mener à bien cette étude.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à l'endroit de mes encadreurs :

- Dr Abibou CISS qui a initié et suivi ce sujet de recherche;
- M. Abdou LAWANE GANA pour ses conseils et réponses à nos préoccupations ;
- M. Salif KABORE pour l'accompagnement qu'il m'a accordé lors du déroulement des essais au laboratoire ;

Je n'oublierais pas aussi de remercier tout le corps enseignant du 2iE et plus particulièrement celui du département Infrastructure et Sciences des Matériaux.

Mes remerciements vont également à l'endroit :

- De ma très chère famille : je pense ainsi à mes parents TAKEDO Thomas et NGUETTI Lucie, mes sœurs (TAKEDO Hermione et TAKEDO Larissa), mes oncles et tantes (DONKOU Esther et NJANTOU Roger) et tous mes cousins ;
- Mes amis complices du 2iE : TALLA Armand Pascal, GUEMNIN Olivier et WANSI Christian ;
- Mon amie Francine SANHOUIDI pour toute sa contribution dans la réalisation de cet ouvrage ;
- Mon ami Deodonne KUNWUFINE pour tout le soutien moral et matériel qu'il m'a apporté au cours de cette étude ;
- M. YAHOU Joseph pour l'accueil et l'hébergement qu'il m'a accordé à Tiébélé lors des enquêtes de terrain ;
- Tous mes camarades de classe ;
- Tous mes frères et sœurs de la CCB ;
- De tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce travail.

RESUME

En Afrique, il existe encore bien des villages ou localités qui n'ont pas encore ou ont accès dans des conditions impraticables par temps de pluie à des marchés, des dispensaires, et autres localités un peu plus développées et qui de ce fait ne se développent pas. Dans le but d'améliorer les conditions de déplacement des populations de ces villages, le présent ouvrage propose une technique de stabilisation des pistes de desserte de ces villages construites à base de la latérite qui trouve son fondement dans les techniques traditionnelles de construction en pays Gurunsi. Le peuple Gurunsi utilise de la terre rouge meuble ou de la terre noire, parfois mélangée à de la terre rouge jaunâtre en dessous de la terre noire qu'il pétrie à de l'eau pour construire les murs des habitations en mottes (technique plus ancienne) ou en briques de terre. La terre rouge un peu indurée pilée et tamisée préalablement et la terre blanche collante, la bouse de vache, la cendre et la préparation des gousses de néré (permettant de fixer les peintures sur les murs) sont utilisées pour réaliser les finitions et les décorations des murs. Les essais d'identification des ces sols au laboratoire ont permis de classer la terre rouge meuble comme une argile peu plastique et les autres types de sol comme des sables argileux.

La concentration de la préparation des gousses de néré ayant donné des améliorations optimales de la portance de la terre rouge un peu indurée après stabilisation est de 125,73 g/l. La résistance à la compression simple et à l'action de l'eau de cette terre stabilisée au néré à cette concentration ont été améliorées de l'ordre de 20 à 40 %. L'application de cette technique au dimensionnement d'une piste rurale en latérite rouge un peu indurée dont le trafic journalier constitué de moto, bicyclette, charrette, taxi brousse et correspondant à un maximum de quinze véhicules par jour a donné une épaisseur de couche de chaussée de **12 cm** contrairement à une chaussée réalisé avec le même matériau, mais non stabilisé au néré dont l'épaisseur trouvée est de **20 cm**. La connaissance de la composition chimique exacte des gousses de néré et celle de la latérite stabilisée permettrait de prévoir les différentes réactions possibles entre ces deux matériaux ; ainsi de sélectionner les sols qui conduiraient aux meilleurs résultats de stabilisation.

Mots clés : latérite ; parkia biglobosa, stabilisation, Indice CBR ; pistes rurales

ABSTRACT

In Africa, we still have villages or localities both without either don't have access during raining season to markets, hospitals and to other develop areas. In so doing, they are not developing themselves.

With the aim of ameliorating the displacement of the population, the present work proposes a method to stabilize roads of those villages constructed with laterite which is the basical element use in construction by the Gurunsi people. They use either red soil or the black one; sometimes mix it with the red to yellowish soil. They bring out blocks use in the elevation of walls (old methods). The red soil pound and shifted, the white soil, cow pat brit, ash and the preparation of nere (*parkia biglobosa*) clove are use for the finishing and the decoration of the wall.

Trials carried on those sample soil in the laboratory permitted us to classify the red soil like clay less plastic and the rest has clayey sand. The concentration during the parkia biglobosa clove preparation shows optimum amelioration of the bearing capacity of red soil after stabilisation is 125,73 g/L. the resistance to compression and to the effect of water of this parkia biglobosa stabilise soil have been ameliorated to roughly 20 to 40%.The application of this methods to dimension a rural path made up with red laterite considering the fact that the daily traffic is made up of motorbikes, bicycle, taxi that corresponds to at less fifteen vehicles by day has given a road surface of 12 cm thick contrary to the same road surface realise with the same material not stabilise leading to a thickness of 20 cm. the knowledge of the chemical composition of parkia biglobosa clove and those of stabilised laterite could permitted us to consider different possible reactions between those two materials and to select the soil having better results during the stabilisation.

Key words: laterite; parkia biglobosa, stabilisation, CBR index; rural paths

LISTE DES ABRÉVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement de Ouagadougou

CBR: Californian Bearing Ratio (Essai CBR)

Cc : Coefficient de courbure

CEBTP : Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics

Cu : Coefficient d'uniformité

HIMO : Haute Intensité de Main d'Œuvre

IPI : Indice Portant Immédiat

LCPC : Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées

PTAC : Poids Total Autorisé en Charge

RRL : Road Research Laboratory

VBS : Valeur de Bleu de Méthylène d'un Sol

TABLE DES MATIERES

DÉDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABRÉVIATIONS	v
TABLE DES MATIERES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	1
LISTE DES FIGURES	2
LISTE DES PHOTOS.....	3
I INTRODUCTION GENERALE	4
<i>I.2.1 Objectif général</i>	6
<i>I.2.2 Objectif spécifique</i>	6
<i>I.2.3 Résultats attendus</i>	6
II PRESENTATION DE LA TECHNIQUE TRADITIONNELLE DE STABILISATION ET DE CONSTRUCTION EN PAYS GURUNSI	9
II.1 Présentation des matériaux de construction utilisés en pays Gurunsi et leurs transformations	10
II.1.1 La latérite	10
II.1.2 La parkia biglobosa (Néré)	11
II.1.3 La bouse de vache	12
II.1.4 La cendre	12
II.1.5 Le goudron	12
II.1.6 La paille	13
II.2 Technologie de construction d’habitations avec de la latérite stabilisée en pays Gurunsi	13
II.3 États des lieux des habitations construites à l’aide de cette technique traditionnelle ...	15
II.4 États des lieux des autres ouvrages construits à l’aide de cette technique traditionnelle	16
III ANALYSE DES MATERIAUX : LATERITE NON STABILISEE ET LATERITE STABILISEE AU NERE	19
III.1 Essais d’identification	19

III.1.1	Teneur en eau des matériaux dans leur état naturel	19
III.1.2	Analyse granulométrique.....	21
III.1.3	Limites d'Atterberg.....	25
III.1.4	Essai au bleu de Méthylène.....	27
III.1.5	Détermination du poids spécifique γ_s au Pycnomètre à air	28
III.2	Essai de portance sur la latérite crue.....	31
III.2.1	Essai Proctor modifié	31
III.2.1	Essai CBR.....	32
III.3	Essais de portance sur la latérite stabilisée au néré à différents dosages	34
III.3.1	Essai Proctor modifié et essai CBR.....	35
III.4	Mesure de la vitesse de dégradation des matériaux sous l'action de l'eau.....	41
III.5	Essai de compression simple.....	42
IV	APPLICATION DE LA DITE TECHNIQUE A LA CONSTRUCTION ROUTIERE ...	44
IV.1	Dimensionnement de la structure de chaussée d'une piste rurale stabilisée au néré	44
IV.2	Travaux d'entretien	46
V	INTERPRETATION DES RESULTATS	48
V.1	Caractéristiques physiques du matériau non traité	48
V.2	Concentration optimale de néré de stabilisation des matériaux	49
V.3	Portance de la latérite non stabilisée et de la latérite stabilisée au néré à la concentration optimale.....	50
V.3.1	Latérite rouge un peu indurée.....	50
V.3.2	Latérite rouge meuble	52
V.4	Résistance à la compression simple du matériau traité et non traité au néré.....	53
V.5	Caractéristiques hydrauliques du matériau traité et non traité	53
VI	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	55
	BIBLIOGRAPHIE	57
	SITES INTERNET.....	58
	ANNEXES	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répertoire des ouvrages en terre en pays Gurunsis.....	16
Tableau 2 : Teneur en eau des matériaux	21
Tableau 3 : Calcul des coefficients d'uniformité et coefficient de courbure	24
Tableau 4 : Limite d'Atterberg des échantillons de terre étudiés	26
Tableau 5 : Valeur de Bleu de Méthylène des échantillons de sols étudiés.....	28
Tableau 6 : Poids spécifiques des échantillons de terre étudiés	30
Tableau 7 : Caractéristiques physiques des échantillons de sol étudiés.....	30
Tableau 8 : Valeurs de l'optimum Proctor des latérites étudiées	31
Tableau 9 : Indices CBR de la latérite rouge un peu indurée crue.....	33
Tableau 10 : Indices CBR de la latérite rouge meuble crue.....	34
Tableau 11 : Indices CBR de la latérite rouge un peu indurée stabilisée à la concentration en néré de 125 g /l.....	39
Tableau 12 : Indices CBR de la latérite rouge meuble stabilisée à la concentration en néré de 125 g /l.....	40
Tableau 13 : Masses des échantillons de latérite crue et stabilisées au néré immergée dans de l'eau.....	42
Tableau 14 : Résistance à la compression des échantillons de latérite crue et stabilisée au néré .	43
Tableau 15 : Épaisseur de chaussées construites avec de la latérite crue d'une part et avec de la latérite stabilisée au néré d'autres parts.....	45
Tableau 16 : Caractéristiques physiques des matériaux utilisés pour la construction de la piste .	48
Tableau 17 : Caractéristiques physiques des matériaux utilisés pour la construction de la piste .	49
Tableau 18 : Récapitulatif des densités sèches à l'optimum Proctor à des dosages différents en Néré	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation du pays Gurunsi	6
Figure 2 : Courbes granulométriques des échantillons de terre étudiés	24
Figure 3: Abaque de Casagrande	27
Figure 4 : courbes Proctor des matériaux non stabilisés	31
Figure 5: Courbes CBR de la latérite rouge un peu indurée	33
Figure 6 : Courbes CBR de la latérite rouge meuble	34
Figure 7 : Courbes Proctor de la latérite rouge un peu indurée stabilisée à différents dosages en Néré	35
Figure 8: Évolution de la densité sèche de la latérite rouge un peu indurée stabilisée en fonction de la concentration en néré	36
Figure 9 : Courbes Proctor de la latérite rouge meuble stabilisée à différents dosages de Néré	37
Figure 10 : Évolution de la densité sèche de la latérite rouge meuble stabilisée en fonction de la concentration en néré	38
Figure 11: Courbe CBR de la latérite rouge un peu indurée stabilisée à la concentration en Néré de 125 g/l	39
Figure 12: Courbe CBR de la latérite rouge meuble stabilisée à la concentration en Néré de 125 g/l	40
Figure 14 : Évolution de la densité sèche à l'optimum Proctor en fonction de la concentration en Néré	50
Figure 15: Évolution de l'indice CBR en fonction de l'énergie de compactage	51
Figure 20 : Évolution de l'indice CBR de la latérite en fonction de l'énergie de compactage	52
Figure 21: Évolution de la dégradation des matériaux sous l'action de l'eau	54

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Case en forme de huit	9
Photo 2 : gousses de néré	11
Photo 3 : bouse de vache	12
Photo 4 : Toit en paille d'une case	13
Photo 5: Ouvrages en terre en pays Gurunsi	18
Photo 6 : Différent types de terre utilisée dans la construction en pays Gurunsi	20
Photo 7 : Appareillage pour tamisage	22
Photo 9 : Appareillage nécessaire	25
Photo 10: Appareillage nécessaire	28
Photo 11 : Pycnomètre	29
Photo 12 : Matériaux à différentes périodes de la mesure de la vitesse de dégradation	41
Photo 13 : Appareillage nécessaire	42

I INTRODUCTION GENERALE

I.1 Contexte/problématique de l'étude

En pays Gurunsi, la décoction du néré (nom scientifique : *Parkia biglobosa*) est utilisée pour fixer les couleurs sur les murs des constructions et permettre à l'eau de pluie de s'écouler facilement sans trop de dommages pour le mur (TRAORET, 2002). Cette décoction est obtenue en préparant les gousses de *Parkia biglobosa* dans une quantité d'eau. Elle est utilisée dans la construction des habitations en terre et même dans la stabilisation des couches de finition de dallage des concessions ou des toitures terrasses. Il se trouve donc qu'après application de la technique, la résistance des murs en terre et des couches de dallage est ainsi améliorée. Les possibilités d'amélioration de la résistance de la latérite avec du néré ont en effet été évoquées en perspectives dans une étude antérieure faite dans le cadre de mémoire de fin de formation de Master. (NTOUDA, 2009). De même, une étude antérieure a permis de constater que la stabilisation du matériau argileux avec de la fusion du néré augmente légèrement sa résistance à la traction comme à la compression. (ISSAKOU, 2002). Seulement l'on ne sait pas comment ces résultats obtenus varient en fonction des dosages en nérés (*Parkia biglobosa*) contenus dans la décoction. D'un autre côté les chaussées latéritiques non stabilisées des routes non revêtues des pays en voie de développement sont pour la plupart en mauvais états ou bien nécessitent un entretien fréquent. Les dégradations affectant ces pistes sont rattachées non seulement à la nature, à l'importance du trafic, notamment le poids et le nombre de véhicules, mais aussi à la consistance et à l'épaisseur des couches de chaussée et à l'efficacité du système d'assainissement (ODIER et coll, 1968). La portance de ces pistes dépend du matériau de la couche de roulement et des conditions d'humidité qui y règnent. Pendant la saison des pluies, la plupart des sols ont une portance insuffisante pour supporter la circulation et les routes sont souvent fermées (ODIER et coll, 1968). De ces faits cités ci-dessus, il nous a paru nécessaire d'effectuer une étude de cette technique traditionnelle en vue d'une application à la construction des routes. Il s'agit de voir les possibilités d'amélioration des caractéristiques mécaniques et hydrauliques de la latérite en la stabilisant au néré ; tout en déterminant la concentration qui permettrait d'obtenir les meilleurs résultats de résistance et de stabilisation du dit matériau. Cette étude permettra donc de voir ainsi les possibilités d'extension de la dite technique dans la construction des chaussées des pistes rurales ; si les

résultats sont probants, cela entrainera la valorisation du matériau local dans la construction routière.

I.2 Présentation du cadre d'étude

Le pays Gurunsi couvre une grande superficie s'étendant au Sud et à l'Ouest de la capitale du Burkina Faso : Ouagadougou.

Les « Gurunsi » dont l'appellation englobe plusieurs groupes ethniques (Nounis, Kassenas, Lélé, Nounouma, Sissila, Kos) font partie des ethnies les plus anciennes installées sur le territoire burkinabè. Ils sont retrouvés dans les régions du Centre Ouest, Centre Sud et de la Boucle du Mouhoun ; respectivement dans les provinces de Mouhoun, Sanguié, Balé, Sissili et majoritairement Nahouri. De tout temps, ils ont dû se protéger contre l'envahisseur grâce à l'architecture élaborée de leur habitat.

Le pays Kassena, site dans lequel a été étudié les techniques de construction traditionnelles « Gurunsi » dans le cadre de cette étude, se situe à cheval sur la frontière entre le Burkina et le Ghana, entre les villes de Pô, Tiébélé (site ayant servi de cadre d'étude), Ziou et Paga, cette dernière étant dans la partie ghanéenne. Les kassenas, comptabilisés aujourd'hui à 100 000 habitants se trouvent en majorité dans la province du Nahouri.

Relativement bien arrosé, le pays Kassena est une région de savane clairsemée avec de multiples « arbres-providence » (Baobab, karité, néré, kapokier).

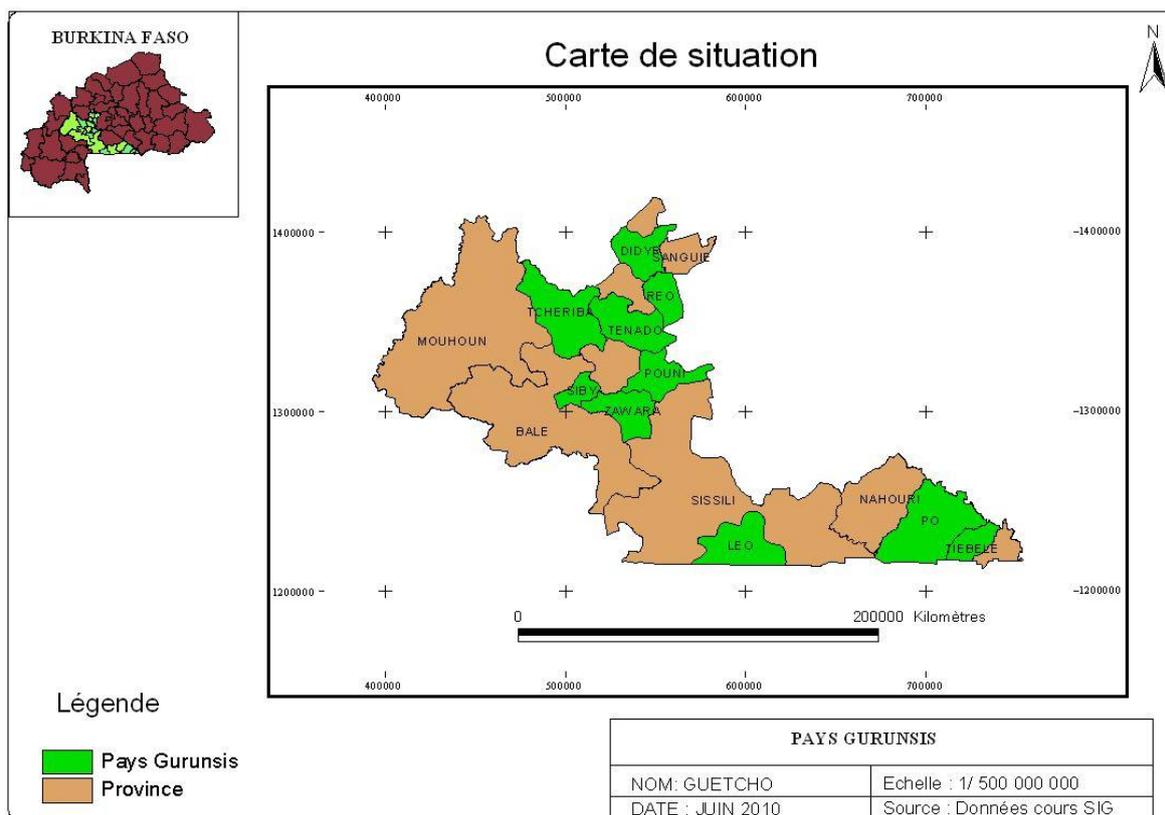


Figure 1 : Situation du pays Gurunsi

I.3 Le projet d'étude

1.2.1 Objectif général

L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la mobilité des personnes et des marchandises, notamment en milieu rural à travers l'augmentation des performances du réseau routier.

1.2.2 Objectif spécifique

Analyse des performances et Application des techniques traditionnelles de stabilisation des sols latéritiques des peuples Gurunsi dans les constructions des pistes routières.

1.2.3 Résultats attendus

Les principaux résultats attendus sont les suivants :

- Maîtrise et conservation du patrimoine local que sont les techniques traditionnelles de stabilisation et de construction appliquée en pays Gurunsi ;
- Caractérisations physiques, mécaniques et hydrauliques de la latérite non stabilisée et de la latérite stabilisée au néré à la concentration généralement appliquée en pays Gurunsi ;

- Optimisation de la concentration en néré donnant les meilleurs résultats de portance CBR et caractéristiques physiques, mécaniques et hydrauliques de la latérite stabilisée au néré;
- Élaboration de nouveaux outils de construction et de maintenance des chaussées des pistes rurales par l'application de cette nouvelle technique.

I.4 Méthodologie

Pour mener à bien cette étude, la procédure suivante sera adoptée :

- ✓ Une recherche documentaire des travaux antérieurs en rapport avec la technique de construction d'habitat en terre appliquée par le peuple Gurunsis ;
- ✓ Une descente sur le terrain pour la prise de connaissance de manière concrète de la méthode traditionnelle appliquée par le peuple Gurunsis ; ceci par la recherche des informations telles que : le mode opératoire d'application de la technique, les sites de prélèvement des matériaux et les différents critères de choix de ces sites, les caractéristiques géologiques des carrières, les quantités en décoctions de néré utilisées, le répertoire et le diagnostic des différents ouvrages existants et construits à l'aide de la latérite.
- ✓ Un prélèvement des échantillons de latérite utilisée par le peuple Gurunsis pour la construction de leurs habitats sera effectué pour des analyses au laboratoire ; une évaluation in situ de l'état de vieillissement et des ambiances des ouvrages existants ;
- ✓ Une étude d'identification des matériaux par les essais de laboratoire suivant : l'Analyse granulométrique, les limites d'Atterberg, essai au bleu de méthylène, la sédimentométrie; la détermination de la densité apparente et du poids spécifique des matériaux.
- ✓ Des stabilisations avec différents dosages en décoction des gousses de parkia biglobosa seront effectués et pour chaque dosage, seront réalisés l'essai Proctor et l'essai CBR. A chaque dosage sera tracée la courbe Proctor correspondante de manière à obtenir sur le même graphe « une surface Proctor » qui nous présentera l'évolution de la densité sèche maximum du matériau stabilisé en fonction du dosage en décoction. Il est à noter que chaque essai Proctor sera suivi de l'essai CBR. Ce travail permettra de déterminer la concentration en décoction des gousses de cette plante qui donnera une stabilisation optimale des matériaux de couche de structure des chaussées des pistes rurales ; parallèlement, des essais de caractérisation mécanique et hydraulique seront effectués sur des échantillons de latérite non stabilisée avec les

extraits de parkia biglobosa ainsi que la simulation du comportement des routes ainsi stabilisées sous l'effet des chargements et des intempéries ;

- ✓ Des essais de caractérisation hydraulique sur du matériau stabilisé avec des extraits de parkia biglobosa à la concentration déterminée plus haut seront ensuite effectués;
- ✓ Le dimensionnement de la structure des chaussées des pistes rurales stabilisées par le procédé proposé sera effectué.

Les moyens nécessaires pour la mise en œuvre de cette méthodologie sont les moyens humains, moyens financiers, documents, internet, appareil photo, lettre de recommandation, fiches d'enquête, matériels de prélèvement d'échantillon, appareils d'essai en laboratoire et ordinateur.

II PRESENTATION DE LA TECHNIQUE TRADITIONNELLE DE STABILISATION ET DE CONSTRUCTION EN PAYS GURUNSI

La recherche bibliographique, les enquêtes et la visite des lieux sur le terrain ont permis d'avoir une idée de la technique traditionnelle de construction en pays Gurunsi.

L'architecture traditionnelle en pays Gurunsi offre deux caractéristiques principales en termes de typologie : les concessions dont la base sur le sol est à formes circulaires et celles à formes polygonales. Les concessions à formes polygonales sont soit des cases rectangulaires, soit des cases en huit ; les cases en huit étant les toutes premières maisons Kassenas (l'un des sous groupes des habitants des pays Gurunsi situé dans les régions de Pô, Tiébélé et de Léo), donc les plus anciennes (**BATIR ET DEVELOPPER**, 2000).

