



AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DE LA GRAVE  
ARGILEUSE LATERITIQUE PAR AJOUT DE LA DECOCTION DES GOUSSES DU  
PARKIA-BIGLOBOSA (NERE) POUR UNE UTILISATION EN ASSISE DE CHAUSSEE  
DES ROUTES.

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE  
MASTER

**SPECIALITE : GENIE CIVIL BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS**

---

**Soutenu publiquement le 26 Janvier 2023 par :**

**Badialo TANGARA (20180784)**

**Directeur de mémoire : Philbert NSHIMIYIMANA (Enseignant-chercheur, 2iE)**

**Maitre de stage : Ousséni MONE (Ingénieur en Génie Civil)**

Jury d'évaluation du mémoire :

**Président : Pr. Igor OUEDRAOGO**

Membres et correcteurs :

**Dr. Decroly DJOUBISSIE DENOUEWE**

**M. Alphonse BOUDA**

## DEDICACES

Je dédie ce travail

A ma famille, elle qui m'a donné une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Particulièrement à mon père feu **TANGARA Mamadou**, pour le goût de l'effort qu'il a suscité en moi, de par sa rigueur.

A toi ma tendre mère, **YARESSI Rokia**, ceci est ma profonde gratitude pour ton éternel amour, que ce mémoire soit le meilleur cadeau que je puisse t'offrir.

A vous mes frères et sœurs qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

## CITATION

« Le plus difficile est de se décider à agir, le reste n'est que de la ténacité. »

**Amelia EARHART**

## REMERCIEMENTS

On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans la collaboration de certaines personnes dont j'ai bénéficié l'accompagnement, l'encouragement et surtout du soutien. C'est le lieu pour moi d'exprimer toute ma gratitude à ces nombreuses personnes, qui malgré leurs multiples occupations, n'ont ménagé aucun effort pour m'apporter leur appui.

Je tiens à remercier particulièrement :

- La Direction Générale de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) à travers son personnel, pour leur engagement dans la réussite de notre formation ;
- Mon directeur de mémoire, Enseignant-chercheur à 2iE, **Dr. Philbert NSHIMIYIMANA** à qui je souhaite exprimer ma profonde gratitude. Merci de m'avoir encadré tout au long de ce stage. Merci pour tous vos conseils, tant professionnellement qu'humainement ;
- Mon maître de stage, **M. Ousséni MONE**, Ingénieur Génie Civil qui m'a suivi tout au long de ce stage, Merci pour les nombreux conseils, votre accueil chaleureux au sein de votre structure et votre disponibilité ainsi qu'au Directeur Général de Acit géotechnique M. Jean Marie TOE
- Tout le personnel de ACIT Géotechnique qui a participé au bon déroulement de ce stage en vue de la rédaction de mon mémoire de fin d'étude.
- L'ensemble du corps enseignant de 2iE pour les connaissances transmises au cours de ma formation du cycle d'ingénieur ;
- Mes parents pour leur soutien autant moral que financier ;
- A tous ceux qui de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre n'ont ménagé aucun effort pour l'accomplissement de ce travail.

## RESUME

La présente étude consiste à améliorer les routes en terre par ajout de la décoction du parkia-biglobosa compte tenu des dégradations prématurées et accélérées de celles-ci. Par ailleurs, l'amélioration des routes consiste à apporter une certaine performance des caractéristiques géotechniques au sol sans toutefois modifier sa structure. Pour ce fait nous avons procédé à la réalisation des essais géotechniques sur le graveleux latéritique sans ajout de décoction avant d'effectuer des essais sur le mélange Graveleux Argileuse latéritique Décoction : par imbibition à des concentrations de 100 g/l, 120 g/l, 180 g/l et par ébullition à des concentrations de 30 g/l, 35 g/l, 40 g/l et 45g/l. Après l'étude des caractéristiques géotechniques, nous avons conclu qu'il faut exploiter la décoction du Néré avec précaution avant sa fermentation car nous ne maîtrisons pas pour l'heure ses composants chimiques. Les études au laboratoire ont donné des caractéristiques géotechniques différentes au niveau de chaque décoction. La décoction par imbibition a donné de meilleurs résultats au niveau de la densité sèche maximale pour une valeur de  $\gamma_d \text{ max}=2,18\text{g/cm}^3$  à 140g/l et celle par ébullition a plutôt été convaincante au niveau de l'indice CBR à 95%opm ( $I_{\text{CBR}} = 123$ ) et à 98%opm ( $I_{\text{CBR}} = 138$ ) à 35g/l. Néanmoins, toutes ces décoctions ont donné de meilleures caractéristiques géotechniques plus que le matériaux cru  $\gamma_d=2,02 \text{ g/cm}^3$ ,  $I_{\text{CBR}} 95\% \text{opm} = 38$  et  $I_{\text{CBR}} 98\% \text{opm} = 62$ . Soit une augmentation de 7,9 % au niveau de la densité sèche par rapport à la décoction par imbibition et de 85% et 76% respectivement à 95% et 98% de l'indice CBR par rapport à la décoction par ébullition. Par conséquent, la décoction par ébullition présente une meilleure portance pour une utilisation en couche d'assise de chaussée compte tenu des valeurs minimales fixées par le CEBTP de l'indice CBR en couche de fondation et couche de base s'élève respectivement à  $I_{\text{CBR}} 95\% \text{ Opm}=30\%$  en couche de fondation et à 95% Opm=80% en couche de base.

### Mots clés :

1. **Caractéristiques géotechniques**
2. **Décoction du parkia-biglobosa**
3. **Densité sèches maximales**
4. **Indice CBR**
5. **Graveleux Argileux latéritique**

## ABSTRACT

The present study to the improvement of the earth roads by the decoction of the parkia-biglobosa in the face of the premature degradations which they undergo. In addition, the improvement of the roads consists in bringing a certain performance of the geotechnical characteristics to the ground without however modifying its structure. For this we proceeded to carry out geotechnical tests on the lateritic gravel without adding any decoction before carrying out tests on the Lateritic clay gravel mixture Decoction: by imbibition at concentrations of 100 g/l, 120 g/l, 180 g/l and by boiling at concentrations of 30 g/l, 35 g/l, 40 g/l and 45 g/l in order to contribute to this improvement of dirt roads. After studying the complete geotechnical characteristics, we have concluded that the Néré decoction must be used with care before fermentation because we do not yet control its chemical components. Laboratory studies have given different geotechnical characteristics at the level of each decoction; the decoction by imbibition gave better results at the level of the maximum dry density for a value of  $\gamma_d \text{ max}=2.18\text{g/cm}^3$  at 140g/l and that by boiling was rather convincing at the level of the CBR index at 95% opm we have ICBR = 123 and at 98% opm we have ICBR = 138 at 35g/l. Nevertheless, all these decoctions gave better geotechnical characteristics more than the raw material ( $\gamma_d=2.02 \text{ g/cm}^3$  and ICBR 95%opm = 38 and ICBR 98%opm = 62) i.e. an increase of 7.9% at the level of the dry density compared to the decoction by soaking and from 85% and 76% respectively to 95% and 98% of the CBR index compared to the decoction by boiling. Consequently, the boiling decoction has better lift for use as a road base course, given the minimum values set by the CEBTP for the CBR index in the sub-base and base course, respectively amounting to ICBR 95 %opm=30% in foundation layer and 95%opm=80% in base layer

### Key words:

1. Geotechnical characteristics
2. Parkia-biglobosa decoction
3. Maximum dry densities
4. CBR index
5. Gravel Clayey Lateritic

## SIGLES ET ABBREVIATIONS

ACIT :	Afrique Industrie Commerce et Transport
AFNOR :	Association Française de Normalisation
AG :	Analyse Granulométrique
BTP :	Bâtiments et travaux Publics
CBR :	Californian Bearing Ratio
CEBTP :	Centre d'Expérimentation de recherche et d'Étude du Bâtiments et Travaux Publics
Cm :	centimètre
DGNET :	Direction Générale de la Normalisation et des Etudes Techniques
DNP :	Direction de la Normalisation et de la Planification
GAL :	Grave Argileuse-latéritique
GL :	Grave Latéritique
IP :	Indice de Plasticité
IPI :	Indice Portant Immédiate
LA :	Limite d'Atterberg
NF :	Normes Françaises
OPM :	Optimum Proctor Modifié
DCE :	Dossier et Consultation des Entreprises