Les concessions à formes polygonales sont à toitures terrasses accessibles. L'éclairage des intérieurs des cases se fait par des fenêtres.

Les concessions à formes circulaires sont à toiture terrasse ou en pailles. Celles à toiture terrasses ont un éclairage zénithal qui identifie les espaces de cuisine ou de meuble à grains. Celles couvertes de pailles constituent un habitat temporaire de célibataire ou un grenier avec une finition en cône. L'un des constats effectués est l'incroyable confort thermique de cette typologie architecturale. Ces habitations sont en général très peu éclairées.



Photo 1 : Case en forme de huit

II.1 Présentation des matériaux de construction utilisés en pays Gurunsis et leurs transformations

Le peuple Gurunsis utilise cinq types de terre dans la construction de leurs habitats et quelques autres matériaux pour la peinture et l'embellissement des cases. Nous citons ici ces types de terre juste en fonction de leur couleur ; nous donnerons leurs classifications respectifs dans la suite du document après avoir effectué des essais d'identification sur chacun de ces matériaux. Ainsi, nous avons distingués comme terres utilisées dans la construction en pays Gurunsis : la terre noire, la terre rouge un peu indurée se trouvant en surface à certains endroits, la terre rouge meuble, la terre blanche collante, et la terre rouge jaunâtre se trouvant en dessous de la terre noire à certains endroits. Les autres matériaux utilisés pour les finitions sont respectivement : la bouse de vache, le graphite, le goudron, la cendre et le néré.

La terre noire tout comme la terre rouge jaunâtre en dessous, dans la technique traditionnelle, sont creusées et mouillées séparément pendant un jour, puis pétrie jusqu'à ce qu'ils deviennent une pâte un peu dure ; une petite partie est ensuite prélevée pour être trempée dans de l'eau pendant 5 à 10 minutes ; si ce matériau ne « fond » pas, on peut alors construire avec le dit matériau prélevé ; si non recommencer à pétrir. Le matériau pétri et prêt à l'utilisation peut servir soit à la fabrication des briques de terre, soit des mottes de terre, soit servir de mortier de jointement pour le montage des murs en briques de terre.

La terre rouge un peu indurée est pilée pour être transformée en poudre afin d'être appliquée au mur comme dernière couche d'enduit qui recevra la préparation de néré après décoration.

II.1.1 La latérite

La « latérite » est le nom donné au sol résultant de l'altération chimique des roches et ayant subies le phénomène de « latéritisation ». La latéritisation étant ce phénomène d'intensification du processus d'altération chimique qui peut être poussée si loin que, même des minéraux argileux qui sont essentiellement des hydrosilicates d'aluminium, peuvent être détruits ; ainsi, la silice est lessivée et le restant se compose simplement d'oxydes d'aluminium, tels que la gibbsite, ou d'hydroxyde de fer, la limonite ou la goethite dérivées de fer. Il a été trouvé au cours d'une étude récente que la plupart des sols tropicaux altérés d'Afrique peuvent être divisés en trois groupes : les sols ferrugineux, les sols ferrallitiques et les ferrisols. (LYON ASSOCIATES, 1971). Les sols ferrugineux se trouvent dans les régions extrêmes les plus arides de la zone latéritique avec des saisons sèches très prononcées ; ils se

sont formés sur tout type de roche : ignée, métamorphique et sédimentaire. La terre rouge un peu indurée et la terre rouge meuble rencontrée en pays Gurunsi seraient certainement des sols ferrugineux.

II.1.2 La parkia biglobosa (Néré)

La parkia biglobosa est un arbre des zones sèches du continent africain mais présent aussi en Asie et en Amérique latine. Cet arbre a une taille maximale de 25 m, avec un tronc droit et dont les fruits sont de longues gousses suspendues en grappes, contenant de nombreuses graines noires enrobées de pulpe jaune. Un pied peut produire 25 à 100 kg de fruits par an.

Cet arbre a plusieurs utilités : les écorces sont vendues sur le marché pour les ostéopathies, les oreillons et autres maladies, la pulpe comme laxatif. Les cosses peuvent servir d'engrais, ou encore comme crépi pour enduire les murs des cases. Depuis 2005, une importante campagne de plantation de Parkia biglobosa est en cours au Mali. Plus de million de néré ont été plantés. Cette campagne est réalisée par et pour les populations locales (plus de 12 communes). 2009 devrait voir la plantation du troisième million de néré sur la même région. Dans le cadre de cette étude, nous allons nous intéresser à l'exploitation des gousses de néré pour stabiliser les couches de base et couche de roulement des pistes rurales en grave latéritique. Les gousses de Néré sont préparées dans de l'eau jusqu'à la cuisson pendant quatre (04) heures environ et le liquide obtenu est exploité à chaud. Cette décoction de néré est conservée dans des bouteilles et doit être réchauffée chaque fois qu'on veuille l'utiliser.



Photo 2 : gousses de néré

II.1.3 La bouse de vache

La bouse est l'excrément des mammifères ruminants, comme les bovins et les bisons. Une vache adulte produit en moyenne 12 bouses par jour (d'environ 4 kg chacune), constituant une manne pour les espèces coprophages et représentant un authentique petit écosystème dont le stade final est l'intégration au sol des pâtures. Les habitants en pays Gurunsi utilisent cette bouse de vache à l'état frais pour faire l'enduit des maisons. Elle est bien malaxée avant d'être mélangée à de la terre pétrie pour application de la première couche d'enduit, puis à de la terre collante pour application de la deuxième couche d'enduit.



Photo 3 : bouse de vache

II.1.4 La cendre

La cendre est le résidu de la combustion du bois et de certaines plantes et déchets ; elle est utilisée par le peuple Gurunsi, mélangée à de la terre pétrie et de la bouse de vache pour effectuer la première et la deuxième couche d'enduit des murs de maisons.

II.1.5 Le goudron

L'évolution de la technique de construction en pays Gurunsi a conduit à l'utilisation du goudron comme liant dans les matériaux d'application des couches d'enduit des murs. Le goudron est utilisé à l'état liquide.

Le **goudron** est un dérivé houillé de couleur noire. Sous-produit de la distillation de la houille lors de la fabrication du coke, il est très visqueux, voire solide.

Le goudron a longtemps été employé :

- pour ses propriétés d'imperméabilité : chaussées, joints de toiture, calfatage des coques de navire, etc.
- pour ses propriétés de **liant**, c'est-à-dire comme une forme de mortier, conférant de la cohésion.

Il est important de signaler ici que malgré les avantages de l'utilisation du goudron ci-dessus cités, ce dernier contient des hydrocarbures aromatiques polycycliques cancérigènes donc son utilisation est nocive pour la santé des usagers de la maison.

II.1.6 La paille

La paille est le plus souvent utilisée pour réaliser le toit conique des cases rondes et même celui des greniers cylindriques.



Photo 4 : Toit en paille d'une case

II.2 Technologie de construction d'habitations avec de la latérite stabilisée en pays Gurunsis

Lorsque les matériaux de construction des cases sont disponibles, les familles de bâtisseurs se mettent à l'œuvre pour la construction proprement dite de la maison. La construction de la

maison en elle-même est effectuée par les hommes et les femmes s'occupent des finitions et des décorations.

La construction de la maison commence par le tracé au sol de la forme de la maison, puis la réalisation de la fondation à une profondeur de 20 à 25 cm environ en briques de terre ; la terre bien pétrie étant prête pour la construction, les maçons superposent les mottes de terre en couche jusqu'à un certain niveau (30 à 40 cm), ensuite il les laisse sécher pendant trois jours avant d'ajouter d'autres couches ; ils feront ainsi pour atteindre la hauteur désirée qui est autour de 3,5 à 4m. Donc la construction se fait étape par étape avec des couches superposées : c'est la technique de « **colombinage** ». A la suite de cette activité, ils implantent des bois verticaux qui porteront la toiture et les travaux de construction de la toiture s'en suivent ; cette phase de construction débute par la pose des traverses en bois en trois niveaux dont les diamètres des bois évoluent de façon décroissante de bas en haut ; le dernier niveau ne présentant pas des vides et constituée des morceaux de bois de diamètre plus petits ; les maçons mettent ensuite de la terre pétrie sur ces traverses en bois tout en donnant une pente pour l'écoulement des eaux de pluies ; ils prévoient également des trous d'évacuation des eaux sur les murs de la terrasse. La finition de la terrasse est effectuée à l'aide de la terre collante sèche puis damée et l'application de cette terre collante mélangée à de la bouse de vache et à la préparation du néré.

A la suite de la réalisation de la maison, les femmes interviennent pour l'enduit et la décoration des murs. Elles font l'enduit en trois couches :

- une première couche constituée de la terre pétrie mélangée à de la bouse de vache d'épaisseur 2 cm ;
- une deuxième couche constituée de la terre collante mélangée à de la bouse de vache d'épaisseur 1 cm ;
- une troisième couche faite de la latérite rouge pilée puis tamisée et mélangée à de l'eau.

Des dessins sont faits à main levée avec du graphite pilé et mélangé à de l'eau et à l'aide des plumes utilisées comme pinceaux.

Enfin, la préparation de néré est arrosée sur le mur à chaud avec des balais ; ce qui permet de fixer les finitions, les dessins, les protégeant ainsi contre les eaux de pluies.

Il revient également aux femmes de réaliser le dallage des sols de maison qui est constitué de la latérite rouge damée, de la terre collante puis arrosée ensuite avec la préparation de néré à chaud.

➤ **Travaux d'entretien**

Les travaux d'entretien sont essentiellement :

- les travaux de réfection totale de la toiture consistant à changer complètement le bois qui porte la terre ; mais la même terre est réutilisée. Cet entretien se fait selon le niveau de dégradation des bois (de poteaux et de traverses), en général tous les 20 à 25 ans environ.
- Les travaux de réfections de la peinture se font tous les 7 à 8 ans environ ; s'il y a une fissure sur le mur, on gratte et on accomode. (TRAORET, 2002). Les femmes refont les décorations des maisons, les couleurs et la fixation par le même procédé.

II.3 États des lieux des habitations construites à l'aide de cette technique traditionnelle

L'état des lieux des dites constructions a été effectué à la suite des investigations faites sur le terrain par des enquêtes et des diagnostics des maisons construites à l'aide de la technique traditionnelle appliquée en pays Gurunsi.

Les cases en forme de huit auraient été construites dans les années 1700 environ, selon la technologie décrite ci-dessus. Les cases en forme de rectangle par contre sont plus récentes d'une durée de 20 à 40 ans par exemple avec des entrées un peu plus hautes d'une hauteur de l'ordre de 1,60 m contrairement à celles des cases plus anciennes dont les entrées ont une hauteur de l'ordre 0,6 m environ. Le diagnostic des murs des cases en forme de huit nous a permis de relever la présence de quelques fissures sur le mur, l'état pas du tout humide des murs. La dureté des murs au scléromètre donne des valeurs moyennes de **15,8 Mpa**. De même, le diagnostic des murs des cases en forme de rectangle a permis d'y relever la présence de quelques fissures, et leur état pas du tout humide. La dureté des murs au scléromètre donne des valeurs moyennes de **16,9 Mpa**. De façon général pour les deux types de cases, l'ambiance intérieure en saison sèche en journée est agréable ; par contre elle est invivable la nuit à cause de la chaleur conduisant les habitants à dormir sur la terrasse. Par contre, en saison des pluies, il fait moyennement frais à l'intérieur de ces cases avec un peu de chaleur

quand il pleut. Ces résultats ont été tirés des enquêtes et des diagnostics effectués sur cinq habitations dont les murs ont été traités au néré.

Nous avons également diagnostiqué quelques maisons dont les murs n'ont pas été traités au néré. C'est le cas de la case de Mme KABIM, de forme rectangulaire, construite dans les années 1975. Les murs du côté Nord et Ouest contiennent peu de fissures ; par contre les deux autres ont suffisamment des fissures. Tous ces quatre murs sont à des moments donnés un peu humides et leur dureté moyenne au scléromètre donne une valeur de **15 Mpa**. L'intérieure de cette case en saison sèche et en journée est moyennement chaud et très chaud la nuit. En saison des pluies, il est frais la nuit et le jour et moyennement frais quand il a plu.

A la suite de ce travail, il en ressort que les murs traités au néré pourraient moins transmettre de la chaleur et moins se laisser pénétrer par l'eau. Ils également seraient un peu plus résistants que les murs non traités au néré. Les différentes améliorations que pourraient apporter le néré à un sol de caractéristiques initiales données feront l'objet d'une étude à la suite de cette étude.

II.4 États des lieux des autres ouvrages construits à l'aide de cette technique traditionnelle

Quatre types d'ouvrage autre que le bâtiment construits en terre ont été recensés : le lit à coucher, l'évier traditionnel, le bac à vaisselle et une armoire.

Le tableau ci après fait état des lieux de ces différents ouvrages :

Tableau 1 : Répertoire des ouvrages en terre en pays Gurunsis

	Ouvrage 1	Ouvrage 2	Ouvrage 3	Ouvrage 4
Type d'usage de l'ouvrage	Lit à coucher	Évier traditionnel	Bac à vaisselle	Armoire
Date de construction	Vers 1700 avec le dernier entretien en 2006	Vers 1700 avec le dernier entretien en 2006	Vers 1700 avec le dernier entretien en 2006	Vers 1700 avec le dernier entretien en 2006
Qui l'a construit ? un maçon spécialisé ou bien travaux communautaires ?	Maçon avec l'appui des membres de la famille	Maçon avec l'appui des membres de la famille	Maçon avec l'appui des membres de la famille	Maçon avec l'appui des membres de la famille
Type de latérite et quels traitements ont été effectués sur	Terre argileuse ; le contour du lit est construit en	Corps de l'ouvrage en terre argileuse ;	Terre non traitée ; ouvrage en	Terre noire pour corps de l'ouvrage ;

	Ouvrage 1	Ouvrage 2	Ouvrage 3	Ouvrage 4
Type d'usage de l'ouvrage	Lit à coucher	Évier traditionnel	Bac à vaisselle	Armoire
la latérite?	brique et le corps du lit en mottes de terre	Finition : lissage à l'aide de la terre noire plus de la terre collante	latérite gravillonnaire +goudron+ciment	Finition : lissage à l'aide de la terre collante
Niveau de résistance ou niveau de désordres visibles : pathologies	Bon	Bon	Moyen	Bon
État de vieillissement observé à l'œil nu	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Niveau du confort	Moyen	Moyen	Bon	Moyen
Niveau de fonctionnalité	Bon	Bon	Très bon	Bon



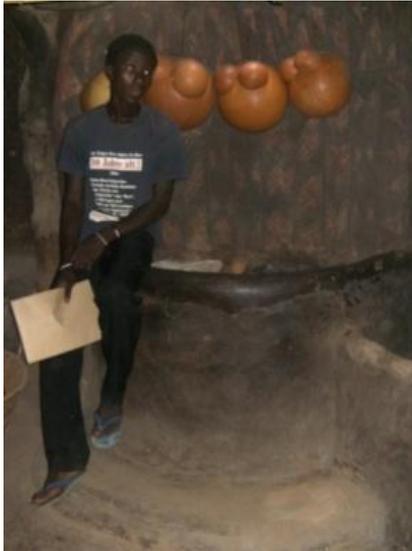
Bac à vaisselle



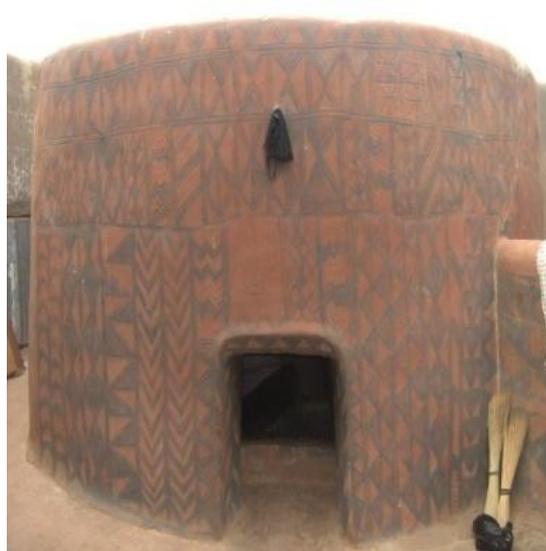
Armoire



Lit à coucher



Évier traditionnel



Habitation (traitée au néré)



Grenier

Photo 5: Ouvrages en terre en pays Gurunsi

III ANALYSE DES MATERIAUX : LATERITE NON STABILISEE ET LATERITE STABILISEE AU NERE

III.1 Essais d'identification

La maîtrise de la technique traditionnelle de construction appliquée en pays Gurunsi, dans le but d'analyser ses forces et faiblesses afin d'en faire des propositions d'amélioration, nécessite l'identification des matériaux utilisés. A cet effet, il sera question dans cette partie d'effectuer les essais d'analyse granulométrique par tamisage et par Sédimentométrie, de Bleu de Méthylène, de déterminer les limites d'Atterberg et le poids spécifique des matériaux utilisés dans la construction en pays Gurunsi et plus précisément à Tiébéle.

III.1.1 Teneur en eau des matériaux dans leur état naturel

Le processus d'identification de tout matériau au laboratoire commence par la détermination de sa teneur en eau dans son état naturel. Cette teneur en eau pour les cinq types de sols utilisés dans la construction en pays Gurunsi (voir photo 6), a été déterminé par la méthode de pesée de poids humide, puis de poids sec après passage à l'étuve.



Terre blanche



Terre noire



Terre rouge jaunâtre



Terre rouge un peu indurée



Terre rouge meuble

Photo 6 : Différent types de terre utilisée dans la construction en pays Gurunsis

La teneur en eau de chacun de ces échantillons est donnée par la relation :

$$w_i = \left(\frac{m_1 - m'_1}{m'_1} \right) \times 100$$

Avec m_1 : masse de l'échantillon humide

m'_1 : masse de l'échantillon sec

Les valeurs de ces teneurs sont présentées dans le tableau ci-après par échantillon :

Tableau 2 : Teneur en eau des matériaux

Échantillon	Masse humide (g)	Masse sèche (g)	Teneur en eau w
Terre rouge un peu indurée	5034	4213,02	19,49%
Terre rouge jaunâtre sous la terre noire	5234,27	4773,74	9,65%
Terre rouge meuble en surface	5301,47	5127,16	3,40%
Terre collante blanche	5072,76	4756,98	6,64%
Terre noire	5084,02	4914,88	3,44%

III.1.2 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est un essai qui consiste à étudier la granulométrie du sol, c'est-à-dire la distribution des grains suivant leur dimension en déterminant par pesée l'importance relative des classes de grains de dimensions bien définies. Elle se fait par tamisage pour la fraction de sol dont le diamètre des grains est supérieur à 0,08mm et par sédimentométrie pour la fraction de sol dont le diamètre des grains est inférieur à 0,08mm.

a) Tamisage

L'opération de tamisage a été effectuée à travers une colonne de tamis dont l'ouverture intérieure des mailles des tamis varie de 12,5 mm à 80µm soumise à des vibrations (voir photo 7). Par définition, le diamètre d'une particule est égal à l'ouverture intérieure des mailles du plus petit tamis la laissant passer (ROBITAILLE et coll, 1997). Les refus de chaque tamis ont été pesés.



Colonne de tamis



Colonne de tamis sur tamiseur

Photo 7 : Appareillage pour tamisage

b) Sédimentométrie

La sédimentométrie est basée sur la loi de Stokes qui exprime la vitesse limite de chute d'une particule sphérique dans un liquide visqueux en fonction du diamètre de la particule. Cette relation s'écrit :

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu} \times D^2$$

Avec : v : vitesse de décantation ;

D : diamètre de la particule ;

γ_w : Poids volumique du liquide utilisé (eau+défloculant) ;

μ : viscosité dynamique du liquide ;

γ_s : Poids volumique des grains solides.

Par convention, le diamètre de la particule est égal au diamètre de la particule sphérique de même poids volumique qui a la même vitesse de décantation. Il est appelé diamètre équivalent.

Le procédé consiste à mesurer à différents moments, à l'aide d'un densimètre, la densité d'une suspension d'un sol ; On opère sur une suspension initialement homogène. La

décantation détruit cette homogénéité, les particules les plus grosses tombant le plus rapidement (voir photo 8).



Photo 8 : Décantation des échantillons de sol dans des éprouvettes graduées

c) Courbe granulométrique et courbe sedimentométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage (voir annexe 11 à 16) sont reportés sur un diagramme semi-logarithmique appelé courbe granulométrique et est complété par la courbe sedimentométrique obtenue après sédimentométrie.

On détermine alors les caractéristiques du sol par deux coefficients :

- Le coefficient d'uniformité ou de HAZEN : $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ qui caractérise l'étalement de la granulométrie ;
- Le coefficient de courbure : $C_c = \frac{(d_{60})^2}{d_{10} \times d_{30}}$

Suivant la forme granulométrique et la valeur des deux coefficients, on dira que la granulométrie est étalée ou serrée, continue ou discontinue, bien graduée ou mal graduée. Les courbes granulométriques et la caractérisation de la granulométrie des différents échantillons analysés sont les suivants :

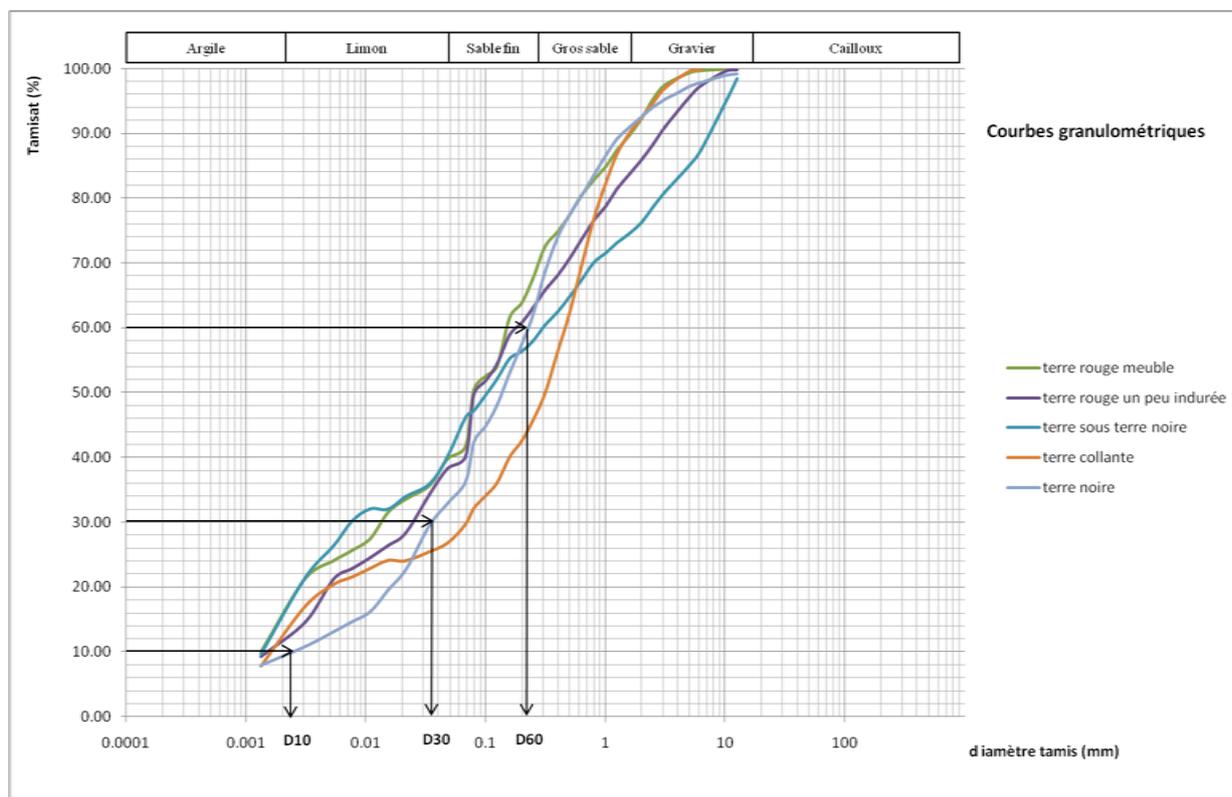


Figure 2 : Courbes granulométriques des échantillons de terre étudiés

Tableau 3 : Calcul des coefficients d'uniformité et coefficient de courbure

	D10	D30	D60	Cu	Cc
Terre rouge meuble	0,00115	0,011	0,145	126,09	0,73
Terre rouge un peu indurée	0,00115	0,021	0,16	139,13	2,40
Terre rouge jaunâtre sous la terre	0,0011	0,007	0,3	272,73	0,15
Terre blanche collante	0,0012	0,07	0,49	408,33	8,33
Terre noire	0,0022	0,035	0,201	91,36	2,77

Selon la valeur du coefficient d'uniformité, on reconnaît cinq classes de granulométrie (ROBITAILLE et coll) :

- $C_u \leq 2$ Granulométrie très serrée
- $2 < C_u \leq 5$ Granulométrie serrée
- $5 < C_u \leq 20$ Granulométrie semi étalée
- $20 < C_u \leq 200$ Granulométrie étalée

$200 < C_u$ Granulométrie très étalée

Ainsi, la terre rouge meuble, la terre rouge un peu indurée et la terre noire ont des granulométries étalées ; la terre rouge jaunâtre en dessous de la terre noire et la terre blanche collante ont des granulométries très étalées. En fonction des coefficients de courbure, les caractérisations suivantes de la granulométrie sont définies : la terre rouge meuble et la terre rouge jaunâtre sous la terre noire ont des granulométries mal graduées contrairement aux terres rouges un peu indurée, terre blanche collante et terre noire qui ont des granulométries bien graduées.

III.1.3 Limites d'Atterberg

L'essai a pour objet de déterminer les états de consistance d'un sol. La consistance d'un sol varie de façon continue selon la teneur en eau ; lorsque celle-ci augmente, le sol passe successivement de l'état solide à l'état plastique puis à l'état liquide. L'essai définit conventionnellement les limites entre ces états. Les limites à déterminer sont respectivement la limite de liquidité, la limite de plasticité, l'indice de plasticité.

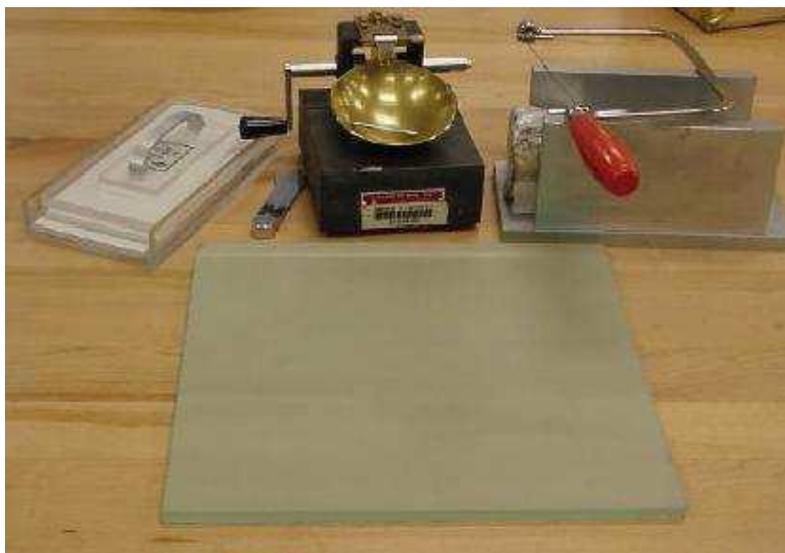


Photo 9 : Appareillage nécessaire

➤ **La limite de liquidité w_L** : l'échantillon de sol est mis en place dans la coupelle et on trace un sillon avec l'outil à rainurer ; on mesure la teneur en eau w au moment de la fermeture conventionnelle. Par convention, la limite de liquidité est la teneur en eau du matériau qui correspond à une fermeture de 1 cm des lèvres de la rainure après 25 chocs.

➤ **La limite de plasticité w_p** : à partir d'une boulette d'échantillon que l'on roule sur un marbre à la main ou avec une plaque, on forme un rouleau aminci progressivement jusqu'à 3 mm de diamètre sur une longueur de 10 à 15 cm ; on mesure alors la teneur en eau qui est la limite de plasticité. Par convention, la limite de plasticité est atteinte lorsque le rouleau, soulevé par le milieu de 1 à 2 cm se fissure.

➤ **Indice de plasticité I_p** : il se déduit des limites par la différence $I_p = w_L - w_p$

Les différentes limites d'Atterberg déterminées pour les cinq types de sols étudiés sont présentées dans le tableau ci après :

Tableau 4 : Limite d'Atterberg des échantillons de terre étudiés

	Limite de liquidité (w_L)	Limite de plasticité (w_p)	Indice de plasticité (I_p)
Terre rouge un peu indurée	43%	23%	20%
Terre rouge jaunâtre sous Terre noire	42%	21%	21%
Terre rouge meuble	42%	11%	31%
Terre collante blanche	42%	Pas de plasticité	-
Terre noire	42%	Pas de plasticité	-

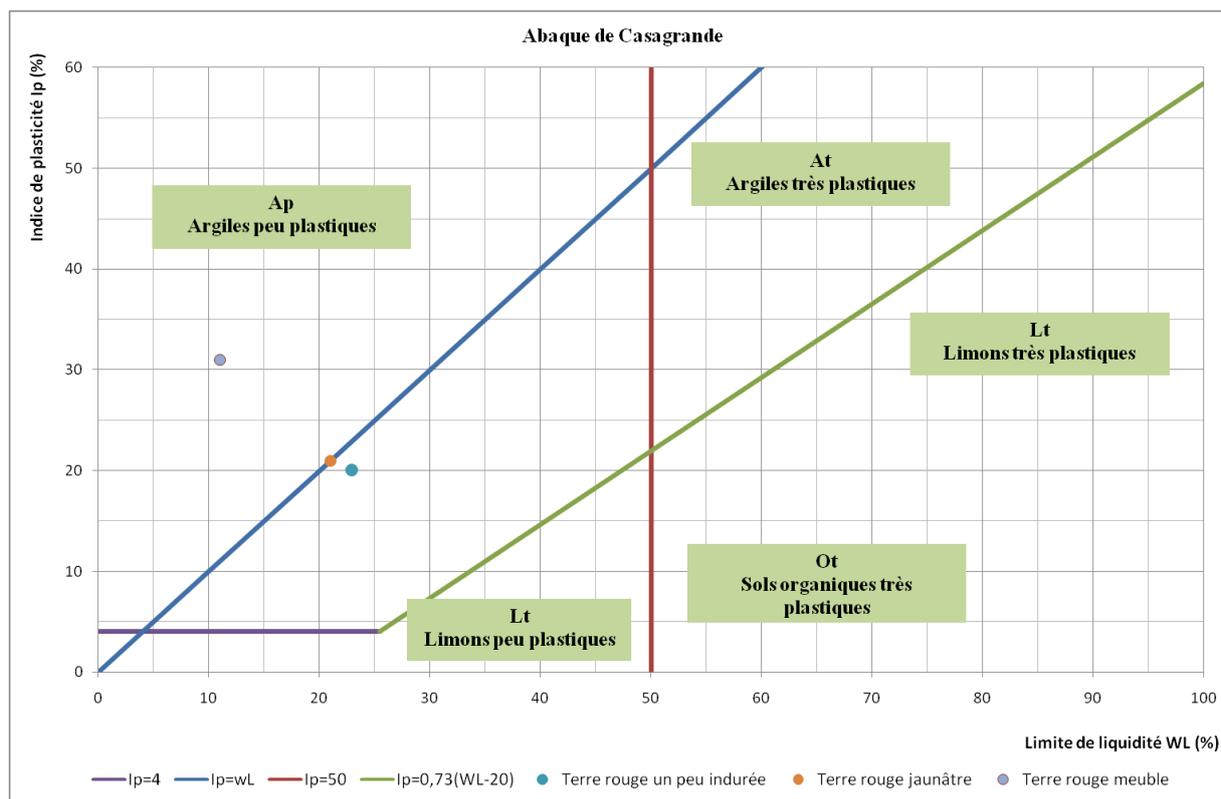


Figure 3: Abaque de Casagrande

La représentation des points correspondant à chaque échantillon de terre sur l'abaque de Casagrande permet d'identifier la terre rouge un peu indurée, la terre rouge jaunâtre et la terre rouge meuble comme des argiles peu plastiques. La terre blanche collante et la terre noire ne peuvent être classées à partir de cet abaque car elles n'ont pas d'indice de plasticité.

III.1.4 Essai au bleu de Méthylène

L'essai a pour objectif de déterminer la quantité et la nocivité des éléments argileux contenus dans les fines du granulat et est basé sur la capacité de ces éléments fins à adsorber du bleu de méthylène. Cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. 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 aux éléments fins. Cette vérification se fait à l'aide d'un test à la tâche sur papier-filtre pour déceler la présence de colorant libre. Lorsque la présence de colorant libre est confirmée, la valeur de bleu de méthylène (VBS) est calculée et exprimée en grammes de colorant adsorbé par 100 g de la fraction granulaire testée.



Photo 10: Appareillage nécessaire

Les différentes valeurs de bleu de méthylène obtenues pour chacun des cinq types de sol identifiés sont les suivantes :

Tableau 5 : Valeur de Bleu de Méthylène des échantillons de sols étudiés

	Terre rouge un peu indurée	Terre rouge jaunâtre sous terre noire	Terre rouge meuble	Terre collante blanche	Terre noire
Valeur de bleu de méthylène (VBS)	1,1	1,3	1,8	0,5	0,7

La valeur de bleu de méthylène de la terre rouge meuble de **1,8** permet de l'identifier comme **un sable très argileux et peu plastique** comme vu avec l'abaque de Casagrande; les valeurs de bleu de méthylène des autres sols étant comprises entre **0,2** et **1,5** permettent de les identifier comme des **sables argileux**. (Voir annexe 3)

III.1.5 Détermination du poids spécifique γ_s au Pycnomètre à air

Cet essai permet de déterminer le poids spécifique d'un granulat ou d'un échantillon de sol.

La détermination du poids spécifique $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$ implique nécessairement la détermination des paramètres respectifs **W_s** et **V_s** pour un échantillon donné qui sont respectivement le poids des

grains solides contenus dans l'échantillon et le volume des grains solides contenus dans l'échantillon.

Le volume V_s est déterminé en appliquant la loi de Boyle-Mariotte à l'air contenu dans le pycnomètre après introduction du matériau ; les valeurs nécessaires à la détermination de V_s obtenus avant et après la fermeture des soupapes. Il est déterminé par l'expression suivante :

$$V_s = \frac{(P' - P)}{(P' - P_{atm})} \cdot V$$

Avec P' : la pression de l'enceinte du pycnomètre quand les soupapes sont ouvertes ;

P_{atm} : est la pression atmosphérique pris égale à 0,1 bar ;

P et V : sont respectivement la pression et le volume de l'enceinte du pycnomètre sans échantillon à soupape ouverte dont les valeurs sont connues $V \approx 1\,150\text{ cm}^3$ et P est obtenu en appliquant la loi de Boyle-Mariotte (pour les gaz parfaits $PV = \text{constante}$) à l'air contenu dans le pycnomètre sans échantillon.

Le poids W_s est obtenu par pesée sur une balance après passage du matériau à l'étuve à 105 °C pendant 24h.



Photo 11 : Pycnomètre

La détermination des poids spécifiques des cinq types de sols au pycnomètre à l'air a donné les résultats suivants :

Tableau 6 : Poids spécifiques des échantillons de terre étudiés

	Terre rouge un peu indurée	Terre rouge jaunâtre sous terre noire	Terre rouge meuble	Terre collante blanche	Terre noire
Poids spécifique γ_s (KN/m³)	27,5	28,9	27,4	29,6	30,1

Les caractéristiques physiques des sols étudiés sont présentées dans le tableau ci après :

Tableau 7 : Caractéristiques physiques des échantillons de sol étudiés

<i>Caractéristiques de base</i>	Terre rouge un peu indurée	Terre rouge jaunâtre sous la terre noire	Terre rouge meuble	Terre collante blanche	Terre noire
Profondeur (m)	0,5	0,7	3	0,2	0,6
Teneur en eau naturelle (%)	19,49	9,65	3,4	6,64	3,44
Poids spécifiques (KN/m ³)	27,5	28,9	27,4	29,6	30,1
Passant au tamis 80 μ m (%)	49,6	47,2	50,4	32,10	42,35
Teneur en argile (< 2 μ m) (%)	10	9,7	9,9	7,8	9,2
Limite de liquidité (%)	43	42	42	42	42
Limite de plasticité (%)	23	21	11	pas de plasticité	pas de plasticité
Indice de plasticité (%)	20	21	31		
Activité d'argile	1,1	1,3	1,8	0,5	0,7

La terre rouge un peu indurée, la terre rouge jaunâtre sous la terre noire, la terre blanche collante et la terre noire sont tous des **sables argileux** d'après la classification des sols grenus selon la classification des sols LCPC (voir annexe 3).

La terre rouge meuble est classée comme une **argile peu plastique** selon l'abaque de Casagrande.

Une fois ces matériaux identifiés, il est important de déterminer les caractéristiques mécaniques du ou des matériaux qui pourraient être utilisés dans la structure de chaussée des pistes rurales. C'est ainsi l'essai Proctor suivi de l'essai CBR ont été réalisés pour la terre rouge un peu indurée et pour la terre rouge meuble (dont les courbes granulométriques se rapprochent le plus du fuseau de courbes granulométriques de terres prescrites pour la

construction des routes en terre (CEBTP, 1980)), disponibles en grande quantité en pays Gurunsi, (voir annexe 28).

III.2 Essai de portance sur la latérite crue

III.2.1 Essai Proctor modifié

L'essai Proctor modifié a pour but de déterminer la teneur en eau optimale conduisant à une force portante maximale pour un sol donné, selon les conditions de compactage précises. Les diagrammes de la figure 3 présentent les courbes Proctor de la latérite rouge un peu indurée et de la latérite rouge meuble étudiée. Il en ressort de ces courbes les valeurs de masse volumique apparente sèche ρ_{opt} et des teneurs en eau ω_{opt} à l'optimum Proctor.

Tableau 8 : Valeurs de l'optimum Proctor des latérites étudiées

	Densité sèche à l'optimum Proctor (ρ_{opt})	Teneur en eau optimale (ω_{opt})
Latérite rouge un peu indurée	1,855 g/cm ³	13,6 %
Latérite rouge meuble	2,016 g/cm ³	9,5 %

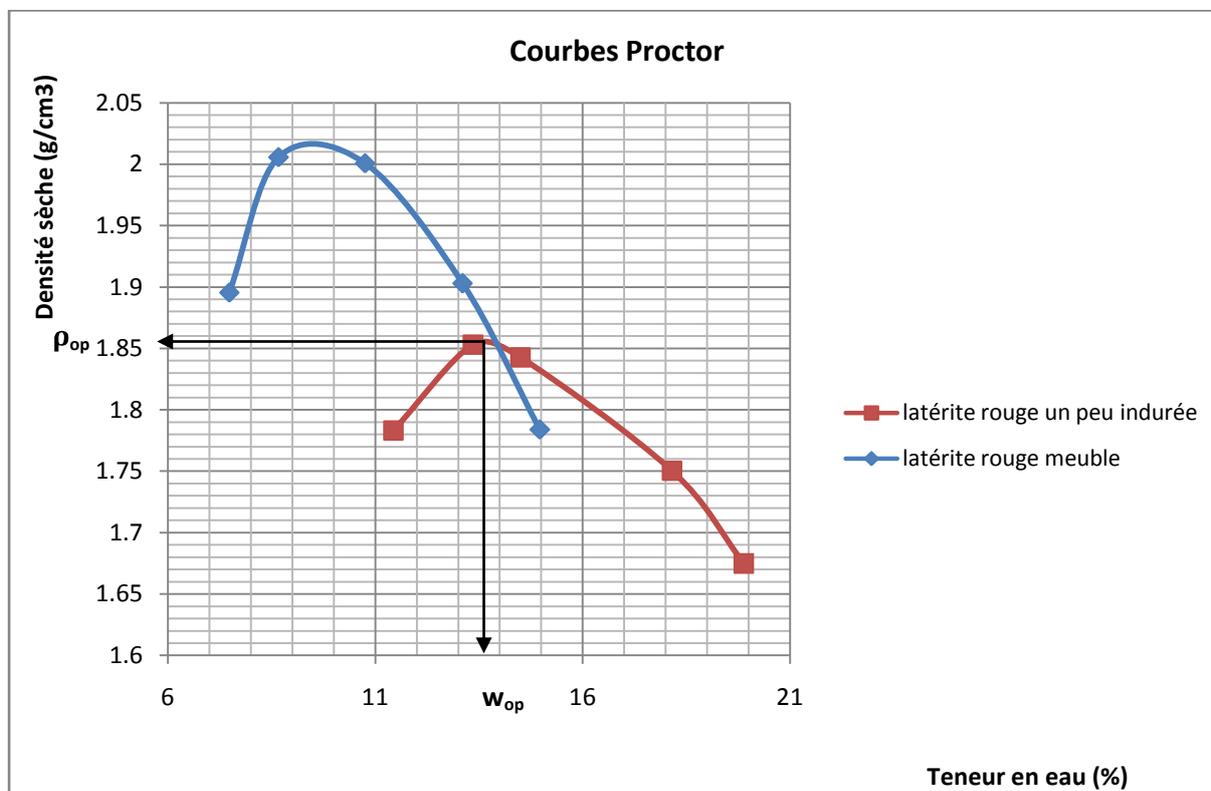


Figure 4 : courbes Proctor des matériaux non stabilisés

III.2.1 Essai CBR

Faisant suite à l'essai Proctor, l'essai CBR est un essai de portance des remblais et des couches de forme compactées des ouvrages routiers. Il permet d'estimer la portance d'un sol en laboratoire. Il s'agit de déterminer expérimentalement des indices portants (IPI, CBR) qui permettent d'établir une classification des sols (GTR), d'évaluer la traficabilité des engins de terrassements (IPI) et de déterminer les épaisseurs des chaussées « si l'indice CBR augmente alors l'épaisseur de la chaussée diminue » (PAREZ et coll). Les résultats sont présentés sur une courbe montrant l'évolution de la force appliquée avec les déplacements ou déformations correspondantes; cette courbe d'essai est comparée à une courbe étalon (celle d'un sol de référence : tout venant de concassage). Trois paramètres sont mesurés en fonction des buts fixés :

- **l'indice Portant immédiat (IPI)** qui caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation des engins de chantier directement sur sa surface lors des travaux ;
- **l'indice CBR immédiat** qui caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau ;
- **l'indice CBR après immersion** qui caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau et soumis à des variations de régimes hydriques.

La quantité de matériau pour l'essai étant insuffisante faute de moyens financiers pour transport de ce dernier, seul l'indice CBR après quatre (04) jours d'immersion dans de l'eau a été déterminé situant ainsi l'étude dans les cas les plus défavorables : situation où la piste de desserte pourra avoir une portance insuffisante pour supporter la circulation et offrir un niveau de confort très mauvais aux usagers.

Les résultats de cet essai effectué sur la latérite rouge un peu indurée crue sont présentés à travers les courbes ci-après :

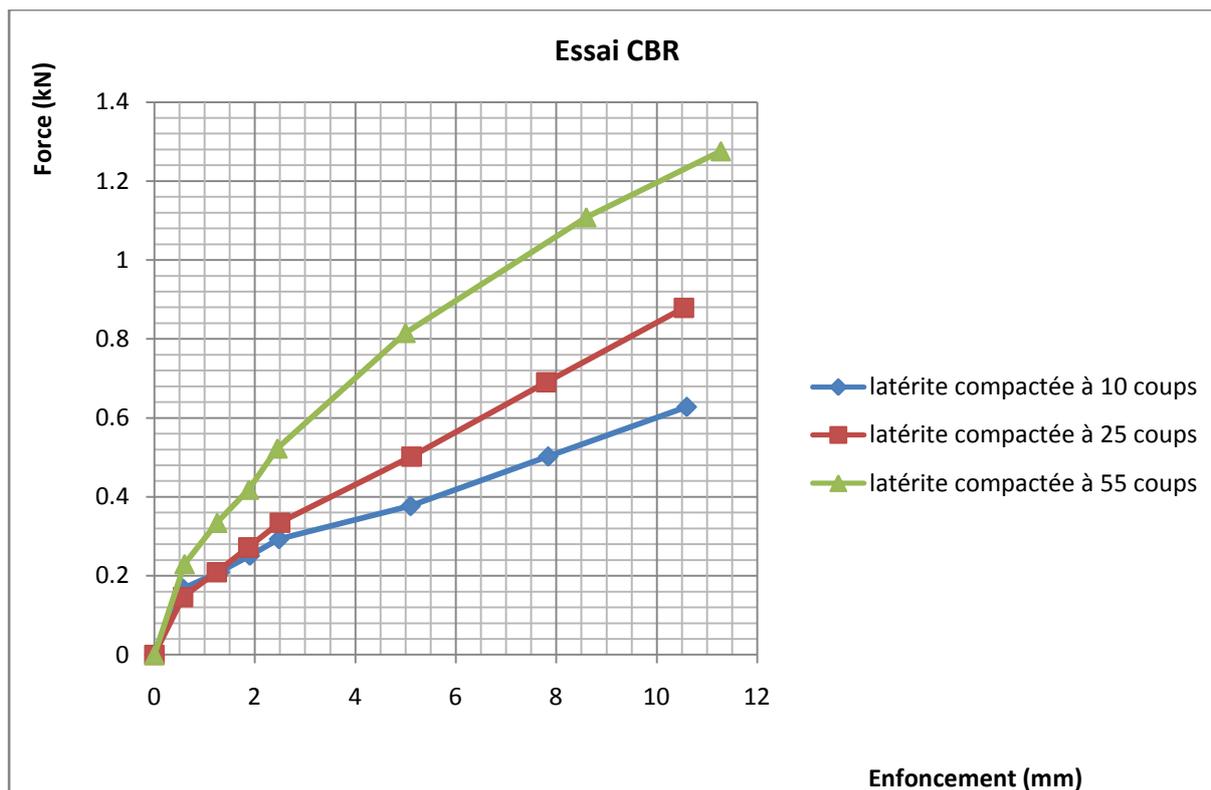


Figure 5: Courbes CBR de la latérite rouge un peu indurée

Les indices CBR des différents échantillons compactés sont les suivants :

Tableau 9 : Indices CBR de la latérite rouge un peu indurée crue

	Indices CBR après 4 jours d'immersion	Teneur en eau avant immersion	Teneur en eau après immersion	Augmentation de la teneur en eau
Échantillon compacté à 55 coups	4,08	14,92	15,60	0,68
Échantillon compacté à 25 coups	2,51	15,16	16,30	1,14
Échantillon compacté à 10 coups	2,19	15,00	17,69	2,69

De même, les résultats de cet essai effectué sur la latérite rouge meuble crue sont présentés dans le diagramme et le tableau ci après :