## NOMENCLATURE

Symboles	Désignations	Unités (SI)
f	Fine	%
h	Hauteur	m
l	Longueur	m
g	Masse	g
T	Température	°C
$\omega_i$	Teneur en Eau Initiale	%
$\omega_{opt}$	Teneur en Eau optimale	%
$\gamma_d^{opt}$	Densité Sèche optimale	$g / cm^3$
$\gamma_d$	Densité Sèche	$g / cm^3$
$\gamma_h$	Densité humide	$g / cm^3$
WL	Limite de Liquidité	%
WP	Limite de Plasticité	%
$I_p$	Indice de plasticité	%

## SOMMAIRE

DEDICACES .....	II
CITATION .....	III
REMERCIEMENTS .....	IV
RESUME.....	V
ABSTRACT .....	VI
SIGLES ET ABREVIATIONS .....	VII
NOMENCLATURE.....	VIII
SOMMAIRE .....	1
LISTES DES TABLEAUX.....	4
LISTES DES FIGURES.....	5
INTRODUCTION GENERALE.....	7
CONTEXTE ET JUSTIFICATIF DU PROJET .....	8
OBJECTIF GENERAL .....	8
OBJECTIFS SPECIFIQUES.....	8
APPROCHE METHODOLOGIQUE DE TRAVAIL .....	9
PRESENTATION DE LA STRUCTURE D’ACCEUIL.....	11
DOMAINES DE COMPETENCE .....	11
DOMAINES D’ACTION.....	11
ORGANIGRAMME.....	12
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE .....	13
INTRODUCTION.....	13
I. GENERALITES ET PROBLEMATIQUES DES ROUTES AU BURKINA FASO .....	13
I.1. LES TECHNIQUES D’AMELIORATION DES MATERIAUX UTILISES EN COUCHE DE CHAUSSEE.....	14
II.    GENERALITES SUR LE MATERIAU LATERITIQUE .....	15
III.    GENERALITES SUR LE PARKIA-BIGLOBOSA (NERE) .....	16

III.1. PRESENTATION DE L'ESPECE .....	16
III.2. REPARTITION GEOGRAPHIQUE DU PARKIA-BIGLOBOSA .....	16
III.3. NOMS AUTOCHTONES .....	17
III.4. IMPORTANCE DE PARKIA-BIGLOBOSA [14] .....	19
III.5. LES COMPOSANTS CHIMIQUES DE PARKIA-BIGLOBOSA .....	20
 CHAPITRE II : MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES.....	 22
I. MATERIAUX.....	22
I.1. LA LATERITE .....	22
I.2. LA DECOCTION DE PARKIA-BIGLOBOSA .....	23
I.2.1. EXTRACTION PAR IMBIBITION .....	23
I.2.2. EXTRACTION PAR EBULLITION .....	24
II. ESSAIS GEOTECHNIQUES.....	25
II.1. ECHANTILLONNAGE AU LABORATOIRE NF P94 0491 .....	26
A. PRELEVEMENT SUR TAS .....	26
B. ECHANTILLONNAGE EN LABORATOIRE .....	26
C. ECHANTILLONNAGE PAR QUARTAGE.....	27
II.2. L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE (NF P 94 056).....	28
II.3. ESSAI DE LA LIMITE D'ATTERBERG (NF P 94 051).....	28
 CHAPITRE III : ANALYSES ET DISCUSIONS DES RESULTATS.....	 33
I. RESULTATS DES CARACTERISTIQUES DE LA LATERITE SANS DECOCTION ...	33
I.1. L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE .....	33
I.2. LIMITE D'ATTERBERG.....	35
I.3. PROCTOR MODIFIE.....	36
I.4. CBR.....	36
II. INFLUENCE DE LA DECOCTION DU NERE PAR IMBIBITION SUR LA LATERITE	37
II.2. LIMITE D'ATTERBERG .....	37
I.3. PROCTOR MODIFIE.....	38
II.4. CBR.....	41
IV.    INFLUENCE DE LA DECOCTION DU NERE PAR EBULLITION SUR LA	
LATERITE.....	43
III.1. LIMITE D'ATTERBERG .....	43
III.2. PROCTOR MODIFIE .....	44

III.3. CBR .....	47
V. RECAPITULATIF DES RESULTATS .....	49
VI. DISCUSSION DES RESULTATS .....	52
CONCLUSION GENERALE .....	53
BIBLIOGRAPHIE .....	54
ANNEXES .....	57

## LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1: Noms autochtones de parkia-biglobosa.....	18
Tableau 2: Résumé des principaux groupes chimiques caractérisés dans les différentes parties de l'arbre du Néré. ....	21
Tableau 3: Eléments majeurs entrant dans la composition minéralogique de la laterite .....	15
Tableau 4 : Synthèse des essais et normes françaises .....	26
Tableau 5: Récapitulatif général des résultats des essais sur le matériau sans amélioration .....	33
Tableau 6 : Récapitulatifs des résultats des limites d'Atterberg par imbibition .....	38
Tableau 7 : Récapitulatifs des résultats des essais proctor .....	39
Tableau 8: Résultats des essais CBR des différentes concentrations de la décoction par imbibition .....	42
Tableau 9 : Récapitulatifs des résultats des limites d'Atterberg de la décoction par ébullition. ...	43
Tableau 10 : Récapitulatifs des résultats du proctor modifié de la décoction par ébullition sur la latérite.....	45
Tableau 11: Résultats des essais cbr des différentes concentrations.....	47
Tableau 12 : Récapitulatif des résultats de l'effet de la décoction par imbibition et par ébullitions sur la latérite .....	49

## LISTES DES FIGURES

FIGURE 1 : PROTOCOLE DES ESSAIS GEOTECHNIQUE.....	10
FIGURE 2 ORGANIGRAMME DE ACIT GEOTECHNIQUE .....	12
FIGURE 3: ETAT DES ROUTES EN TERRES DU RESEAU ROUTIER CLASSE (SOURCE : DNP/ DGNET DECEMBRE 2021) .....	
FIGURE 4: ARBRE DE PARKIA ET FRUIT DE PARKIA .....	16
FIGURE 5: REPARTITION GEOGRAPHIQUE DE PARKIA- BIGLOBOSA (SOURCE : SHAO,2000) .....	17
FIGURE 6 : ZONE D’EMPRUNT DE L’ETUDE ET SITE D’EMPRUNT DU MATERIAU..	23
FIGURE 7 : GOUSSES DE NERE PESEES A IMBIBER A T37°C.....	24
FIGURE 8 : PREPARATION DE LA DECOCTION ET EXTRACTION DU NERE .....	25
FIGURE 9 FIGURE 12 : SACS DE PRELEVEMENT ET SECHAGE ET TAMISAGE .....	
.....	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
FIGURE 10 : OPERATION DE QUARTAGE MANUEL DE L’ECHANTILLONNAGE DE LA LATERITE.....	28
FIGURE 11: LES DIFFERENTS TAMIS DE L’ANALYSE GRANULOMETRIQUE .....	28
FIGURE 12 : APPAREIL DE CASAGRANDE.....	29
FIGURE 13 : MATERIAU ROULE ET LE DECOUPAGE DES ROULEAUX .....	29
FIGURE 14: DIAGRAMME DE CONSISTANCE D’UN SOL.....	30
FIGURE 15 : A) MALAXAGE ET B) COMPACTAGE DANS UN MOULE PROCTOR .....	31
FIGURE 16 : A) MOULE CBR, B) BALANCE NORMALISE ET C) PRESSE CBR.....	32
FIGURE 17: COURBE GRANULOMETRIQUE DE LA GAL CRUE ENCADREE PAR LE FUSEAU DES MATERIAUX UTILISABLES EN FONDATION PROPOSEE PAR .....	34
FIGURE 18 : COURBE GRANULOMETRIQUE DE LA GAL CRUE ENCADREE PAR LE FUSEAU DES MATERIAUX UTILISABLES EN COUCHE DE BASE .....	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
FIGURE 19: EVOLUTION DES LIMITES D’ATTERBERG DE LA GAL EN FONCTION DES INDICES DE PLASTICITE DE LA COUCHE DE BASE ET DE FONDATION DU CEBTP. ....	35
FIGURE 20 : COURBE PROCTOR MODIFIE DE LA GAL DU MATERIAU CRU EN FONCTION DE LA TENEUR EN EAU.....	36