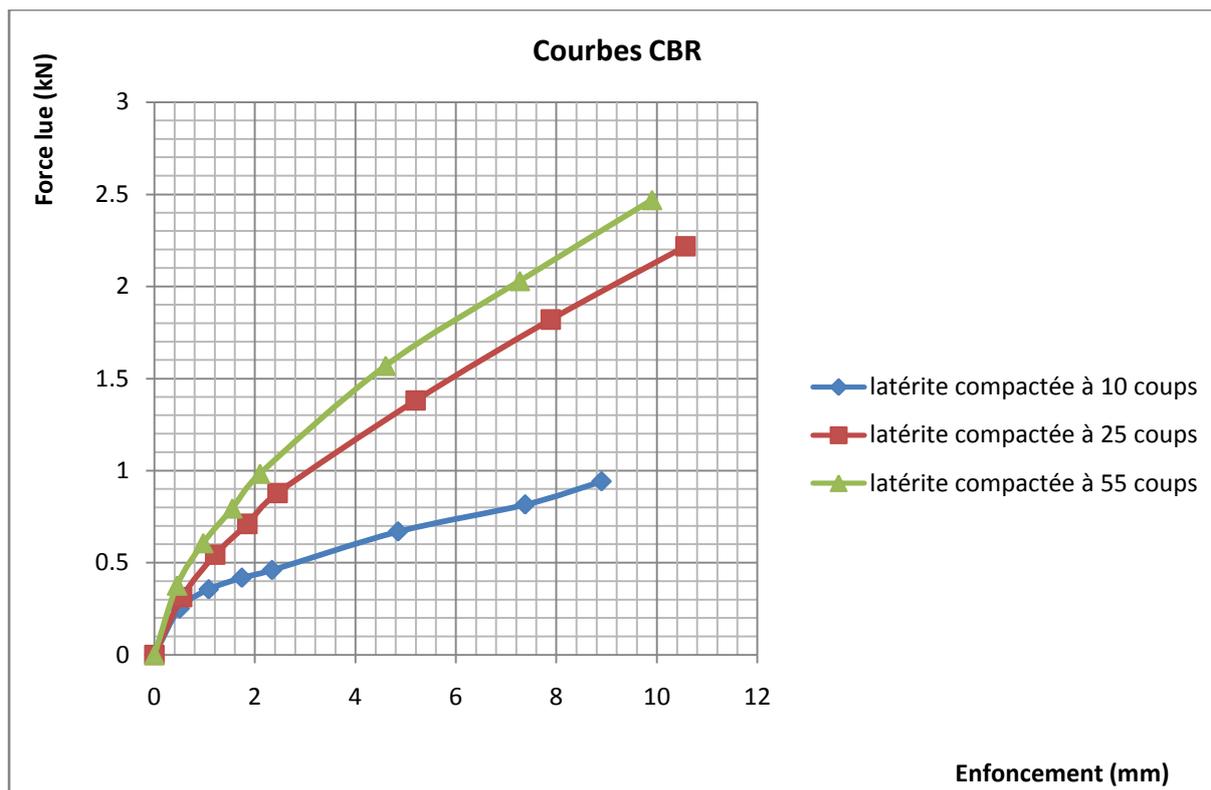


Figure 6 : Courbes CBR de la latérite rouge meuble

Les indices CBR des différents échantillons compactés sont les suivants :

Tableau 10 : Indices CBR de la latérite rouge meuble crue

	Indices CBR après 4 jours d'immersion	Teneur en eau avant immersion	Teneur en eau après immersion	Augmentation de la teneur en eau
Échantillon compacté à 55 coups	7,85	9,63	9,83	0,2
Échantillon compacté à 25 coups	6,90	9,23	10,00	0,77
Échantillon compacté à 10 coups	3,45	8,91	10,90	1,99

III.3 Essais de portance sur la latérite stabilisée au néré à différents dosages

Dans le souci d'améliorer de façon optimale les caractéristiques mécaniques des matériaux de moins bonne qualité utilisés dans la structure de chaussée des routes non revêtues, la stabilisation à différents dosages du néré de la latérite rouge un peu indurée et de la latérite rouge meuble étudiées ont été effectués ; car la qualité des matériaux a une influence non négligeable sur la qualité finale de la route (KASSOGUE, 2002). Notre souci est de densifier

le matériau qui constituera la couche de roulement des routes non revêtues afin de limiter le soulèvement de poussière, d'augmenter la résistance au poinçonnement, d'augmenter le niveau d'étanchéité et ainsi de limiter la dégradation rapide de la piste rurale. Les essais Proctor modifié et essai CBR ont été réalisés pour chaque dosage en néré. Les dosages considérés ont été de 2%- 3%- 4% correspondant respectivement aux concentrations de 125 g/l ; 180 g/l et 240 g/l pour la latérite rouge un peu indurée et de 60 g/l ; 125 g/l et 180 g/l pour la latérite rouge meuble.

III.3.1 Essai Proctor modifié et essai CBR

Après ajout de la préparation du néré à chaud à des dosages respectifs de 2 ; 3 et 4% dans les latérites étudiées, nous avons effectués les essais Proctor modifié et essai CBR comme précédemment pour les matériaux crus.

Les différentes courbes Proctor de la latérite rouge un peu indurée étudiée sont présentées sur le même graphe ci-après :

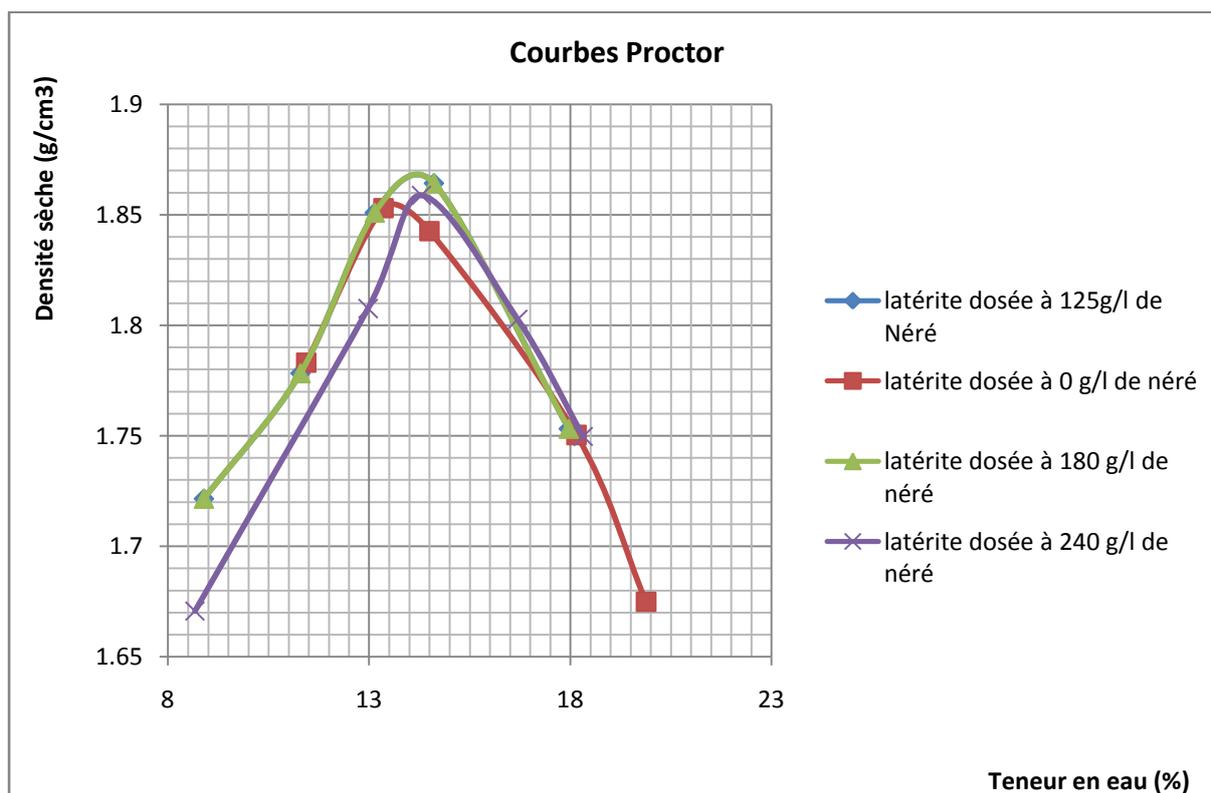


Figure 7 : Courbes Proctor de la latérite rouge un peu indurée stabilisée à différents dosages en Néré

A partir de ces courbes Proctor, nous présentons ci-dessous l'évolution de la densité sèche de la latérite stabilisée en fonction de la concentration en néré :

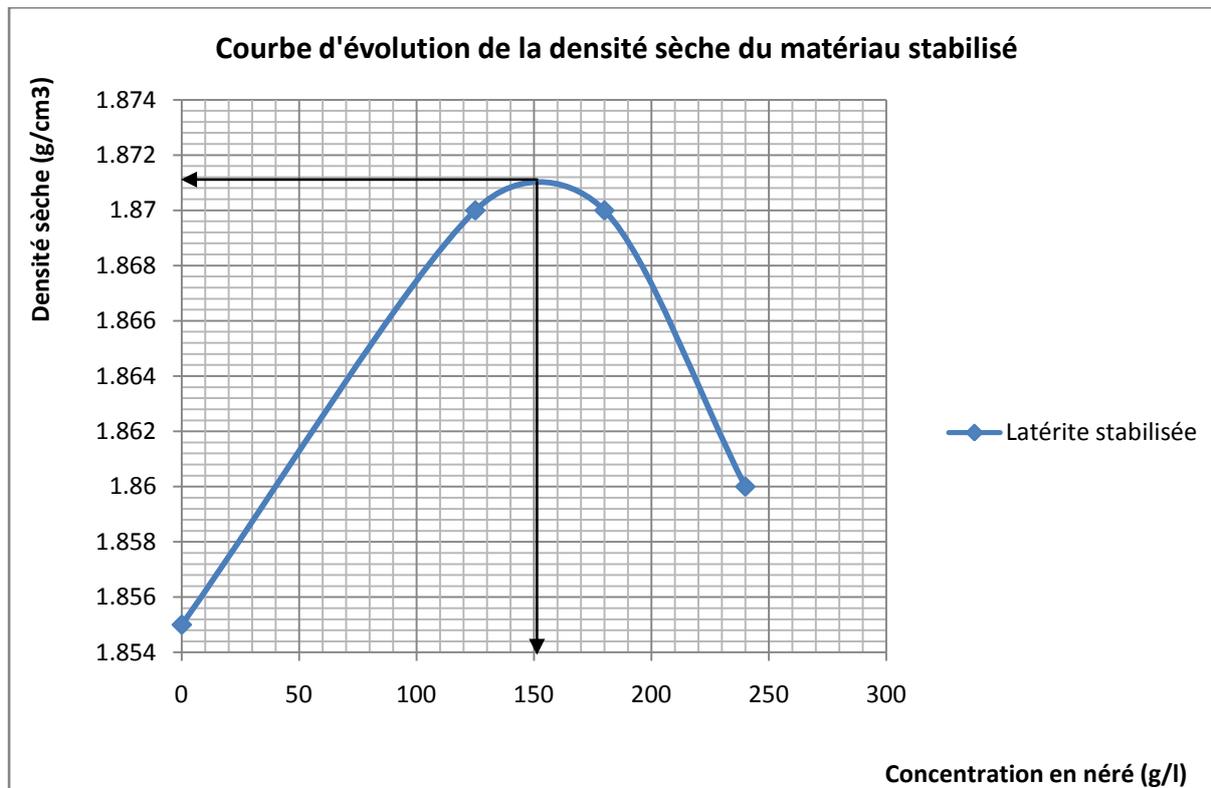


Figure 8: Évolution de la densité sèche de la latérite rouge un peu indurée stabilisée en fonction de la concentration en néré

A la suite du tracé de cette courbe, la densité sèche maximale de la latérite stabilisée au néré serait de **1,871 g/cm³** correspondant à une concentration en néré de **153g/l** ; ce qui a conduit à effectuer l'essai Proctor modifié sur le matériau stabilisé au néré à la dite concentration estimée ci-dessus. Cet essai a donné le même résultat que pour les concentrations respectives de **125 et 180 g/l**, à savoir une densité sèche optimale de **1,87 g/cm³** pour une teneur en néré optimale de **14,1%**.

La concentration optimale de néré de stabilisation de la latérite rouge un peu indurée serait donc de **125, 75 g/l**.

De même que pour la latérite rouge un peu indurée, les différentes courbes Proctor de la latérite rouge meuble stabilisée à différents dosage de néré sont présentées ci-dessous sur le même graphe :

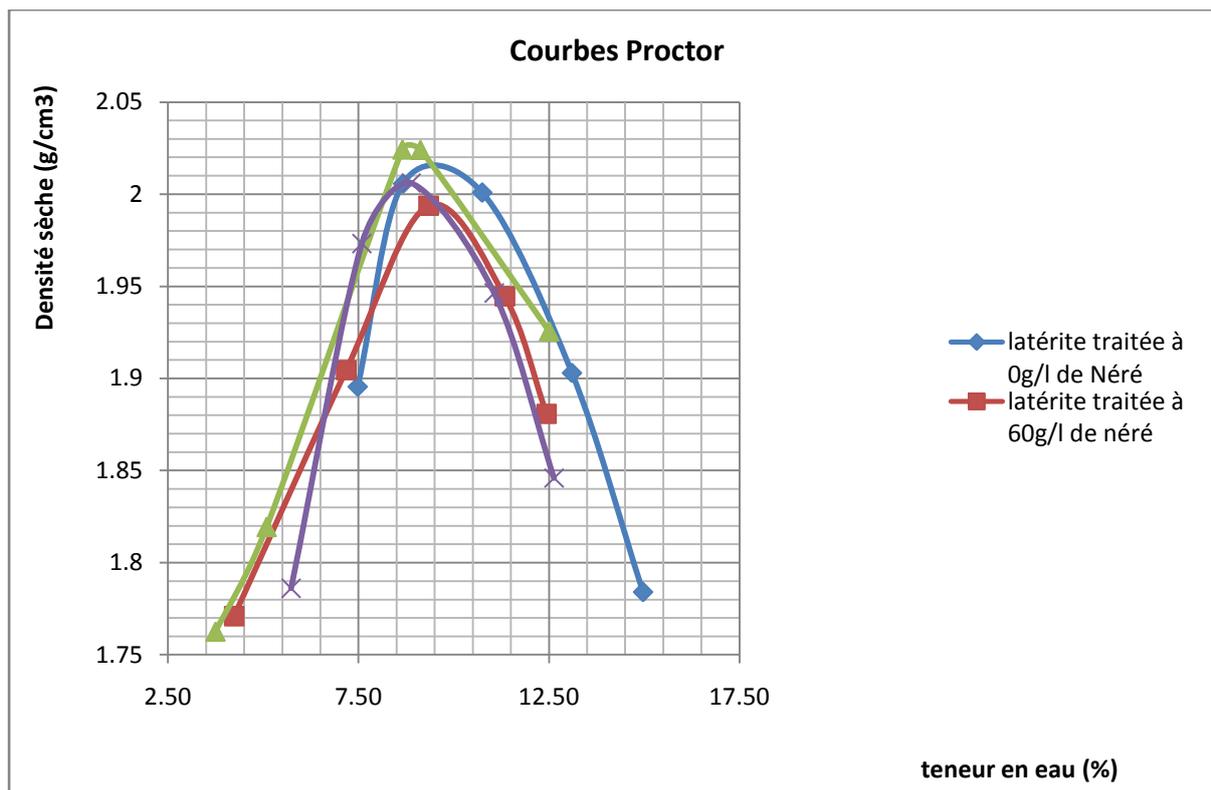


Figure 9 : Courbes Proctor de la latérite rouge meuble stabilisée à différents dosages de Néré

Ces courbes donnent les valeurs des densités sèches à l'optimum Proctor de la latérite rouge meuble stabilisée à chaque dosage de Néré permettant ainsi de représenter sur un autre graphe (voir figure 10) l'évolution de cette densité sèche en fonction de la concentration en Néré.

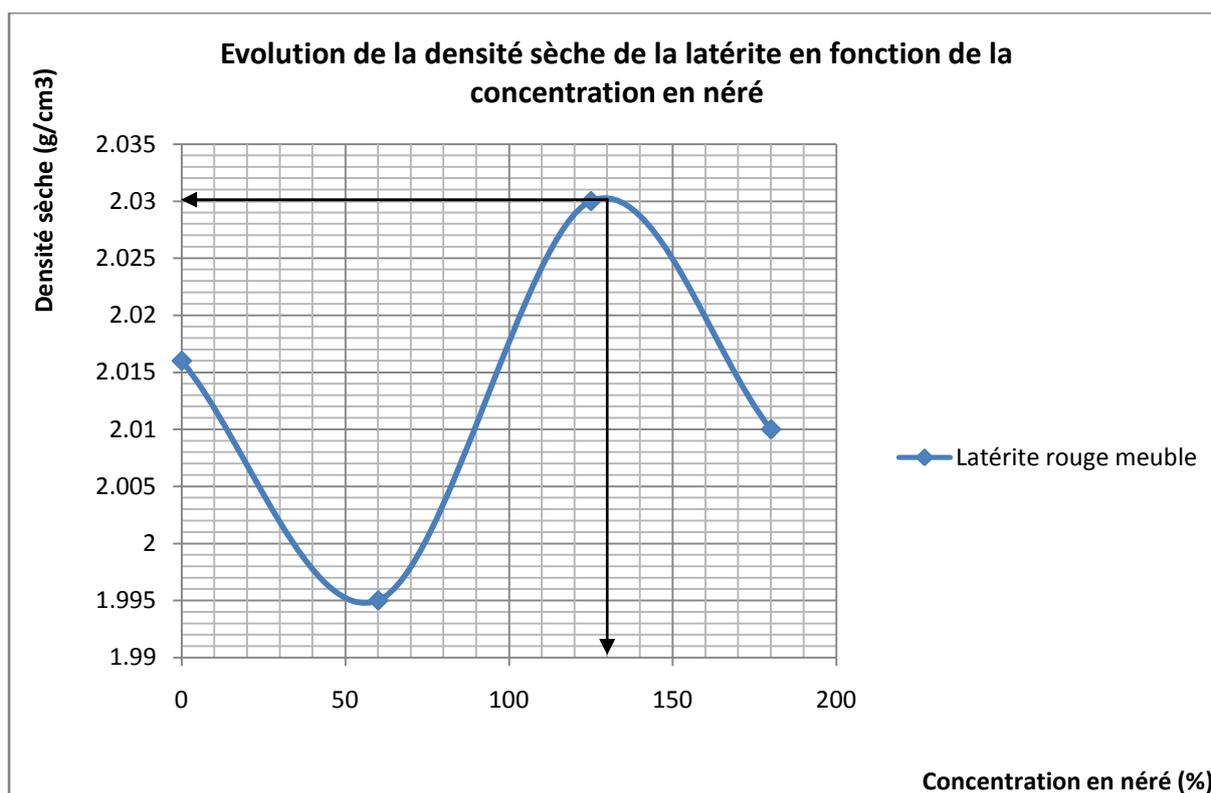


Figure 10 : Évolution de la densité sèche de la latérite rouge meuble stabilisée en fonction de la concentration en néré.

Ce graphe permet de déduire la concentration optimale en néré de stabilisation de la latérite rouge meuble qui est de **125, 73 g/l** comme pour la latérite rouge un peu indurée.

C'est ainsi que l'essai CBR a été effectué sur trois (03) échantillons de latérite traitée au néré à la concentration de **125 g/l** à la teneur optimale en néré de **14,1 %** pour la latérite rouge un peu indurée et de **8,85 %** pour la latérite rouge meuble et compactée respectivement à 55, 25 et 10 coups ; puis immergés dans de l'eau pendant quatre (04) jours afin de se mettre dans les conditions les plus défavorables rencontrées pendant la saison de pluies ou après une averse.

Les résultats de cet essai CBR sont illustrés sur la figure ci-dessous pour la latérite rouge un peu indurée.

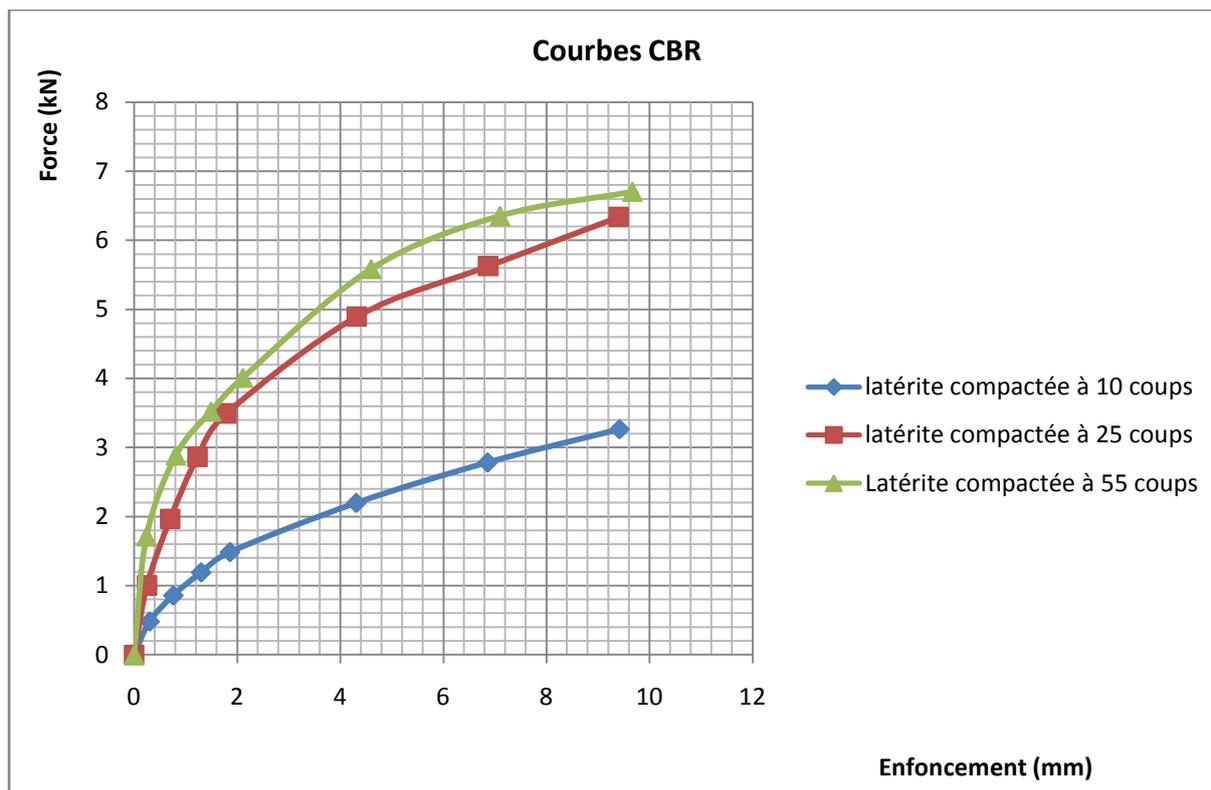


Figure 11: Courbe CBR de la latérite rouge un peu indurée stabilisée à la concentration en Néré de 125 g/l

Les indices CBR des différents échantillons compactés sont les suivants :

Tableau 11 : Indices CBR de la latérite rouge un peu indurée stabilisée à la concentration en néré de 125 g /l

	Indices CBR après 4 jours d'immersion	Teneur en eau avant immersion	Teneur en eau après immersion	Augmentation de la teneur en eau
Échantillon compacté à 55 coups	30,05	11,69	12,20	0,51
Échantillon compacté à 25 coups	26,17	11,99	12,82	0,83
Échantillon compacté à 10 coups	11,13	12,83	13,73	0,9

De même les résultats de l'essai CBR pour la latérite rouge meuble sont présentés sur la figure ci-dessous :