FIGURE 21: COURBE EVOLUTIVE DES DENSITES SECHES DE LA GAL DU MATERIAU CRU EN FONCTION DE LA PORTANCE CBR. ....	37
FIGURE 22 : EVOLUTION DE LA DENSITE SECHE MAXIMALE FONCTION DE LA DECOCTION PAR IMBIBITION ET DU GAL CRUE. ....	40
FIGURE 23 : EVOLUTION DE LA TENEUR EN EAU FONCTION DE LA DECOCTION PAR IMBIBITION ET DU GAL CRUE. ....	41
FIGURE 24 : EVOLUTION DE L'INDICE CBR FONCTION DE LA DECOCTION PAR IMBIBITION ET DU GAL CRUE. ....	42
FIGURE 25 : EVOLUTION DE L'INDICE DE PLASTICITE FONCTION DE LA DECOCTION PAR EBULLITION ET DU GAL CRUE. ....	44
FIGURE 26 : EVOLUTION DE LA DENSITE SECHE MAXIMALE FONCTION DE LA DECOCTION PAR EBULLITION ET DU GAL CRUE. ....	46
FIGURE 27: EVOLUTION DE LA TENEUR EN EAU EN FONCTION DE LA DECOCTION PAR EBULLITION ET DU GAL CR. ....	47
FIGURE 28 : EVOLUTION DE L'INDICE CBR FONCTION DE LA DECOCTION PAR EBULLITION ET DU GAL CRUE. ....	48
FIGURE 29: EVOLUTION DE LA DENSITE SECHE MAXIMALE G/CM3 EN FONCTION DE LA DECOCTION PAR IMBIBITION, PAR EBULLITION ET DU GAL CRUE. ....	50
FIGURE 30: EVOLUTION DE L'INDICE CBR (%) EN FONCTION DE LA DECOCTION PAR IMBIBITION, PAR EBULLITION ET DU GAL CRUE. ....	51

## INTRODUCTION GENERALE

La route a longtemps été vue comme un outil de développement économique et social. En outre, malgré les nombreuses réalisations dans ce domaine routier force est de constater que le Burkina Faso comme d'autres pays en développement, la construction routière se fait sans aucune norme qui leur soit appropriée. Cela aboutit à des prescriptions toujours controversées entre les différents acteurs du domaine routier, notamment les bureaux d'études car ne se basant pas sur une connaissance avérée des performances mécaniques. Dans les pays en voie de développement, l'essentiel des transports étant par voie terrestre, ces pays ont essayé de développer un réseau routier leur permettant de désenclaver les différentes régions. Compte tenu des faibles ressources dont disposent ces pays plus de 70% du réseau est constitué de routes en terre construites, dans la plupart des cas, en graveleux latéritiques [1].

En effet, les études ont montré que sur les routes non revêtues, dont la plupart la couche de base sert en même temps de couche de roulement, les dégradations ne cessent de s'intensifier et d'atteindre une phase de rupture prématurée. C'est dans cette perspective que des travaux de recherches effectués ces dernières années sur les sols latéritiques au Burkina Faso ont fourni des résultats permettant de se prononcer sur des raisons géotechniques de la ruine prématurée des structures routières dimensionnées avec la latérite tout en conciliant cet objectif à un élan écologique et durable en termes de développement [2].

Cette méthode tire son inspiration dans l'architecture de certains peuples du Burkina Faso tel que le peuple Gourounsis, qui utilisait la décoction du Néré, dans la réalisation de l'étanchéité des bâtisses en terre. Celles-ci avaient une durabilité plus satisfaisante que celles des maisons qui ne l'utilisaient pas [3]. Cependant une problématique se dégage, à savoir : la décoction du parkia-biglobosa agit-elle sur les caractéristiques géotechniques ?

La réponse à cette question consistera à :

- Faire une synthèse du mélange GAL+Décoction sur les caractéristiques géotechniques : par imbibition et par ébullition ;
- Connaître leur influence sur les caractéristiques géotechniques.

## CONTEXTE ET JUSTIFICATIF DU PROJET

Les routes en graveleux latéritiques ont un coût d'investissement initialement faible, il a été constaté que ces matériaux se dégradent très rapidement, engendrant un coût d'entretien et d'opération des véhicules très élevée.

Depuis une quarantaine d'année, plusieurs chercheurs se sont engagés à mieux connaître ce matériau dans le but d'optimiser son utilisation comme couche de fondation et de base des routes à trafic faible ou moyen [1]. Ces recherches ont démontré que les graveleux latéritiques sont des sols évolutifs et que les essais géotechniques classiques employées dans les pays tempérés pour classifier des sols s'adaptent mal à ces matériaux.