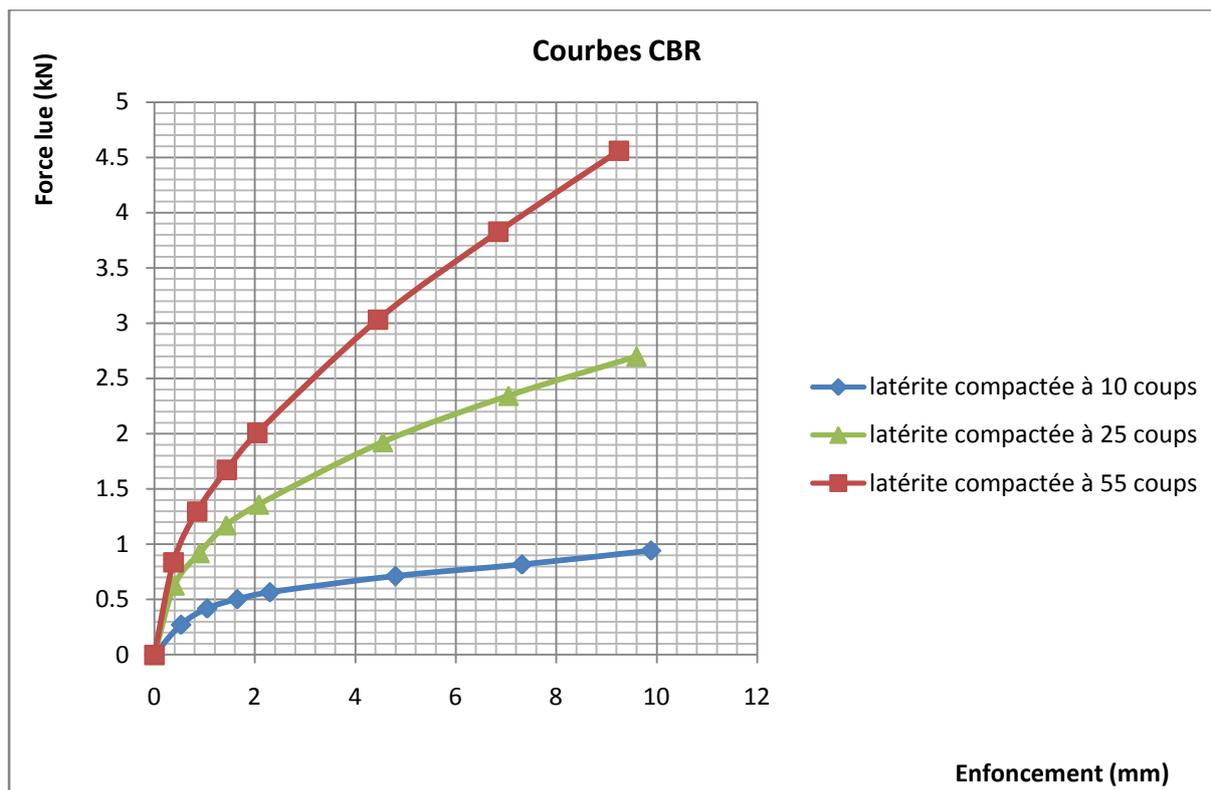


Figure 12: Courbe CBR de la latérite rouge meuble stabilisée à la concentration en Néré de 125 g/l

Les indices CBR des différents échantillons compactés sont les suivants :

Tableau 12 : Indices CBR de la latérite rouge meuble stabilisée à la concentration en néré de 125 g /l

	Indices CBR après 4 jours d'immersion	Teneur en eau avant immersion	Teneur en eau après immersion	Augmentation de la teneur en eau
Échantillon compacté à 55 coups	15,17	8,49	8,60	0,11
Échantillon compacté à 25 coups	10,19	8,36	8,91	0,55
Échantillon compacté à 10 coups	4,23	7,89	8,69	0,8

Dans le souci d'identifier les propriétés hydrauliques de la latérite stabilisée au néré à la concentration déterminée plus haut, la vitesse de dégradation des matériaux crus et stabilisés au néré sous l'action de l'eau a été observé au laboratoire toutes les minutes pendant cinq (05) minutes.

III.4 Mesure de la vitesse de dégradation des matériaux sous l'action de l'eau

L'essai a consisté, après avoir compacté des échantillons de latérite non traitée et latérite traitée à la teneur en néré optimale à les immerger complètement dans de l'eau pendant un certain temps et à noter leurs poids respectifs toutes les minutes pendant cinq (05) minutes. Des vues de ces matériaux avant immersion et après deux (02) minutes d'immersion dans de l'eau sont présentées sur la photo 11.



Latérite stabilisée- Latérite crue avant immersion



Latérite crue après deux minutes d'immersion



Latérite stabilisée après deux minutes d'immersion

Photo 12 : Matériaux à différentes périodes de la mesure de la vitesse de dégradation

Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau ci- après :

Tableau 13 : Masses des échantillons de latérite crue et stabilisées au néré immergées dans de l'eau

Durée (mn)	Masse de la latérite crue (kg)	Masse de la latérite stabilisée au néré (kg)
0 [°]	4,20	4,25
1 [°]	3,80	4,20
2 [°]	3,45	4,10
3 [°]	3,10	4,10
4 [°]	3,10	4,10
5 [°]	2,90	4,10

III.5 Essai de compression simple

Cet essai consiste à déterminer la résistance à la compression d'un matériau à l'aide d'une presse et d'un système de mesure présentée à la photo 13. Dans le cadre de cette étude, il sera appliqué à de la latérite rouge un peu indurée crue et à de la latérite rouge un peu indurée stabilisée au néré.



Photo 13 : Appareillage nécessaire

La résistance à la compression simple σ_c s'exprime par le rapport de la force appliquée à la section. L'essai a été effectué sur trois échantillons de terre rouge un peu indurée compactée à

la teneur en eau optimale à 55 coups et sur trois échantillons de terre rouge un peu indurée stabilisée au néré à la concentration optimale déterminée plus haut et compactée à 55 coups tous âgés de sept (07) jours. Les valeurs présentées dans le tableau ci-dessous correspondent aux valeurs moyennes obtenues des deux séries de trois échantillons de latérite crue d'une part et de latérite stabilisée au néré d'autre part.

Tableau 14 : Résistance à la compression des échantillons de latérite crue et stabilisée au néré

	charge à la rupture P (kN)	Section de l'éprouvette (m²)	Résistance à la compression (MPa)
latérite crue	30,67	0,02	1,69
latérite stabilisée au néré	34,37	0,02	1,90

IV APPLICATION DE LA DITE TECHNIQUE A LA CONSTRUCTION ROUTIERE

Afin d'appliquer la dite technique traditionnelle à la construction routière, les caractéristiques d'un projet de construction de piste rurale quelconque ont été définies par hypothèse. Ces hypothèses concernent respectivement le trafic, la nature et les caractéristiques (physique et mécanique) du sol en place. Les modes de déplacements et de transport des populations rurales devant subvenir à leurs besoins et satisfaire les exigences économiques et sociales sont les suivants : bicyclette, mobylette, charrette à traction animale (deux à quatre roues) ou humaine, bus (plus de 20 places), les taxis ruraux (pick up, minibus, voiture). Nous considérons un trafic d'environ trente (15) véhicules par jour constitué de ces moyens de transport ci-dessus cités. Nous rappelons ici qu'il ne s'agit que d'une simple piste en terre constituant une voie de desserte de village et ceci avec les matériaux disponibles sur place par exemple la latérite rouge meuble étudiée ci dessus ; d'où l'importance d'améliorer les qualités des matériaux s'ils sont de moins bonnes qualités pour la construction des dites pistes. Cette application est en ligne droite avec la méthode **HIMO** basée principalement sur l'emploi des ressources disponibles sur place (matériaux et main d'œuvre) et avec le recours très limitée à l'entreprise privée dans la construction et les travaux d'entretien des pistes rurales de desserte (DAHBI, 2006).

IV.1 Dimensionnement de la structure de chaussée d'une piste rurale stabilisée au néré

La structure de chaussée de cette piste rurale sera constituée d'une seule couche de sol correspondant à la couche de roulement, composée des matériaux que l'on trouve sur le tracé de la route ou aux abords immédiats. Il s'agit de déterminer l'épaisseur minimale de cette couche en latérite traitée au néré devant supporter le trafic en tout temps et ceci dans des conditions un peu plus confortables en temps de pluie.

➤ Classe du trafic

Le nombre de véhicules empruntant la piste par jour étant de quinze (15) environ ; le pourcentage de poids lourds de plus de 3 tonnes est pris égal 30% environ du trafic total. Le nombre de poids lourds de plus de 3 tonnes par jour est estimé à cinq (05).

➤ **Épaisseur de la couche de chaussée**

La détermination de l'épaisseur de la chaussée (voir annexe 1) est effectuée dans le cadre de cette étude à l'aide de la formule de Peltier qui traduit les abaques RRL (CEBTP, 1980) :

$$e = \frac{100 + (75 + 50 \times \log \left[\frac{N}{10} \right]) \sqrt{P}}{\text{CBR} + 5}$$

e = épaisseur de la couche en cm ;

N = nombre de poids lourds de plus de 3 tonnes par jour ;

P = Poids de la roue maximale en tonnes (ou de deux roues jumelées)

CBR : indice CBR corrigé obtenu après 4 jours d'immersion permettant ainsi de se placer dans les cas les plus défavorables.

$$e = \frac{100 + (75 + 50 \times \log \left[\frac{N}{10} \right]) \sqrt{P}}{\text{CBR} + 5}$$

Pour un poids lourd de PTAC de 3,5t à 2 essieux, le poids de la roue maximale en tonnes est de **1,75t** ; l'indice CBR est celui de la latérite étudié non stabilisée et stabilisée au néré compacté à 10 coups (en considérant ainsi un compactage manuel sur le terrain).

Les résultats du calcul de l'épaisseur de la couche de chaussée dans le cas de la latérite stabilisée au néré et dans le cas de la latérite non stabilisée sont donnés dans le tableau ci après :

Tableau 15 : Épaisseur de chaussées construites avec de la latérite crue d'une part et avec de la latérite stabilisée au néré d'autres parts

	CBR	N	P (t)	e (cm)
Latérite non traitée	4,08	5	1,75	20
Latérite traitée au néré	11,13	5	1,75	12

L'épaisseur de la couche de chaussée réalisée avec de la latérite stabilisée au néré ainsi trouvée est de douze (12) cm. A cette épaisseur minimale de la couche est ajoutée une surépaisseur utile pour pallier l'usure des matériaux sous le trafic.

L'usure annuelle des matériaux des routes en terre d'Afrique tropicale sous un trafic de quinze (15) véhicules par jour est estimée à **1 cm**. (CEBTP, 1980) Ainsi, l'épaisseur définitive de la chaussée réalisée avec de la latérite stabilisée au néré est **treize (13) cm**.

La structure de la piste rurale à partir de la latérite stabilisée au néré et dimensionnée ci-dessus est présentée dans la figure suivante :

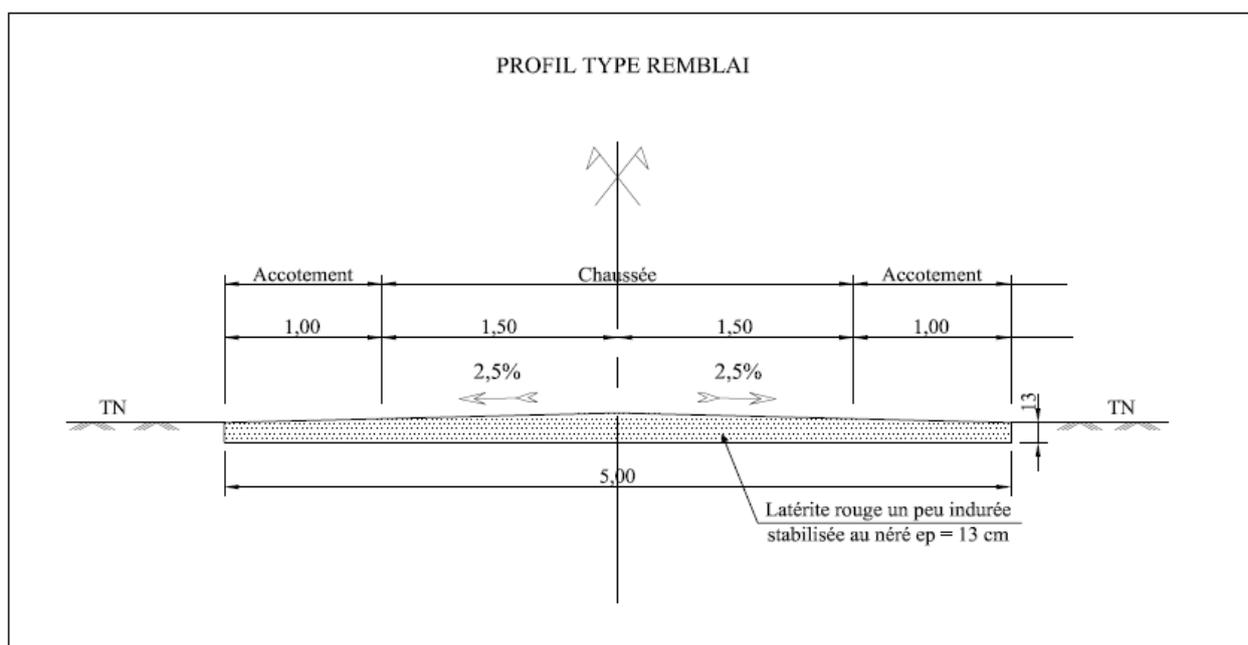


Figure 13: Profil en travers type remblai de la piste en latérite rouge dure traitée au néré à la concentration de 125 g/l

IV.2 Travaux d'entretien

Les travaux d'entretien des pistes de desserte de village doivent répondre à cinq (05) nécessités à savoir : maintenir le passage du trafic dans des conditions définies que les usagers doivent connaître, sauvegarder la sécurité des véhicules, conserver au patrimoine routier sa pérennité en veillant au bon état des éléments qui conditionnent la durée de vie de la chaussée, protéger le confort des usagers ainsi que des riverains et conserver le bon aspect de l'ensemble formé par la route et ses abords. Une piste en latérite non traitée est sujette à la formation de tôle ondulée sous l'action du trafic, des déformations par pertes de matériaux, d'orniérage et d'affaissement localisée (due à un défaut de compactage ou de surcharge), de nids de poule, de têtes de chat, de boubier (due à une mauvaise géométrie ou un retard dans l'entretien), de ravines. Dans le souci de limiter ces dégradations et de conserver autant que

faire se peut les caractéristiques que lui a donné en général son constructeur, deux niveaux d'entretien sont généralement préconisés : *l'entretien courant* et *l'entretien périodique*.

L'entretien courant comprend toutes les opérations au jour le jour effectuées par une équipe affectée en permanence à ces activités, et faisant surtout appel à des procédés manuels utilisant des outils simples. L'entretien consiste à gratter les éventuelles ondulations avec une cadence de manière à ce qu'elles n'atteignent jamais une amplitude inacceptable ; à reprendre les matériaux meubles qui ont été rejetés latéralement pour les répandre systématiquement sur la chaussée ; à combler avec des matériaux appropriés et soigneusement compactée les nids de poule qui doit être le même que celui qui a été utilisé pour la construction de la chaussée ; à arroser légèrement la chaussée en saison sèche ou utiliser un produit déliquescent ou hygroscopique pour lutter contre le soulèvement des poussière. Les dépôts ou autres matières et la végétation sur les accotements doivent être régulièrement extraits pour permettre l'évacuation rapide des eaux. Un curage régulier des fossés est indispensable.

L'entretien périodique concerne des remises en états et des réparations importantes. Malgré l'entretien courant certaines dégradations peuvent prendre de l'ampleur (formation avancée des tôles ondulées et de nids-de-poules) et nécessiter à cet effet, un reprofilage mécanisé et un rechargement manuel ou mécanisé. La périodicité de ces deux types d'entretien est fonction du niveau de circulation, de la nature des matériaux, du climat, etc.

Les résultats des études mécaniques et hydrauliques sur la latérite traitée au néré effectués au laboratoire en comparaison avec celles de la latérite non traitée étudiée ci-dessus permettent de constater les différentes améliorations qui pourraient être obtenues pour une piste rurale réalisée à l'aide de ce matériau. Il s'agit entre autres de la limitation de pertes de matériaux sous l'action du trafic et du soulèvement de poussière, la limitation de la formation de ravines sous l'action de l'eau. C'est ainsi que la fréquence des travaux d'entretien courant et même périodique est réduite pour une piste en latérite traitée au néré. Il faudrait néanmoins en cas de rechargement traiter les matériaux d'apport avec du néré.

V INTERPRETATION DES RESULTATS

Les principaux résultats obtenus au cours de cette étude sont respectivement la maîtrise des techniques traditionnelles de stabilisation et de construction en pays Gurunsi présentées dans la deuxième partie du dit ouvrage, la caractérisation physique de la latérite non traitée au néré, la portance de la latérite non stabilisée et de la latérite stabilisée au néré à la concentration optimale et les caractéristiques hydrauliques de la latérite traitée et non traitée.

V.1 Caractéristiques physiques du matériau non traité

Parmi les matériaux utilisés dans la construction en pays Gurunsi, ceux qui pourraient être utilisés dans la construction des pistes de desserte de village sont la terre rouge un peu indurée et la terre rouge meuble. Les différentes caractéristiques physiques de ces derniers obtenues après réalisation des essais d'identification sont les suivantes :

Tableau 16 : Caractéristiques physiques des matériaux utilisés pour la construction de la piste

<i>Caractéristiques de base</i>	Terre rouge un peu indurée	Terre rouge meuble
Profondeur (m)	0,5	3
Teneur en eau naturelle (%)	19,49	3,4
Poids spécifiques (KN/m³)	27,5	27,4
Passant au tamis 80µm (%)	49,6	50,4
Teneur en argile (< 2µm) (%)	13	23,2
Limite de liquidité (%)	43	42
Limite de plasticité (%)	23	11
Indice de plasticité (%)	20	31
Activité d'argile	1,1	1,34
Teneur en eau optimum (%)	13,6	9,5
densité sèche maximum (g/cm³)	1,855	2,016

La latérite rouge meuble est identifiée selon la classification des sols fins (abaque de Casagrande) comme une **argile peu plastique**. (Voir figure 2). La latérite rouge un peu indurée est identifiée par contre comme un **sable argileux** selon la classification des sols grenus donnée par la classification des sols LCPC (voir annexe 3). La caractérisation de la granulométrie de chacun de ces types de sols est présentée dans le tableau ci après :

Tableau 17 : Caractéristiques physiques des matériaux utilisés pour la construction de la piste

	Cu	Type de granulométrie	Cc	Type de granulométrie
Terre rouge un peu indurée	139,13	Granulométrie étalée	2,40	Granulométrie bien graduée
Terre rouge meuble	126,09	Granulométrie étalée	0,73	Granulométrie mal graduée

V.2 Concentration optimale de nééré de stabilisation des matériaux

La détermination de cette concentration a été faite après la réalisation des essais Proctor à différents dosages de nééré sur la latérite rouge un peu indurée et sur la latérite rouge meuble. Les concentrations de 125 ; 180 et 240 g/l de nééré ont été utilisées pour la latérite rouge un peu indurée et celles de 60 ; 125 et 180 g/l ont été utilisées pour la latérite rouge meuble. Les résultats des densités sèches à l'optimum Proctor pour chacun de ces dosages et pour chaque latérite sont donnés dans le tableau ci après :

Tableau 18 : Récapitulatif des densités sèches à l'optimum Proctor à des dosages différents en Nééré

Concentration en Nééré (g/l)	Latérite rouge un peu indurée		Latérite rouge meuble	
	Teneur en nééré à l'optimum Proctor (%)	Densité sèche à l'optimum Proctor (g/cm ³)	Teneur en nééré à l'optimum Proctor (%)	Densité sèche à l'optimum Proctor (g/cm ³)
0	13,6	1,855	9,5	2,016
60	–	–	9,5	1,955
125	14,1	1,87	8,85	2,03
180	14,1	1,87	8,6	2,01
240	14,3	1,859	–	–

La figure ci-dessous présente pour chacun de ces deux matériaux l'évolution des densités sèches à l'optimum Proctor en fonction des concentrations en Nééré

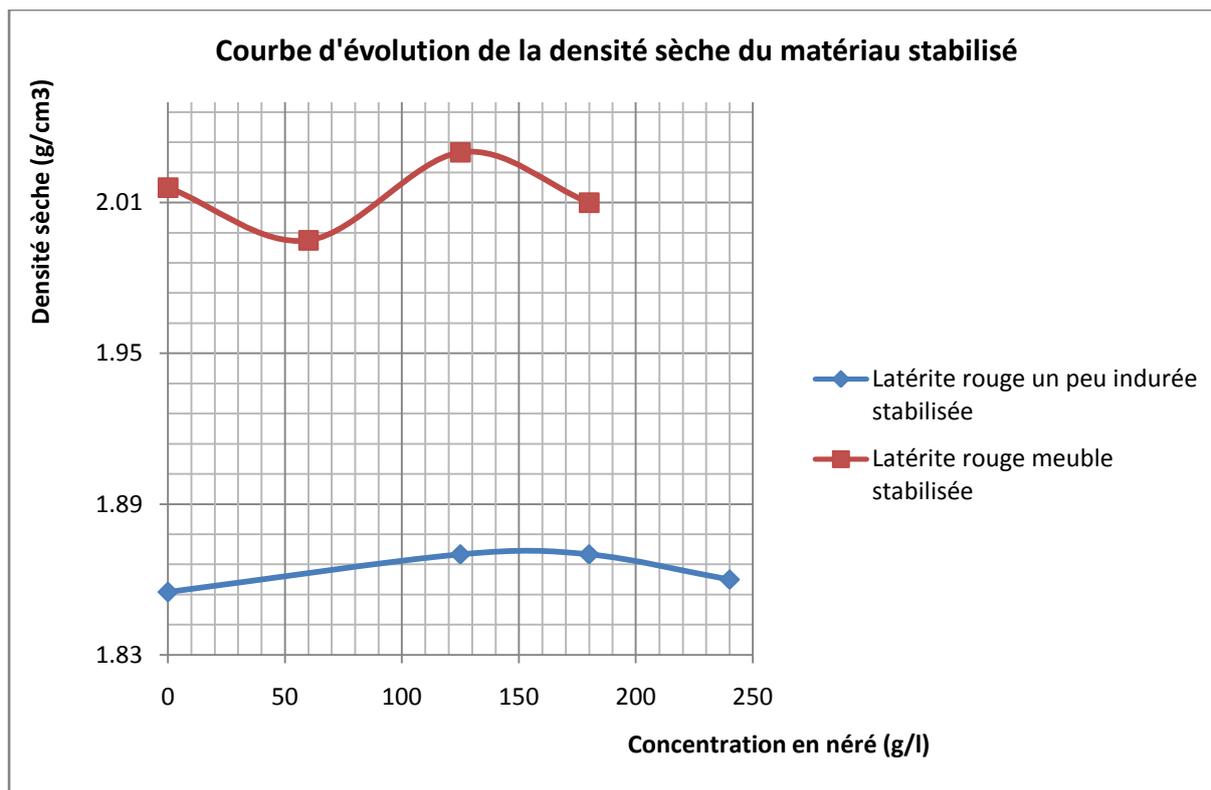


Figure 14 : Évolution de la densité sèche à l'optimum Proctor en fonction de la concentration en Néré

L'observation de ces deux courbes montre la variance de l'action du Néré sur chacun de ces sols. En effet, cette action est négligeable sur la densité sèche à l'optimum Proctor de chacun de ces deux matériaux ; A la concentration de **125 g/l** qui est celle donnant la plus grande densité sèche à l'optimum Proctor, l'augmentation est de **0,81 %** pour la latérite rouge un peu indurée et de **0,69 %** pour la latérite rouge meuble.

V.3 Portance de la latérite non stabilisée et de la latérite stabilisée au Néré à la concentration optimale

V.3.1 Latérite rouge un peu indurée

La réalisation de l'essai CBR sur la terre rouge un peu indurée non stabilisée à la teneur en eau à l'optimum Proctor d'une part et également sur la terre rouge un peu indurée stabilisée au Néré à la teneur en Néré à l'optimum Proctor d'autre part a conduit aux résultats présentés respectivement sur les figures 5 et 11, puis tableaux 9 et 11.