De plus, les routes dans le pays en développement représentent un capital très important. Afin de maintenir cet investissement, ces pays doivent faire face à un programme d'entretien très onéreux malgré la faiblesse de leurs ressources. C'est dans cette optique que s'installe notre étude de recherche qui a pour thème : « **amélioration des caractéristiques géotechniques des graveleux latéritiques par ajout de la décoction des gousses du parkia biglobosa (le néré) pour une utilisation en assise de chaussées des routes.** »

### OBJECTIF GENERAL

L'objectif général de cette étude est de connaître l'influence du parkia-biglobosa sur la Grave Argileuse Latéritique pour une utilisation en assise de chaussée.

### OBJECTIFS SPECIFIQUES

Cette étude a comme objectif d'évaluer l'influence de la décoction du Néré sur les propriétés géotechniques du graveleux latéritique pour la réalisation des chaussées en terre.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont :

- Evaluer l'influence de la décoction par ébullition sur les paramètres géotechniques de la latérite,

- Evaluer l'influence de la décoction par imbibition sur les paramètres géotechniques de la latérite,
- Faire une synthèse de l'influence de la décoction sur les caractéristiques géotechniques.

### APPROCHE METHODOLOGIQUE DE TRAVAIL

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

- Une recherche documentaire des travaux antérieurs sur l'application du parkia-biglobosa (nééré) ;
- Une étude expérimentale sur le matériau par les essais du laboratoire ;

Des améliorations avec différents dosages par les deux modes extractions du parkia-biglobosa (Néré) seront effectuées. A chaque dosage sera tracé la courbe Proctor correspondant de manière à obtenir sur le même graphe « une surface Proctor ». Ce tracé nous présenterons l'évolution de la densité sèche maximum de la latérite améliorée en fonction de la concentration de la décoction d'une part et d'autre part vérifier le comportement quant à son utilisation par ébullition ou par imbibition à travers les différents résultats obtenus. Il est a noté que chaque essai Proctor sera suivi de l'essai CBR ainsi que les limites d'Atterberg des différents dosages. Ce travail permettra de déterminer la concentration en décoction des gousses de cette plante qui donnera une amélioration optimale des matériaux. Ces essais nous permettrons de savoir s'il y'a une possibilité de son application en couche de structure des chaussées des routes en terre. Pareillement des essais de caractérisations mécaniques et hydraulique seront effectuées sur des échantillons crus (naturel) et des latérites améliorées avec des extraits du parkia-biglobosa.

Cette étude de recherche sera résumée en trois (03) grands chapitres à savoir :

- Une recherche documentaire ;
- Une étude expérimentale au laboratoire et pour finir ;
- Analyses et discussions des résultats.

Les moyens nécessaires pour la mise en œuvre de cette méthodologie sont : les moyens humains ; financiers ; documents ; internet ; appareil photo ; matériels de prélèvement d'échantillon ; appareils d'essais au laboratoire et ordinateur.