Les différents teneurs en eau déterminées au cours de l'essai avant et après immersion dans de l'eau permettent de constater une absorption en eau plus élevée dans le cas de la latérite non traitée au Néré contrairement au cas de la latérite traitée au Néré. C'est le cas par exemple

des échantillons compactés à 10 coups où l'augmentation de la teneur en eau est de **2,69 %** pour la latérite non traitée contrairement à **0,9 %** pour la latérite traitée au néré.

A la suite de ces résultats, nous illustrons ci après l'évolution de l'indice CBR de la latérite non stabilisée et de la latérite stabilisée au néré en fonction du nombre de coups de compactage à la teneur en eau de l'optimum Proctor :

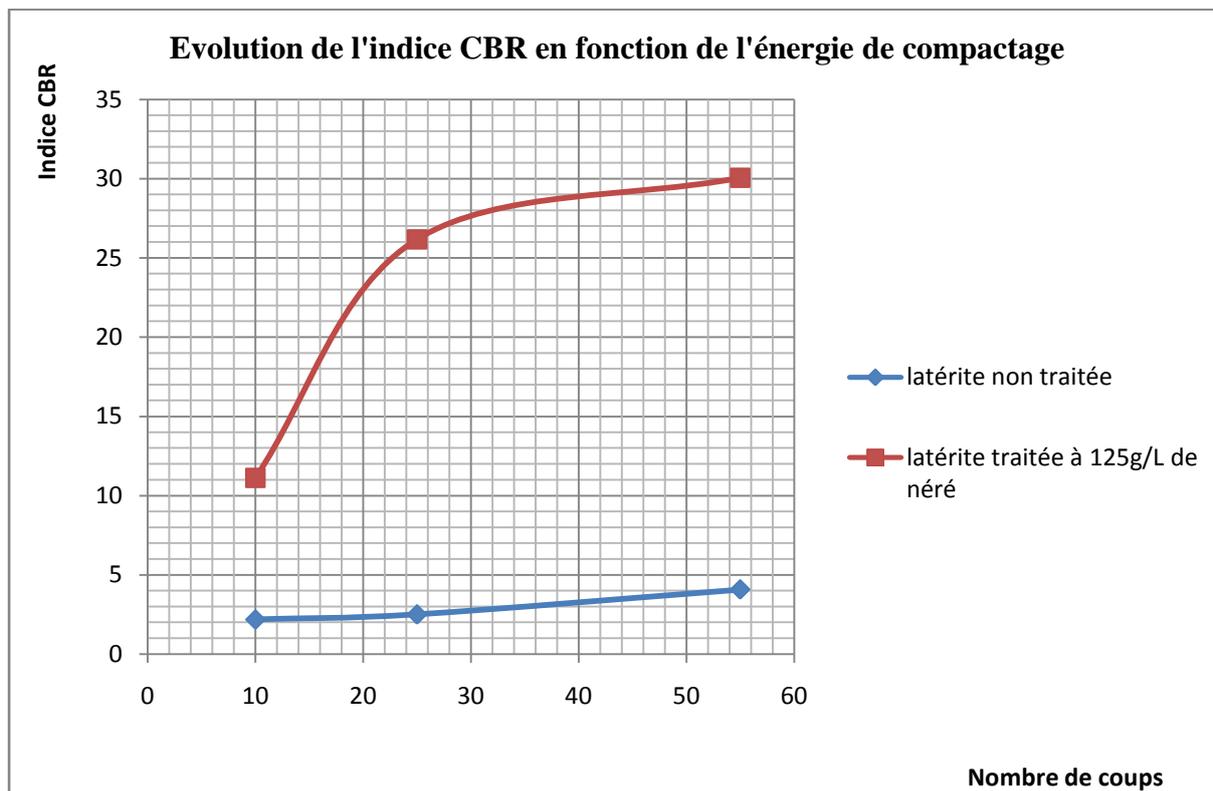


Figure 15: Évolution de l'indice CBR en fonction de l'énergie de compactage

Ces courbes permettent de constater une croissance de l'indice CBR de la latérite non traitée et traitée au néré avec l'énergie de compactage.

La deuxième remarque observée ici est l'augmentation de l'indice CBR de la latérite quand elle a été traitée au néré à la concentration ayant donnée la plus grande densité sèche à l'optimum Proctor c'est-à-dire la concentration de **125 g/l**. Cette augmentation est de l'ordre de **25,97 %** pour les échantillons compactés à 55 coups, de **23,66%** pour échantillons compactés 25 coups et de **8,94 %** pour les échantillons compactés à 10 coups.

V.3.2 Latérite rouge meuble

De même que pour latérite rouge un peu indurée, les résultats de l'essai CBR sur la latérite rouge meuble stabilisée et non stabilisée au néré sont présentés respectivement sur les figures 6 et 12 puis sur les tableaux 10 et 12.

Tout comme pour la latérite rouge un peu indurée, les résultats de l'essai CBR après quatre (04) jours d'immersion dans de l'eau de la latérite rouge meuble non traitée et traitée au néré montrent une absorption de l'eau plus grande dans le cas du matériau non traité. C'est le cas par exemple des échantillons compactés à 10 coups où l'augmentation de la teneur en eau du matériau non traité est de **1,99%** contrairement à celle du matériau traité qui est de **0,8 %**.

L'évolution de l'indice CBR de la dite latérite traitée et non traitée au néré en fonction de l'énergie de compactage est présentée sur la figure ci-dessous :

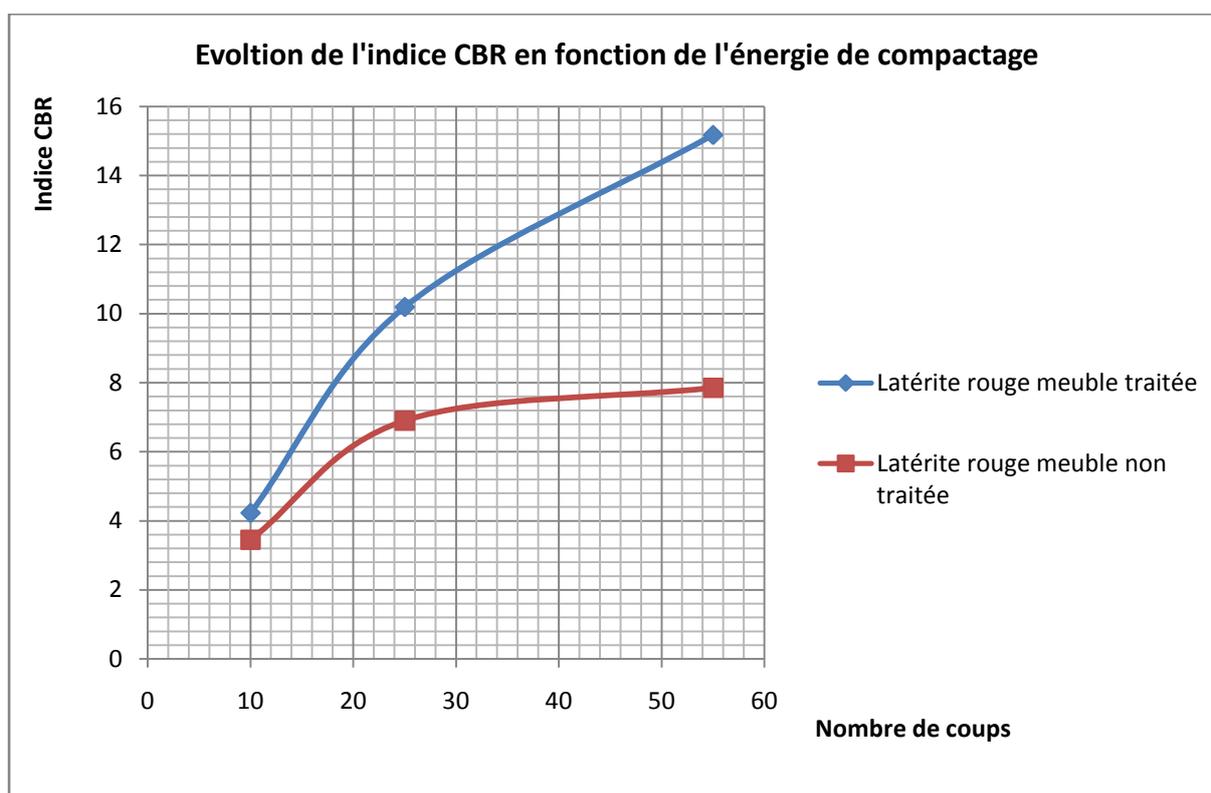


Figure 20 : Évolution de l'indice CBR de la latérite en fonction de l'énergie de compactage

De ces deux courbes, il en ressort deux observations : d'une part la croissance de l'indice CBR de la latérite rouge meuble traitée et non traitée avec de l'énergie de compactage et d'autre part pour une énergie de compactage donnée, la croissance de l'indice CBR de la

latérite traitée au néré par rapport à celui de la latérite non traité. Pour les échantillons compactés à 55 coups par exemple, cette croissance est de l'ordre de **7,32 %**.

Les résultats de l'essai CBR sur la latérite rouge un peu indurée et sur la latérite rouge meuble tous non traitées et traitées au néré ont permis de constater l'action du néré plus élevé en terme d'augmentation de l'indice CBR dans le cas de la latérite rouge un peu indurée par rapport à la latérite rouge meuble. En effet, pour des échantillons de terre compactés à 55 coups, l'augmentation de l'indice CBR dans le cas de la latérite rouge un peu indurée est de **25,97 %** contrairement à celle de l'indice CBR dans le cas de la latérite rouge meuble qui n'est que de **7,32 %**; d'où l'importance d'étudier la composition chimique des gosses de néré pour prévoir les différentes réactions possibles lorsque la préparation de néré est mélangée à de la terre afin d'identifier les types de sols qui, traités au néré donneraient des meilleurs résultats de stabilisation en terme d'amélioration de portance.

V.4 Résistance à la compression simple du matériau traité et non traité au néré

La résistance à la compression simple de la latérite rouge un peu indurée traitée et non traitée au néré à sept (07) jours de maturité a donné les résultats (valeurs moyennes de trois échantillons de chaque cas) présentés dans le tableau 14.

L'observation de ces résultats permet de constater une augmentation de la résistance à la compression de la latérite lorsqu'elle est traitée au néré à la concentration optimale déterminée plus haut ; cette augmentation est de l'ordre de **12,43%** ; ce qui n'est pas négligeable et ce qui indique que le néré augmente la résistance à la compression simple de la latérite.

V.5 Caractéristiques hydrauliques du matériau traité et non traité

L'étude hydraulique du matériau a été essentiellement basée sur l'observation de la vitesse de dégradation des échantillons de latérite non stabilisé et stabilisée au néré. Cet essai a permis de relever les résultats observé dans le tableau 13

Ces résultats sont illustrés sous forme de graphique dans la figure ci-dessous :

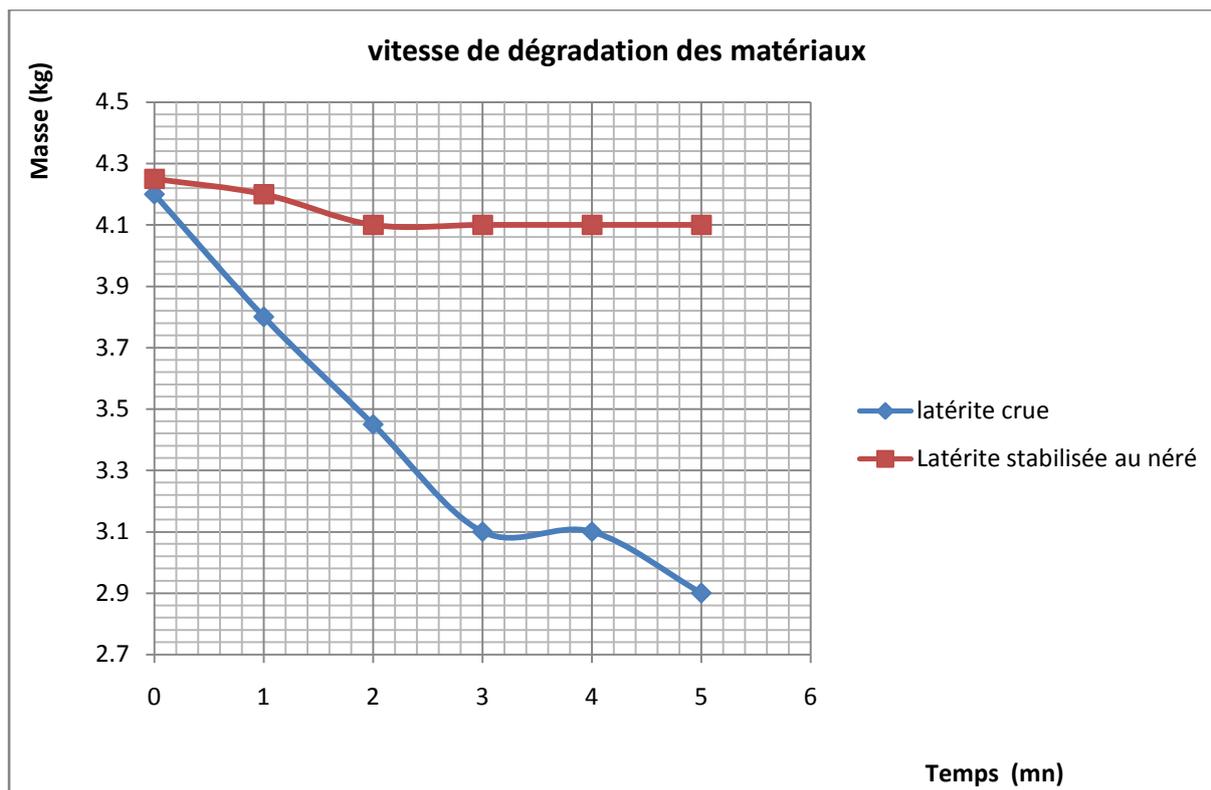


Figure 21: Évolution de la dégradation des matériaux sous l'action de l'eau

L'observation de ces courbes permet de constater l'action brutale de l'eau sur la latérite non traitée contrairement à son action plus modérée sur la latérite traitée au néré à la concentration déterminée plus haut. Le matériau non traité perd **30,95 %** de sa masse en cinq (05) minutes d'immersion dans de l'eau tandis que le matériau traité au néré perd seulement **3,52 %** de sa masse en cinq (05) minutes d'immersion totale dans de l'eau. Ce qui permet ainsi de conclure que le néré augmente également le niveau d'étanchéité du matériau.

VI CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La présente étude se voulait de contribuer à l'amélioration de la mobilité des personnes et des marchandises, notamment en milieu rural par application des techniques traditionnelles de stabilisation des sols latéritiques en pays Gurunsi dans les constructions des pistes routières.

Six types d'ouvrage sont construits en terre en pays Gurunsi : le lit à coucher, le bac à vaisselle, l'armoire, l'Évier traditionnel, le grenier et l'habitation. Les habitations y sont de deux types : les habitations en forme circulaire avec toiture terrasse ou en paille, les habitations en forme polygonale (forme rectangulaire ou en forme de huit) avec toiture terrasse. Plusieurs types de matériaux y sont utilisés dans la construction : la terre rouge un peu indurée, la terre rouge meuble, la terre rouge jaunâtre sous la terre noire, la terre blanche collante et la terre noire rentrant dans le corps de la maison ; la bouse de vache, la cendre, le goudron et la préparation de néré à partir des gousses de néré et de l'eau sont utilisés pour réaliser les finitions. Après la préparation des matériaux disponibles, la construction se fait suivant les grandes étapes ci-après : l'implantation par tracé au sol de la forme de la maison, la fondation en briques de terre, l'élévation des murs en mottes ou en briques de terre par la méthode de « **colombinage** », la réalisation de la toiture, et les finitions (enduits et décorations des murs et dallages) réalisées par les femmes.

L'identification au laboratoire des sols utilisés dans la construction a permis de les classer comme des sables argileux pour les terres rouges un peu indurée, terre rouge jaunâtre sous la terre noire, terre blanche collante et terre noire ; et comme argile peu plastique pour la terre rouge meuble. L'étude des propriétés mécaniques et hydrauliques de la latérite rouge un peu indurée et de la latérite rouge meuble non stabilisées et stabilisées au néré a permis non seulement d'identifier les différentes améliorations apportées à ces dites terres par le néré mais également de déterminer la concentration de néré pour laquelle ces améliorations sont optimales. Cette concentration correspond à la valeur de **125 g/l**. C'est ainsi qu'il a été constaté que le néré n'a pas une action aussi prépondérante sur la densité sèche de chacun des deux matériaux à l'optimum Proctor (augmentation de l'ordre de 0,8 % pour la latérite rouge un peu indurée) ; il a conduit à l'augmentation de la portance de chacun des deux sols variant en fonction de l'énergie de compactage. De même, le néré augmente la résistance à l'action de l'eau de la terre étudiée de l'ordre de **27,45 %** ; il en est de même pour la résistance à la compression simple qui est augmentée de l'ordre de **12,43 %**.

L'amélioration de l'indice CBR par le néré est un peu plus importante dans le cas de la latérite rouge un peu indurée que celle de l'indice CBR de la latérite rouge meuble. La question soulignée ici est de savoir la composition chimique des gousses ou de la préparation de néré et celle de la terre à stabiliser ; ce qui permettra de prévoir les différentes réactions possibles et ainsi d'identifier tous les types de sols qui pourraient être stabilisés de façon optimale par ce matériau.

BIBLIOGRAPHIE

- AISSIOU F.Z., NECHNECH A.** (2009), Amélioration de caractéristiques mécaniques d'un sol argileux par incorporation de chaux, 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, 149-156
- BATIR ET DEVELOPPER.** (2000) L'architecture des Kassena du Burkina Faso, Une expression des espaces au féminin, 6p.
- CEBTP.** (1980), Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, Ministère de la coopération, France, 155p
- DAHBI A.** (2006), Techniques d'entretien des routes rurales, Séminaire international entretien des routes rurales enjeux et perspectives, 11p.
- GAPILI POFINET Patrick, 1996.** Étude de nouvelles techniques de traitement du sol par élimination de la poussière sur pistes ou dans la cour des usines par l'utilisation du CON-AID et ses dérivés, Mémoire de fin de formation d'Ingénieur, École Inter-états d'Ingénieur de l'Équipement Rural, 71 p
- HOUBEN H., GUILLAUD H.** (1989), Traité de construction en terre, Encyclopédie de la construction en terre, Editions Parenthèses, 355 p
- ISSAKOU A.** (2002), Étude des ouvrages de stockage de type traditionnel des produits vivriers dans le département de la Donga, Mémoire de fin de formation d'Ingénieur des Travaux, Université d'Abomey-Calavi, 88p
- KASSOGUE M., HEBERT G., MASSIERA M.** (2002), Contrôle de la qualité sur les matériaux dans les couches de chaussée (Revêtement exclu), 4^e conférence spécialisée en génie des transports de la société canadienne de génie civil, 10p
- LYON ASSOCIATES, BUILDING AND ROAD RESEARCH INSTITUTE.** (1971), Manuel pour le prélèvement et les essais des latérites, des sols latéritiques et d'autres sols difficiles d'Afrique, 56 p
- NTOUDA R.** (2009), Étude de la résistance mécanique des blocs de latérite ayant subi un traitement de renforcement, Mémoire de fin de formation de Master d'Ingénieur, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 86 p
- ODIER L., MILLARD R. S., PIMENTEL dos SANTOS, MEHRA S. R.** (1968), Routes dans les pays en voie de développement : conception-construction-entretien. Edition Eyrolles, 174 p.
- PAREZ L., SCHLOSSER F.** (1998), Géotechnique Tome 1-Essai de reconnaissance des sols, Paragraphic, 446p

ROBITAILLE V., TREMBLAY D. (1997), Mécanique des sols-Théorie et pratique, Modulo Éditeur, 652p

TRAORET A. (2002), Burkina Faso, Direction du patrimoine culturel du Burkina Faso-Agent de service des sites et monuments, 5-7

SITES INTERNET

<http://les.arbres.free.fr/fiche-nere.php> consulté le 15 Avril 2010

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Bouse> consulté le 15 Avril 2010

<http://mescoursdegeniecivil.wifeo.com/documents/Prsentation1.pdf> consulté le 27 Avril 2010

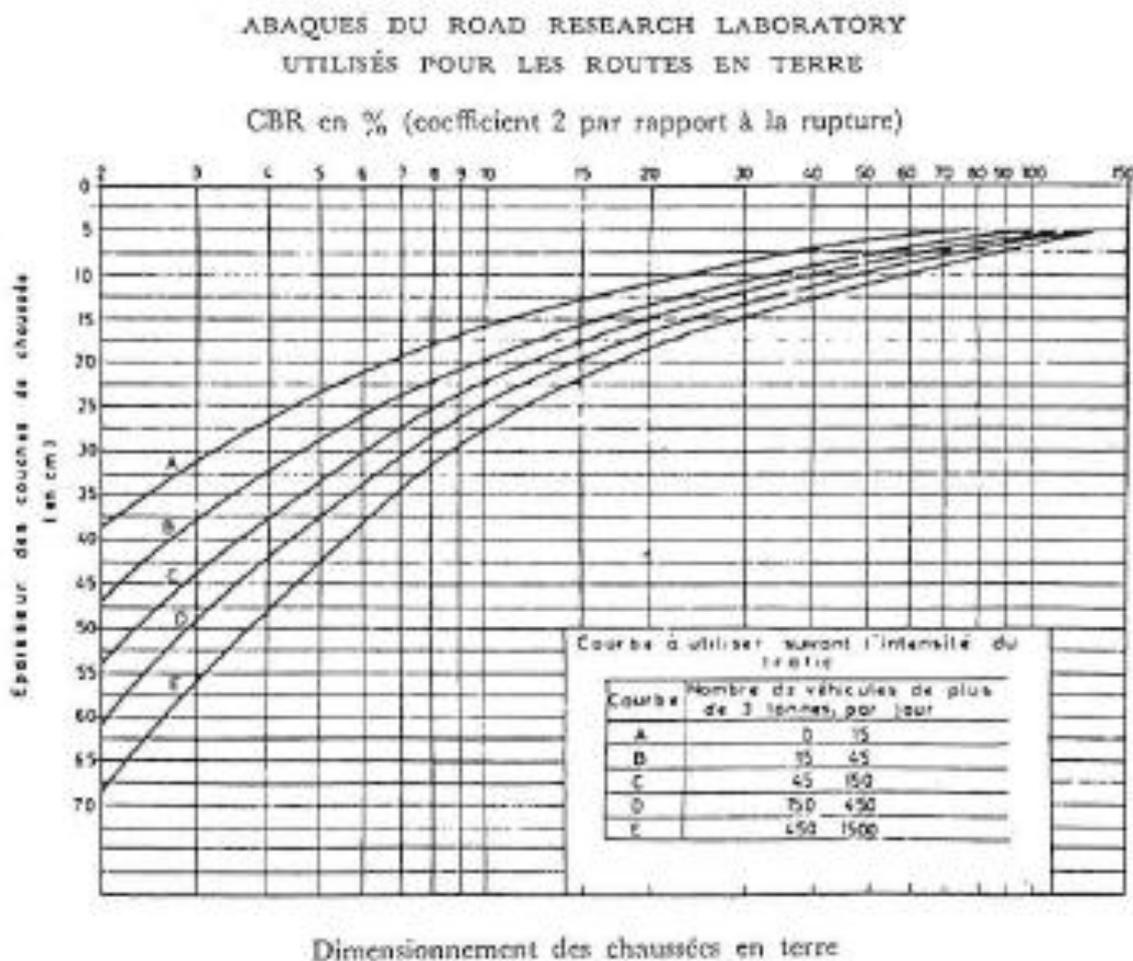
http://www.cours-genie-civil.com/IMG/pdf/TP_CBR_laboratoire_materiaux.pdf consulté le 30 Avril 2010

ANNEXES

SOMMAIRE DES ANNEXES

ANNEXE 1: ABAQUE DU ROAD RESEARCH LABORATORY	1
ANNEXE 2 : INTERPRÉTATION DE LA VALEUR DE BLEU DE MÉTHYLÈNE ET ORDRE DE GRANDEUR.....	2
ANNEXE 3: CLASSIFICATION DES SOLS LCPC.....	3
ANNEXE 4 : FICHE DE DETERMINATION DU POIDS SPECIFIQUE	4
ANNEXE 5 : ESSAI AU BLEU DE METHYLENE	5
ANNEXE 6 : LIMITES D'ATTERBERG : TERRE BLANCHE COLLANTE.....	6
ANNEXE 7 : LIMITES D'ATTERBERG : TERRE NOIRE.....	8
ANNEXE 8 : LIMITES D'ATTERBERG : TERRE ROUGE MEUBLE.....	9
ANNEXE 9 : LIMITES D'ATTERBERG : TERRE ROUGE SOUS TERRE NOIRE	10
ANNEXE 10: LIMITES D'ATTERBERG : TERRE ROUGE UN PEU INDUREE	11
ANNEXE 11 : FICHE D'ANALYSE GRANULOMETRIQUE : Terre rouge meuble	12
ANNEXE 12 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE : Terre rouge un peu indurée.....	13
ANNEXE 13 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE : Terre rouge sous terre noire	14
ANNEXE 14 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE : Terre blanche collante.....	15
ANNEXE 14 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE : Terre noire	16
ANNEXE 15 : SEDIMENTOMETRIE : Terre rouge meuble.....	17
ANNEXE 16 : SEDIMENTOMETRIE : Terre rouge un peu indurée.....	18
ANNEXE 17 : SEDIMENTOMETRIE : Terre rouge jaunâtre en dessous de la terre noire ...	19
ANNEXE 18: SEDIMENTOMETRIE: Terre blanche collante	20
ANNEXE 19 : SEDIMENTOMETRIE : Terre noire	21
ANNEXE 20 : Fuseaux des courbes granulométriques des sols prescrits pour la construction des routes non revêtues	22

ANNEXE 1: ABAQUE DU ROAD RESEARCH LABORATORY



ANNEXE 2 : INTERPRÉTATION DE LA VALEUR DE BLEU DE MÉTHYLÈNE ET ORDRE DE GRANDEUR

3.2 Interprétation de la VBS :

VBS < 0,1 : Sol insensible à l'eau

VBS = 0,2 : Apparition de la sensibilité à l'eau

VBS = 1,5 : Seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols sablo-argileux

VBS = 2,5 : Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne

VBS = 6 : Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux

VBS = 8 : Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux

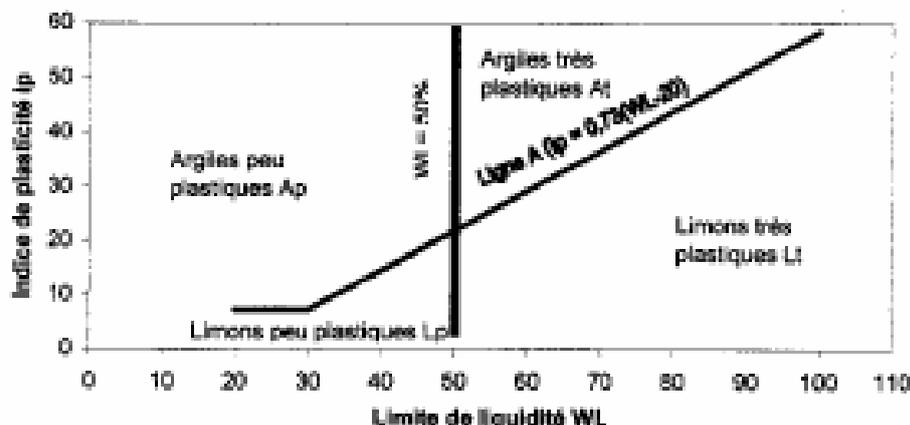
3.3 Ordre de grandeur :

Sable très propre	VBS < 0,1
Sables silteux, graves silteuses	0,1 < VBS < 0,2
Sables argileux, graves argileuses	0,2 < VBS < 1,5
Sables très argileux, graves très argileuses	1,5 < VBS < 3
Limons, sables fins	0,5 < VBS < 2,5
Sables fins argileux, limons argileux	2,5 < VBS < 6
Limons, argiles très plastique	6 < VBS < 8
Argiles très plastique	VBS > 8

ANNEXE 3: CLASSIFICATION DES SOLS LCPC

Classification des sols fins (plus de 50% des éléments ont un diamètre < 0,080 mm) :

Diagramme de plasticité et de classification des sols fins



Classification des sols grenus (plus de 50% des éléments ont un diamètre > 0,080 mm) :

Définitions		Symboles	Conditions	Désignation géotechnique
GRAVES	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm ont un diamètre > 2 mm	Moins de 5% d'éléments < 0,08 mm	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ et $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$	Grave propre bien graduée
		Moins de 5% d'éléments < 0,08 mm	Une des conditions de Gb non satisfaite	Grave propre mal graduée
		Plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au dessous de la ligne A (voir diagramme de Casagrande)	Grave limoneuse
		Plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au dessus de la ligne A	Grave argileuse
SABLES	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	Moins de 5% d'éléments < 0,08 mm	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ et $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$	Sable propre bien gradué
		Moins de 5% d'éléments < 0,08 mm	Une des conditions de Sb non satisfaite	Sable propre mal gradué
		Plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au dessous de la ligne A (voir diagramme de Casagrande)	Sable limoneux
		Plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au dessus de la ligne A	Sable argileux
Lorsque 5% < (% d'éléments < 0,08 mm) < 12% : on utilise un double symbole (ex: GL-Gb)				

ANNEXE 4 : FICHE DE DETERMINATION DU POIDS SPECIFIQUE



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

Poids Spécifique γ_s au pycnomètre à air

Numéro du bordereau de commande

:.....

Client : 2IE	Norme opératoire : - Voir fiche constructeur -
Chantier : Tiébélé	Provenance (Forage/puit, échantillon n°, profondeur, ..) :
Opérateur : GUETCHO et TALLA	Site de prélèvement des terres pour construction à Tiébélé
Date et heure début essai : 15/04/2010 à 11h00	

Remarques

A noter :

- 1 mWs = 0,1 bar,
- V_{lu} doit être supérieur à 600 cm³ ; sinon ajouter un volume d'eau d'environ 300 cm³,
- La pression de démarrage de l'essai est, par convention, de 23mWs (pression de départ de la chambre),
- L'étalonnage de pycnomètre ETSHER n° 96/01, donne la relation suivante entre V_{lu} et \bar{P}'

$$V_{lu} = \left(\frac{\bar{P}' - 4,4174}{\bar{P}' \text{ et étalonnage}} \right) \cdot 1\,214,7465$$

- La présente feuille Excel tiend compte pour les calculs de cet étalonnage.

Valeur à saisir

N° échantillon (le cas échéant)	Poids sec matériaux mis dans la cuve (g)	Volume d'eau distillé ajouté (cm ³)	Pression finale (P') cuve échantillon + chambres (mWs)				Valeur V_{lu} (cm ³)	γ_s (KN/m ³)
			1ère essai	2ième essai	3ième essai	\bar{P}' moyenne (mWs)		
Terre rouge sous terre noire	777,050	328,420	7,650	7,700	7,800	7,717	596,691	28,965
terrouge dolo	1130,670	351,010	10,150	10,150	10,270	10,190	763,030	27,442
terre noire	913,110	320,060	8,025	8,025	8,025	8,025	623,818	30,060
terre collante	758,130	441,580	9,028	9,030	9,030	9,029	697,733	29,597
terre rouge dure	826,280	356,280	8,400	8,500	8,400	8,433	656,279	27,543

ANNEXE 5 : ESSAI AU BLEU DE METHYLENE



ESSAI AU BLEU DE METHYLENE (VBS)

Numéro du bordereau de commande :

Client :	Norme de réf. : NF P 94-068	Titrage du Bleu :	10 g/l		
Chantier :	Remarques				
Opérateur : GUETCHO	Les prises 1 et 2 se font sur la fraction 0/5 : Prendre 30 à 60 g par prise pour les matériaux argileux, et 60 à 120 g pour les autres.				
Date & heure : 16/04/2010	- VBS ≤ 0,2 : sols sableux (sol insensible à l'eau) - 0,2 < VBS ≤ 2,5 : sols limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau) - 2,5 < VBS ≤ 6 : sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne) Cases à saisir - 6 < VBS ≤ 8 : sols argileux - VBS > 8 : sols très argileux				
Repère					
Sondage n° :	-				
Coord. : Voir plan de repérage	- Si VBS < 2 sol => non préjudiciable pour fondation d'ouvrage courant				
Désignations	Terre noire <small>(Epaisseur à m)</small>	Terre rouge sous terre noire <small>(Epaisseur à m)</small>	Terre rouge dure <small>(Epaisseur à m)</small>	Terre collante <small>(Epaisseur à m)</small>	Terre rouge dolo <small>(Epaisseur à m)</small>
IDENTIFICATION ECHANTILLON					
Dmax échantillon (en mm)	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
Masse sec du prélèvement (en g)	120,2 g	120,7 g	120,7 g	120,3 g	120,2 g
Masse sec passant le tamis de 5 mm (en g)	120,2 g	120,7 g	120,7 g	120,3 g	120,2 g
-> Coefficient pondérale C fraction 0/5	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
TENEUR EN EAU (prise n°2)					
Poids humide prise n°2 (en g)					
Poids sec prise n°2 (en g)					
-> Teneur en eau ω du matériau					
VALEUR AU BLEU VBS (prise n°1)					
Masse sec 0/5 mm introduite en solution (en g)	120,2 g	120,7 g	120,7 g	120,3 g	120,2 g
Volume de bleu introduit (en cm3)	85 cm3	155 cm3	135 cm3	65 cm3	215 cm3
-> Valeur de Bleu	0,7	1,3	1,1	0,5	1,8

ANNEXE 6 : LIMITES D'ATTERBERG : TERRE BLANCHE COLLANTE



LIMITES D'ATTERBERG - Méthode à la coupelle

Numéro du bordereau de commande :

<p>Client : 2IE</p> <p>Chantier : Tiébélé</p> <p>Opérateur : TALLA et GUETCHO</p> <p>Date et heure : 19/04/2010</p>	<p>Norme opératoire : NFP 94-051</p> <p>Échantillon : Tiébélé</p> <p>Provenance : Tiébélé</p> <p>Nature du sol : Terre collante</p>
---	---

Schémas/Remarques :

Zones de valeurs à remplir Prélèvement compacte

Préparation

* Echantillonnage : Quartage (tas) Broyage

* Tamisage : - NFP 94-049-1 : à sec par lavage

* Séchage : - NFP 94-050 : A l'air (au moins 8h à 50 +/- 5°C)

Etuve (au moins 4h à 105 +/- 5°C)
 (micro-onde)

Paramètres d'état initiaux

* Teneur en eau naturelle w :

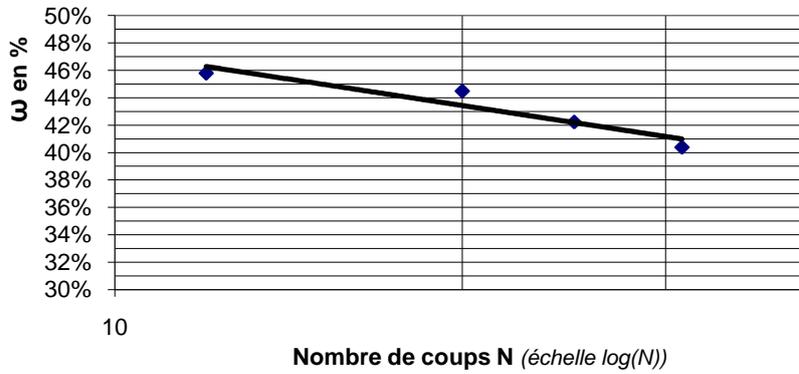
* Proportion pondérale C de la fraction 0/0,4 mm :

Mode opératoire Détermination des teneurs en eau par :

Micro-onde (NFP 94-049-1)
 Etuve (NFP 94-060-1, 24h à 105 +/- 5°C)

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	21,19	20,48	19,59	21,19		12,00	11,99	11,54	10,70
Poids total sec (g)	18,62	18,17	17,51	18,93		11,16	11,12	10,77	10,09
Poids tare (g)	7,31	7,19	7,34	7,38		7,33	7,48	7,35	7,32

Poids de l'eau (g)	2,57	2,32	2,08	2,26		0,84	0,87	0,77	0,61
Poids sec (g)	11,31	10,98	10,17	11,55		3,83	3,64	3,42	2,77
Teneur en eau (g)	0,23	0,21	0,20	0,20		0,22	0,24	0,23	0,22
Nombre de coups N	18	24	28	33					



RESULTATS

$\omega_L = 42\%$

$\omega_P = 0\%$

Indice de plasticité :

$I_P = \omega_L - \omega_P$

$I_P =$

Indice de consistance du terrain naturel :

$I_c = (\omega_L - \omega) / I_P$

$I_c =$

ANNEXE 7 : LIMITES D'ATTERBERG : TERRE NOIRE

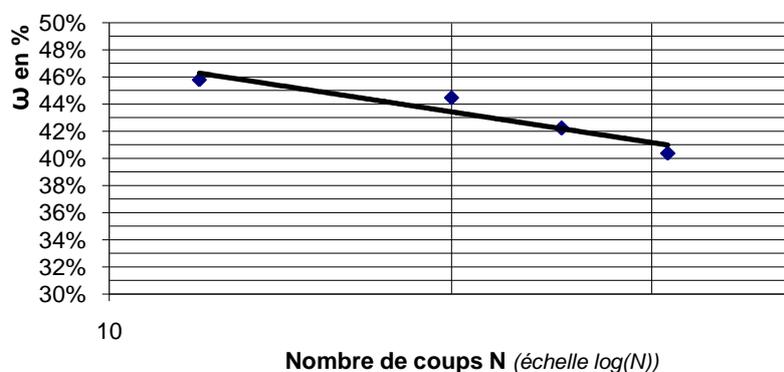


LIMITES D'ATTERBERG - Méthode à la coupelle

Numéro du bordereau de commande :

Client : 2iE	Norme opératoire : NF P 94-051
Chantier : Tiébélé	Echantillon : Tiébélé
Opérateur : TALLA et GUETCHO	Provenance : Tiébélé
Date et heure : 19/04/2010	Nature du sol : Terre noire

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	17,99	17,34	19,65	23,32		12,00	11,99	11,54	10,70
Poids total sec (g)	16,30	15,80	17,97	21,51		11,16	11,12	10,77	10,09
Poids tare (g)	7,25	7,22	7,44	7,45		7,33	7,48	7,35	7,32
Poids de l'eau (g)	1,69	1,55	1,68	1,81		0,84	0,87	0,77	0,61
Poids sec (g)	9,05	8,58	10,53	14,06		3,83	3,64	3,42	2,77
Teneur en eau (g)	0,19	0,18	0,16	0,13		0,22	0,24	0,23	0,22
Nombre de coups N	7	15	25	29					



RESULTATS

$\omega_L = 42\%$

$\omega_P = 0\%$

Indice de plasticité :

$IP = \omega_L - \omega_P$

$IP =$

Indice de consistance du terrain naturel :

$Ic = (\omega_L - \omega) / IP$

$Ic =$

ANNEXE 8 : LIMITES D'ATTERBERG : TERRE ROUGE MEUBLE



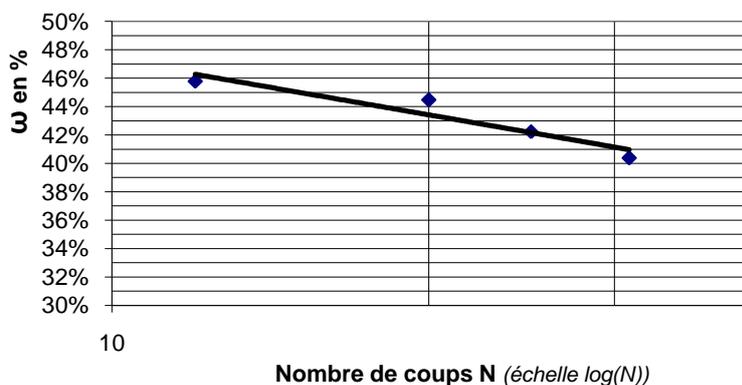
GRUPE DES ECOLES
EIER - ETSHER

LIMITES D'ATTERBERG - Méthode à la coupelle

Numéro du bordereau de commande :

Client : 2iE	Norme opératoire : NF P 94-051
Chantier : Tiébélé	Echantillon : Tiébélé
Opérateur : TALLA et GUETCHO	Provenance : Tiébélé
Date et heure : 19/04/2010	Nature du sol : Terre rouge Dolo

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	15,00	17,07	16,54	16,37		10,41	11,34	10,56	10,58
Poids total sec (g)	12,97	14,54	14,33	14,22		10,25	10,73	10,06	10,45
Poids tare (g)	7,26	7,25	7,45	7,39		7,33	7,27	7,14	7,31
Poids de l'eau (g)	2,03	2,53	2,21	2,15		0,16	0,61	0,50	0,13
Poids sec (g)	5,71	7,29	6,88	6,83		2,92	3,46	2,92	3,14
Teneur en eau (g)	0,35	0,35	0,32	0,32		0,05	0,18	0,17	0,04
Nombre de coups N	17	20	30	45					



RESULTATS
$\omega_L = 42\%$
$\omega_P = 11\%$
Indice de plasticité :
$IP = \omega_L - \omega_P$
$IP = 31\%$
Indice de consistance du terrain naturel :
$Ic = \frac{(\omega_L - \omega)}{IP}$
$Ic = 0,25$

C

ANNEXE 9 : LIMITES D'ATTERBERG : TERRE ROUGE SOUS TERRE NOIRE

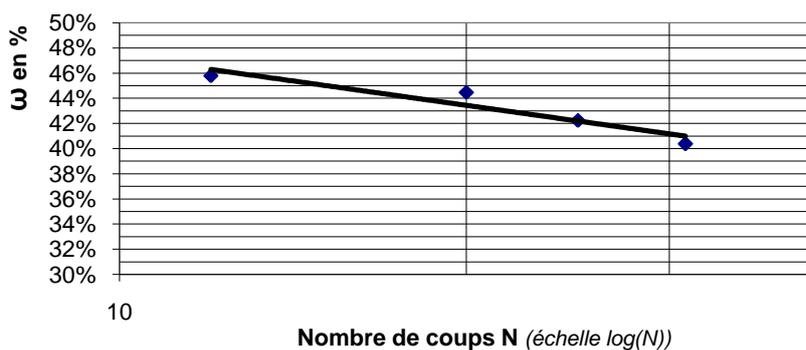


LIMITES D'ATTERBERG - Méthode à la coupelle

Numéro du bordereau de commande :

Client : 2iE	Norme opératoire : NF P 94-051
Chantier : Tiébélé	Echantillon : Tiébélé
Opérateur : TALLA et GUETCHO	Provenance : Tiébélé
Date et heure : 19/04/2010	Nature du sol : Terre rouge sous terre noire

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	18,97	18,80	15,63	14,03		10,98	9,75	10,74	9,73
Poids total sec (g)	15,52	15,45	13,21	12,17		10,36	9,36	10,17	9,32
Poids tare (g)	7,30	7,37	7,11	7,16		7,35	7,39	7,48	7,32
Poids de l'eau (g)	3,46	3,35	2,42	1,86		0,63	0,39	0,57	0,41
Poids sec (g)	8,22	8,08	6,10	5,01		3,01	1,97	2,69	2,00
Teneur en eau (g)	0,42	0,42	0,40	0,37		0,21	0,20	0,21	0,21
Nombre de coups N	11	16	23	34					



RESULTAT
S
ω _L = 42%
ω _P = 21%
Indice de plasticité :
ω _L -
I _P = ω _P
I _P = 21%
Indice de consistance du terrain naturel :
I _c = (ω _L - ω) / I _P
I _c = 0,51

ANNEXE 10: LIMITES D'ATTERBERG : TERRE ROUGE UN PEU INDUREE

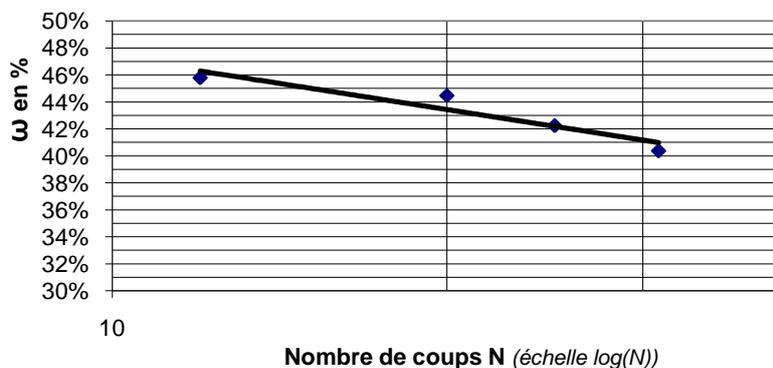


LIMITES D'ATTERBERG - Méthode à la coupelle

Numéro du bordereau de commande :

Client : 2iE	Norme opératoire : NF P 94-051
Chantier : Tiébélé	Echantillon : Tiébélé
Opérateur : TALLA et GUETCHO	Provenance : Tiébélé
Date et heure : 19/04/2010	Nature du sol : Terre rouge dure

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	16,48	19,14	18,26	18,59		12,00	11,99	11,54	10,70
Poids total sec (g)	13,60	15,48	15,08	15,36		11,16	11,12	10,77	10,09
Poids tare (g)	7,31	7,25	7,55	7,36		7,33	7,48	7,35	7,32
Poids de l'eau (g)	2,88	3,66	3,18	3,23		0,84	0,87	0,77	0,61
Poids sec (g)	6,29	8,23	7,53	8,00		3,83	3,64	3,42	2,77
Teneur en eau (g)	0,46	0,44	0,42	0,40		0,22	0,24	0,23	0,22
Nombre de coups N	12	20	25	31					



RESULTATS

$\omega_L = 43\%$
 $\omega_P = 23\%$

Indice de plasticité :

$I_P = \omega_L - \omega_P$
 $I_P = 20\%$

Indice de consistance du terrain naturel :

$I_c = (\omega_L - \omega) / I_P$
 $I_c = 0,15$

ANNEXE 11 : FICHE D'ANALYSE GRANULOMETRIQUE : Terre rouge meuble



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

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

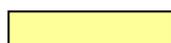
NFP 18-560

NFP 18-540

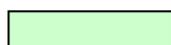
TP

Client : 2iE	Norme opératoire :
Chantier : Tiébélé	Echantillon n° : Terre rouge DOLO
Opérateur : GUETCHO et TALLA	Provenance : Tiébélé
Date et heure : 20-avr-10	Poids initial sec (g) : 4 013 g

Schémas/Remarques



Lieux où saisir les données



Série de tamis de base préconisée pour l'étude d'un matériau grenu (NFP 18-560)



Série de tamis imposée par la norme NFP 18-540 pour le calcul seul du module de finesse d'un granulat (béton et mortier)

A NOTER :

Le refus maximum admissible sur chaque tamis doit être inférieur à :
- 100 g si $d < 1$ mm,
- 200 g si $1 < d < 4$ mm,
- 700 g si $d > 4$ mm.