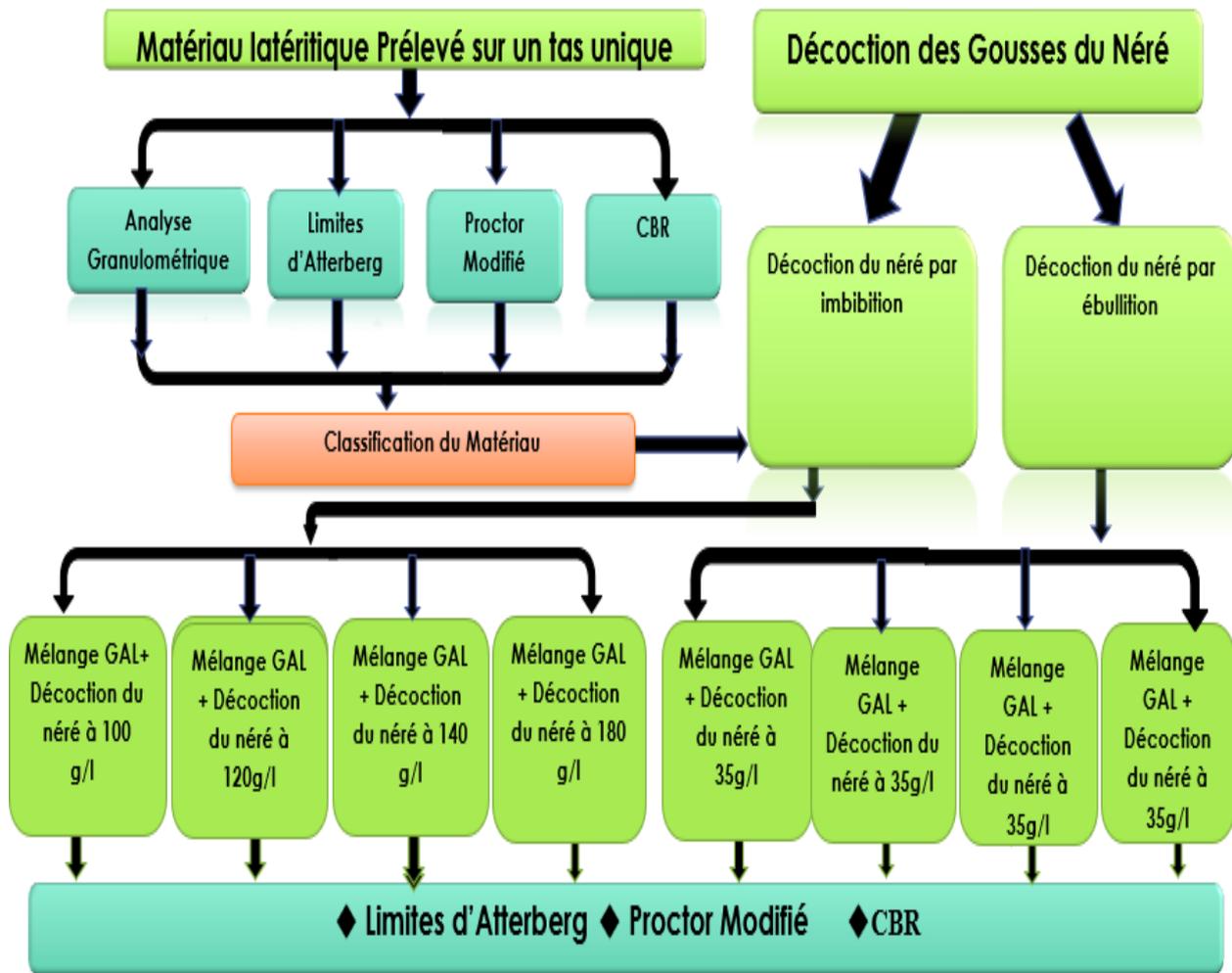


Figure 1 : Protocole des essais Géotechnique

## PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL

ACIT (Afrique Commercial Industrie Transport) a été créé en 2010, ACIT Géotechnique est un bureau d'études en génie civil qui se positionne comme un bureau de référence dans le domaine des missions géotechniques en particulier au Burkina Faso. Son siège social se trouve dans la province du Kadiogo, dans la commune rurale de Saaba à l'adresse suivante : 12 BP 217 Ouagadougou 12 BURKINA FASO Tel (226) 25 41 73 85 / 70 74 81 44 emails : acitgeotech@gmail.com. Tous les moyens techniques et intellectuels sont mobilisés pour mener à bien toutes les prestations confiées à ACIT géotechnique alliant qualité et coût, pour établir un rapport d'étude géotechnique clair, précis et complet.

### Domaines de compétence

ACIT géotechnique est compétent pour les prestations suivantes :

- Conception et maîtrise d'œuvre des projets géotechniques ;
- Missions de suivi et contrôle géotechnique d'exécution des chantiers ;
- Expertise des ouvrages sur des aspects spécifiques ;
- Appui conseil aux entreprises, aux bureaux d'études et aux maîtres d'ouvrage ;
- La formation.

### Domaines d'action

Les missions de ACIT géotechnique couvrent les différents domaines du Bâtiment et des Travaux Publics à savoir :

- ✓ Identification de projets
- ✓ Reconnaissance de site de projets et études préliminaires
- ✓ Études détaillées d'exécution
- ✓ Dossiers de Consultation des entreprises (DCE)
- ✓ Supervision et contrôle des travaux.