Modules AFNOR	φ tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations	
->	42	0,0	0,0				
->	41	1,3	1,3	0,0%	100,0%		
	40		1,3	0,0%			
->	39	13,1	14,3	0,4%	99,6%		
->	38	13,9	28,2	0,7%	99,3%		
	37	4	28,2	0,7%			
->	36	72,7	100,9	2,5%	97,5%		
->	35	89,7	190,6	4,7%	95,3%		
	34	2	115,1	7,6%	92,4%		
	33	1,6	104,8	10,2%	89,8%		
->	32	95,1	505,6	12,6%	87,4%		
	31	1	99,5	15,1%	84,9%		
	30	0,8	84,8	17,2%	82,8%		
->	29	99,3	789,1	19,7%	80,3%		
	28	0,5	121,8	22,7%	77,3%		
	27	0,4	98,7	25,2%	74,8%		
->	26	95,2	1 104,8	27,5%	72,5%		
	25	0,25	194,5	32,4%	67,6%		
	24	0,2	153,4	36,2%	63,8%		
->	23	88,1	1 540,7	38,4%	61,6%		
	22	0,125	303,8	46,0%	54,0%		
	21	0,1	61,3	1 905,8	47,5%	52,5%	
->	20	83,7	1 989,5	49,6%	50,4%		

ANNEXE 12 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE : Terre rouge un peu indurée



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

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

NFP 18-560
 NFP 18-540
 TP

Client : 2iE	Norme opératoire :
Chantier : Tiébélé	Echantillon n° : Terre rouge dure
Opérateur : GUETCHO et TALLA	Provenance : Tiébélé
Date et heure : 20-avr-10	Poids initial sec (g) : 4 003 g

Schémas/Remarques

- Lieux où saisir les données
- Série de tamis de base préconisée pour l'étude d'un matériau grenu (NFP 18-560)
- Série de tamis imposée par la norme NFP 18-540 pour le calcul seul du module de finesse d'un granulat (béton et mortier)
- > Série habituelle des TP (géotech&Matériaux)

A NOTER :
Le refus maximum admissible sur chaque tamis doit être inférieur à :
 - 100 g si $d < 1$ mm,
 - 200 g si $1 < d < 4$ mm,
 - 700 g si $d > 4$ mm.

Modules AFNOR	φ tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
42	12,5	6,9	6,9	0,2%	99,8%	
41	10	10,2	17,1	0,4%	99,6%	
40	8		17,1	0,4%		
39	6,3	86,6	103,7	2,6%	97,4%	
38	5	74,5	178,2	4,5%	95,5%	
37	4		178,2	4,5%		
36	3,15	182,2	360,4	9,0%	91,0%	
35	2,5	107,5	467,9	11,7%	88,3%	
34	2	95,6	563,5	14,1%	85,9%	
33	1,6	83,8	647,3	16,2%	83,8%	
32	1,25	97,6	744,9	18,6%	81,4%	
31	1	103,2	848,1	21,2%	78,8%	
30	0,8	92,2	940,3	23,5%	76,5%	
29	0,63	122,8	1 063,1	26,6%	73,4%	
28	0,5	117,6	1 180,7	29,5%	70,5%	
27	0,4	98,1	1 278,8	31,9%	68,1%	
26	0,315	90,5	1 369,3	34,2%	65,8%	
25	0,25	110,4	1 479,7	37,0%	63,0%	
24	0,2	90,8	1 570,5	39,2%	60,8%	
23	0,16	75,7	1 646,2	41,1%	58,9%	
22	0,125	177,1	1 823,4	45,6%	54,4%	
21	0,1	106,3	1 929,6	48,2%	51,8%	
20	0,08	86,1	2 015,7	50,4%	49,6%	

ANNEXE 13 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE : Terre rouge sous terre noire



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

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

NFP 18-560
 NFP 18-540
 TP

Client : 2iE	Norme opératoire :
Chantier : Tiébélé	Echantillon n° : Terre rouge sous terre noire
Opérateur : GUETCHO et TALLA	Provenance : Tiébélé
Date et heure : 20-avr-10	Poids initial sec (g) : 4 002 g

Schémas/Remarques

- Lieux où saisir les données
- Série de tamis de base préconisée pour l'étude d'un matériau grenu (NFP 18-560)
- Série de tamis imposée par la norme NFP 18-540 pour le calcul seul du module de finesse d'un granulat (béton et mortier)
- > Série habituelle des TP (géotech&Matériaux)

A NOTER :
Le refus maximum admissible sur chaque tamis doit être inférieur à :
 - 100 g si $d < 1$ mm,
 - 200 g si $1 < d < 4$ mm,
 - 700 g si $d > 4$ mm.

Modules AFNOR	φ tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
42	12,5	63,1	63,1	1,6%	98,4%	
41	10	150,0	213,0	5,3%	94,7%	
40	8		213,0	5,3%		
39	6,3	288,6	501,7	12,5%	87,5%	
38	5	99,8	601,5	15,0%	85,0%	
37	4		601,5	15,0%		
36	3,15	161,0	762,4	19,0%	81,0%	
35	2,5	90,5	852,9	21,3%	78,7%	
34	2	93,8	946,8	23,7%	76,3%	
33	1,6	69,1	1 015,9	25,4%	74,6%	
32	1,25	61,9	1 077,8	26,9%	73,1%	
31	1	62,0	1 139,8	28,5%	71,5%	
30	0,8	64,0	1 203,8	30,1%	69,9%	
29	0,63	112,3	1 316,1	32,9%	67,1%	
28	0,5	102,7	1 418,8	35,4%	64,6%	
27	0,4	87,9	1 506,7	37,6%	62,4%	
26	0,315	81,9	1 588,6	39,7%	60,3%	
25	0,25	96,5	1 685,1	42,1%	57,9%	
24	0,2	66,7	1 751,8	43,8%	56,2%	
23	0,16	44,1	1 795,9	44,9%	55,1%	
22	0,125	120,1	1 915,9	47,9%	52,1%	
21	0,1	99,1	2 015,0	50,3%	49,7%	
20	0,08	98,7	2 113,7	52,8%	47,2%	

ANNEXE 14 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE : Terre blanche collante



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

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

NFP 18-560 **NFP 18-540** **TP**

Client : 2iE	Norme opératoire :
Chantier : Tiébélé	Echantillon n° : Terre collante (enduit)
Opérateur : GUETCHO et TALLA	Provenance : Tiébélé
Date et heure : 20-avr-10	Poids initial sec (g) : 4 008

Schémas/Remarques

- Lieux où saisir les données
 - Série de tamis de base préconisée pour l'étude d'un matériau grenu (NFP 18-560)
 - Série de tamis imposée par la norme NFP 18-540 pour le calcul seul du module de finesse d'un granulat (béton et mortier)
- > Série habituelle des TP (géotech&Matériaux)

A NOTER :
 Le refus maximum admissible sur chaque tamis doit être inférieur à :
 - 100 g si d < 1 mm,
 - 200 g si 1 < d < 4 mm,
 - 700 g si d > 4 mm.

Modules AFNOR	φ tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
42	12,5	0,00	0,00			
41	10	0,00	0,00			
40	8		0,00			
39	6,3	6,25	6,25	0,16%	99,84%	
38	5	12,00	18,25	0,46%	99,54%	
37	4		18,25	0,46%		
36	3,15	100,81	119,06	2,97%	97,03%	
35	2,5	93,03	212,09	5,29%	94,71%	
34	2	91,04	303,13	7,56%	92,44%	
33	1,6	93,34	396,47	9,89%	90,11%	
32	1,25	129,10	525,57	13,11%	86,89%	
31	1	183,11	708,68	17,68%	82,32%	
30	0,8	222,34	931,02	23,23%	76,77%	
29	0,63	300,55	1231,57	30,73%	69,27%	
28	0,5	291,78	1523,35	38,01%	61,99%	
27	0,4	223,49	1746,84	43,58%	56,42%	
26	0,315	261,30	2008,14	50,10%	49,90%	
25	0,25	167,05	2175,19	54,27%	45,73%	
24	0,2	129,14	2304,33	57,49%	42,51%	
23	0,16	96,97	2401,30	59,91%	40,09%	
22	0,125	159,95	2561,25	63,90%	36,10%	
21	0,1	80,05	2641,30	65,90%	34,10%	
20	0,08	80,07	2721,37	67,90%	32,10%	

ANNEXE 14 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE : Terre noire



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

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

NFP 18-560
 NFP 18-540
 TP

Client : 2iE	Norme opératoire :
Chantier : Tiébélé	Echantillon n° : Terre noire
Opérateur : GUETCHO et TALLA	Provenance : Tiébélé
Date et heure : 20-avr-10	Poids initial sec (g) : 4 001 g

Schémas/Remarques

- Lieux où saisir les données
 - Série de tamis de base préconisée pour l'étude d'un matériau grenu (NFP 18-560)
 - Série de tamis imposée par la norme NFP 18-540 pour le calcul seul du module de finesse d'un granulat (béton et mortier)
- > Série habituelle des TP (géotech&Matériaux)

A NOTER :
 Le refus maximum admissible sur chaque tamis doit être inférieur à :
 - 100 g si $d < 1$ mm,
 - 200 g si $1 < d < 4$ mm,
 - 700 g si $d > 4$ mm.

Modules AFNOR	φ tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
42	12,5	32,8	32,8	0,82%	99,18%	
41	10	11,5	44,3	1,11%	98,89%	
40	8		44,3	1,11%		
39	6,3	39,6	83,8	2,09%	97,91%	
38	5	26,5	110,3	2,76%	97,24%	
37	4	38,1	148,4	3,71%	96,29%	
36	3,15	42,3	190,7	4,76%	95,24%	
35	2,5	49,6	240,2	6,00%	94,00%	
34	2	58,1	298,3	7,45%	92,55%	
33	1,6	60,7	359,0	8,97%	91,03%	
32	1,25	76,8	435,7	10,89%	89,11%	
31	1	100,4	536,2	13,40%	86,60%	
30	0,8	124,6	660,8	16,51%	83,49%	
29	0,63	130,2	791,0	19,77%	80,23%	
28	0,5	120,1	911,1	22,77%	77,23%	
27	0,4	130,0	1 041,1	26,02%	73,98%	
26	0,315	214,9	1 256,0	31,39%	68,61%	
25	0,25	266,5	1 522,5	38,05%	61,95%	
24	0,2	180,0	1 702,4	42,55%	57,45%	
23	0,16	173,9	1 876,3	46,89%	53,11%	
22	0,125	201,4	2 077,7	51,92%	48,08%	
21	0,1	130,0	2 207,7	55,17%	44,83%	
20	0,08	99,2	2 306,9	57,65%	42,35%	

ANNEXE 15 : SEDIMENTOMETRIE : Terre rouge meuble



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

Numéro du bordereau de commande :

Client : 2iE Chantier : Tiébélé Opérateur : GUETCHO et TALLA Date et heure début essai : 19/04/2010 Provenance : (Forage, échantillon n°, profondeur, ..) Site de prélèvement des terres pour construction à Tiébélé Description de l'échantillon : Terre rouge Dolo Norme opératoire : NF P 94-093 & 057		Densimètre n° : 1 Type d'agent dispersant : Hexamétaphosphate de sodium Concentration (%) : 5% Tamis d'écrêtement ϕ : 0,08 mm (n° 20 AFNOR) Proportion pondérale C de la fraction 0/ϕ (%) : 51,7% Poids initial sec W , introduit et prélevé sur le tamisât 0/ϕ (g) : 40,0 g Poids spécifique γ_s (T/m3) : 2,69 T/m3 Volume V d'eau distillé utilisé (cm3) : 2 000 cm3 Diamètre intérieur de l'éprouvette (cm) : 77,70 cm									
Remarques											
$F = \sqrt{\frac{180 \cdot \eta}{(\gamma_s - \gamma_w)}}$ $P = \frac{V \cdot \gamma_s \cdot (R_c - 1000) \cdot \gamma_w}{10 \cdot W \cdot (\gamma_s - \gamma_w)}$ $\eta = 1,002 \cdot 10^B \quad \text{où} \quad B = \left(\frac{1,3272 \cdot (20 - T) - 0,001053 \cdot (T - 20)^2}{T + 105} \right)$ $\Phi = F \cdot \sqrt{\frac{H_r}{t_c}}$											
$H_r = L_o - d \cdot (R_c - 1000) + \frac{1}{2} \cdot \left[h_o - \frac{V}{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2} \right]$								$R_c = R + (C_T + C_m) - C_d$			
Heures to = 11:08:00		Temps cumulé tc de lecture	Lecture R	Température T °C	Correction C_T+C_m-C_d	Lecture corrigée Rc	Profondeur effective Hr (cm)	Facteur F	Diamètre équivalent Φ (μm)	Pourcentage des grains < Φ P (%)	Passant échantillon p (p = C.P) en %
11:08:30		30 s	1007	31,7	3,2	1010,2	16,7	0,91	67	80,9%	41,8%
11:09:00		1 min	1006,5	31,7	3,2	1009,7	16,8	0,91	48	76,9%	39,8%
11:10:00		2 min	1005,5	31,7	3,2	1008,7	16,9	0,91	34	68,9%	35,7%
11:13:00		5 min	1003,5	31,7	3,2	1006,7	17,3	0,91	22	53,0%	27,4%
11:18:00		10 min	1003,5	31,7	3,2	1006,7	17,3	0,91	15	53,0%	27,4%
11:28:00		20 min	1003,5	31,8	3,2	1006,7	17,3	0,90	11	53,2%	27,5%
11:48:00		40 min	1003	31,9	3,2	1006,2	17,4	0,90	8	49,5%	25,6%
12:28:00		80 min	1002,5	32,4	3,4	1005,9	17,4	0,90	5	46,6%	24,1%
15:08:00		4 h	1001,5	33,5	3,6	1005,1	17,6	0,89	3	41,0%	21,2%
11:08:00 J+1		24 h	999,6	30,4	2,8	1002,4	18,1	0,92	1	19,2%	9,9%

ANNEXE 16 : SEDIMENTOMETRIE : Terre rouge un peu indurée



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

Numéro du bordereau de commande :

Client : 2iE Chantier : Tiébélé Opérateur : GUETCHO et TALLA Date et heure début essai : 19/04/2010 Provenance : (Forage, échantillon n°, profondeur, ..) Site de prélèvement des terres pour constuction à Tiébélé Description de l'échantillon : Terre rouge dure Norme opératoire : NF P 94-093 & 057						Densimètre n° : 1 Type d'agent dispersant : Hexamétaphosphate de sodium Concentration (%) : 5% Tamis d'écèlement ϕ : 0,08 mm (n° 20 AFNOR) Proportion pondérale C de la fraction 0/ ϕ (%) : 53,6% Poids initial sec W , introduit et prélevé sur le tamisât 0/ ϕ (g) : 40,0 g Poids spécifique γ_s (T/m3) : 2,69 T/m3 Volume V d'eau distillé utilisé (cm3) : 2 000 cm3 Diamètre intérieur de l'éprouvette (cm) : 77,70 cm					
Heures to =	Temps cumulé tc de lecture	Lecture R	Température T °c	Correction C _T +C _m -C _d	Lecture corrigée R _c	Profondeur effective Hr (cm)	Facteur F	Diamètre équivalent Φ (μ m)	Pourcentage des grains < Φ P (%)	Passant échantillon p (p = C.P) en %	
11:20:00	30 s	1006,5	31,8	3,2	1009,7	16,7	0,90	68	77,1%	41,3%	
11:21:00	1 min	1005,5	31,8	3,2	1008,7	16,9	0,90	48	69,2%	37,0%	
11:22:00	2 min	1004,5	31,8	3,2	1007,7	17,1	0,90	34	61,2%	32,8%	
11:25:00	5 min	1004	31,8	3,2	1007,2	17,2	0,90	22	57,2%	30,6%	
11:30:00	10 min	1003,5	31,8	3,2	1006,7	17,3	0,90	15	53,2%	28,5%	
11:40:00	20 min	1003	31,9	3,2	1006,2	17,4	0,90	11	49,5%	26,5%	
12:00:00	40 min	1002,5	32,1	3,3	1005,8	17,5	0,90	8	45,9%	24,6%	
12:40:00	80 min	1002	32,5	3,4	1005,4	17,5	0,90	5	42,8%	22,9%	
15:20:00	4 h	1000	33,7	3,7	1003,7	17,8	0,89	3	29,5%	15,8%	
11:20:00 J+1	24 h	999,5	30,5	2,8	1002,3	18,1	0,92	1	18,6%	10,0%	

ANNEXE 17 : SEDIMENTOMETRIE : Terre rouge jaunâtre en dessous de la terre noire



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

Numéro du bordereau de commande :

Client : 2iE Chantier : Tiébélé Opérateur : GUETCHO et TALLA Date et heure début essai : 19/04/2010 Provenance : (Forage, échantillon n°, profondeur, ..) Sites de prélèvement des terres pour construction à Tiébélé Description de l'échantillon : Terre rouge sous terre noire Norme opératoire : NF P 94-093 & 057						Densimètre n° : 1 Type d'agent dispersant : Hexamétaphosphate de sodium Concentration (%) : 5% Tamis d'écèlement ϕ : 0,08 mm (n° 20 AFNOR) Proportion pondérale C de la fraction 0/ ϕ (%) : 52,0% Poids initial sec W , introduit et prélevé sur le tamisât 0/ ϕ (g) : 40,0 g Poids spécifique γ_s (T/m3) : 2,69 T/m3 Volume V d'eau distillé utilisé (cm3) : 2 000 cm3 Diamètre intérieur de l'éprouvette (cm) : 77,70 cm					
Heures to =	Temps cumulé tc de lecture	Lecture R	Température T °c	Correction C _T +C _m -C _d	Lecture corrigée Rc	Profondeur effective Hr (cm)	Facteur F	Diamètre équivalent Φ (μ m)	Pourcentage des grains < Φ P (%)	Passant échantillon p (p = C.P) en %	
11:33:00	30 s	1008	31,8	3,2	1011,2	16,5	0,90	67	89,1%	46,3%	
11:34:00	1 min	1006,5	31,8	3,2	1009,7	16,7	0,90	48	77,1%	40,1%	
11:35:00	2 min	1005,5	31,8	3,2	1008,7	16,9	0,90	34	69,2%	35,9%	
11:38:00	5 min	1005	31,9	3,2	1008,2	17,0	0,90	22	65,4%	34,0%	
11:43:00	10 min	1004,5	32	3,2	1007,7	17,1	0,90	15	61,6%	32,0%	
11:53:00	20 min	1004,5	32	3,2	1007,7	17,1	0,90	11	61,6%	32,0%	
12:13:00	40 min	1004	32,2	3,3	1007,3	17,2	0,90	8	58,1%	30,2%	
12:53:00	80 min	1003	32,5	3,4	1006,4	17,3	0,90	5	50,8%	26,4%	
15:33:00	4 h	1001,5	33,6	3,7	1005,2	17,6	0,89	3	41,2%	21,4%	
11:33:00 J+1	24 h	999,5	30,5	2,8	1002,3	18,1	0,92	1	18,6%	9,7%	

ANNEXE 18: SEDIMENTOMETRIE: Terre blanche collante



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

Client : 2iE Chantier : Tiébélé Opérateur : GUETCHO et TALLA Date et heure début essai : 19/04/2010 Provenance : (Forage, échantillon n°, profondeur, ..) Sites de prélèvement des terres pour construction à Tiébélé Description de l'échantillon : Terre collante Norme opératoire : NF P 94-093 & 057						Densimètre n° : 1 Type d'agent dispersant : Hexamétaphosphate de sodium Concentration (%) : 5% Tamis d'écèlement ϕ : 0,08 mm (n° 20 AFNOR) Proportion pondérale C de la fraction 0/ ϕ (%) : 34,6% Poids initial sec W, introduit et prélevé sur le tamisât 0/ ϕ (g) : 40,0 g Poids spécifique γ_s (T/m ³) : 2,69 T/m ³ Volume V d'eau distillé utilisé (cm ³) : 2 000 cm ³ Diamètre intérieur de l'éprouvette (cm) : 77,70 cm					
Heures to =	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 (µm)	Pourcentage des grains < ϕ P (%)	Passant échantillon p (p = C.P) en %	
11:49:00	30 s	1007,5	31,9	3,2	1010,7	16,6	0,90	67	85,3%	29,5%	
11:50:00	1 min	1006,5	31,9	3,2	1009,7	16,7	0,90	48	77,3%	26,8%	
11:51:00	2 min	1006	31,9	3,2	1009,2	16,8	0,90	34	73,3%	25,4%	
11:54:00	5 min	1005,5	31,9	3,2	1008,7	16,9	0,90	21	69,4%	24,0%	
11:59:00	10 min	1005,5	32	3,2	1008,7	16,9	0,90	15	69,6%	24,1%	
12:09:00	20 min	1005	32,1	3,3	1008,3	17,0	0,90	11	65,8%	22,8%	
12:29:00	40 min	1004,5	32,2	3,3	1007,8	17,1	0,90	8	62,1%	21,5%	
13:09:00	80 min	1004	32,6	3,4	1007,4	17,2	0,90	5	58,9%	20,4%	
15:49:00	4 h	1002,5	33,6	3,7	1006,2	17,4	0,89	3	49,1%	17,0%	
11:49:00 J+1	24 h	1000	30,5	2,8	1002,8	18,0	0,92	1	22,6%	7,8%	

ANNEXE 19 : SEDIMENTOMETRIE : Terre noire



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

Numéro du bordereau de commande :

Client : 2iE Chantier : Tiébélé Opérateur : GUETCHO et TALLA Date et heure début essai : 19/04/2010 Provenance : (Forage, échantillon n°, profondeur, ..) Site de prélèvement des terres pour construction à Tiébélé Description de l'échantillon : terre noire Norme opératoire : NF P 94-093 & 057						Densimètre n° : 1 Type d'agent dispersant : Hexamétaphosphate de sodium Concentration (%) : 5% Tamis d'écrêtement ϕ : 0,08 mm (n° 20 AFNOR) Proportion pondérale C de la fraction 0/ϕ (%) : 49,5% Poids initial sec W , introduit et prélevé sur le tamisât 0/ϕ (g) : 40,0 g Poids spécifique γ_s (T/m³) : 2,69 T/m ³ Volume V d'eau distillé utilisé (cm³) : 2 000 cm ³ Diamètre intérieur de l'éprouvette (cm) : 77,70 cm				
Heures to =	Temps cumulé tc de lecture	Lecture R	Température T °c	Correction C _T +C _m -C _d	Lecture corrigée R _c	Profondeur effective Hr (cm)	Facteur F	Diamètre équivalent Φ (μ m)	Pourcentage des grains < Φ P (%)	Passant échantillon p (p = C.P) en %
12:02:00	30 s	1007,5	32,1	3,3	1010,8	16,6	0,90	67	85,7%	42,4%
12:03:00	1 min	1006,5	32,1	3,3	1009,8	16,7	0,90	48	77,8%	38,5%
12:04:00	2 min	1005,5	32,1	3,3	1008,8	16,9	0,90	34	69,8%	34,6%
12:07:00	5 min	1003,5	32,1	3,3	1006,8	17,3	0,90	22	53,9%	26,7%
12:12:00	10 min	1002,5	32,2	3,3	1005,8	17,4	0,90	15	46,1%	22,8%
12:22:00	20 min	1001,5	32,2	3,3	1004,8	17,6	0,90	11	38,2%	18,9%
12:42:00	40 min	1001	32,4	3,4	1004,4	17,7	0,90	8	34,6%	17,1%
13:22:00	80 min	1000,5	32,6	3,4	1003,9	17,8	0,90	5	31,1%	15,4%
16:02:00	4 h	999,5	33,7	3,7	1003,2	17,9	0,89	3	25,5%	12,6%

ANNEXE 20 : Fuseaux des courbes granulométriques des sols prescrits pour la construction des routes non revêtues