## Organigramme

Pour satisfaire aux exigences de ses clients et toujours mériter leur confiance, ACIT géotechnique à son avantage une équipe compétente et complémentaire.

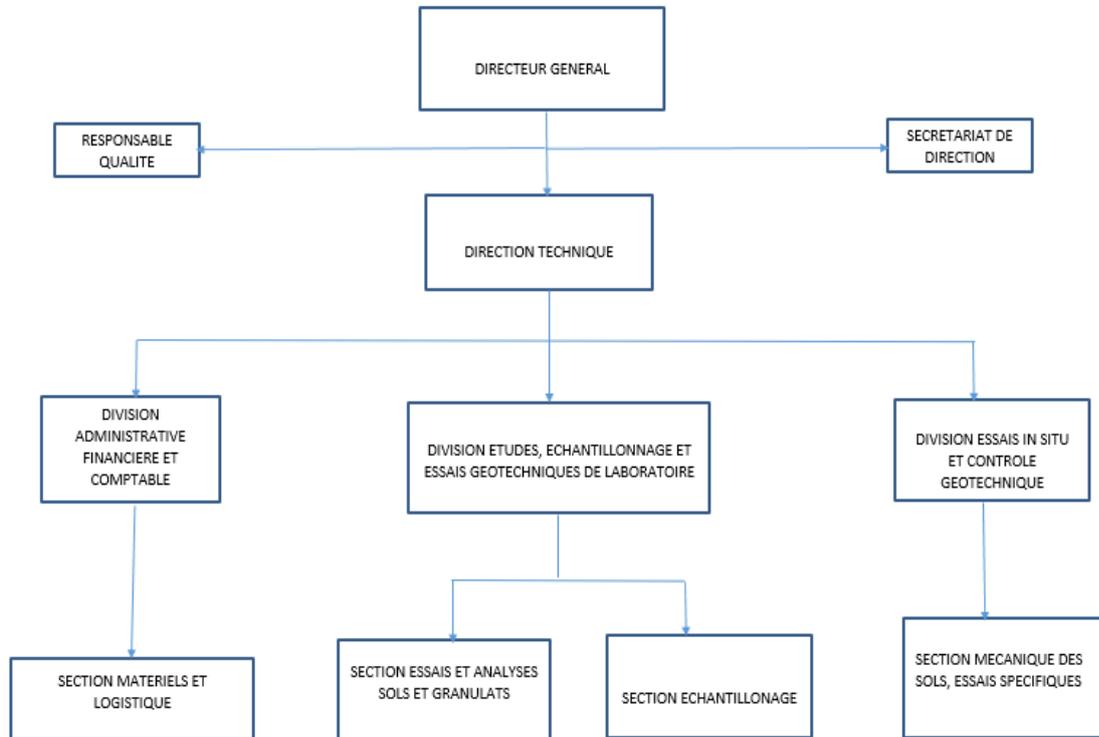


Figure 2 : Organigramme de ACIT Géotechnique

## CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

### INTRODUCTION

Dans le but d'atteindre les résultats attendus, d'avoir une bonne maîtrise des différents essais à réaliser, ainsi que la capacité à pouvoir analyser et interpréter les résultats de la présente étude, une recherche bibliographique a été menée et a conduit à la consultation de quelques documents.

Dans le présent chapitre, il est question de présenter les principaux matériaux faisant l'objet de cette recherche dans ce mémoire, à savoir : le parkia-biglobosa, ses composants, ses bienfaits ; ses modes d'extractions, les graveleux latéritiques, dans le domaine des travaux publics et les stabilisants qui participent à sa durabilité dans le réseau routier.

### I. GENERALITES ET PROBLEMATIQUES DES ROUTES AU BURKINA FASO

Au Burkina Faso, pays enclavé, pays agricole et minier, la mobilité est essentiellement assurée par les infrastructures routières qui couvrent près de 90% des besoins de transport. De ce fait, la politique de l'Etat burkinabé vise à renforcer le réseau existant et de désenclaver le pays, conscient du fort lien entre le développement du pays et le développement du réseau routier. Cependant, il est possible de noter une dégradation précoce du réseau routier. Ce phénomène est récurrent dans la zone intertropicale, notamment d'Afrique et est parfois lié aux facteurs environnementaux (trafic, climat et matériaux) et aux procédures de conception, de réalisation et d'entretien des routes.

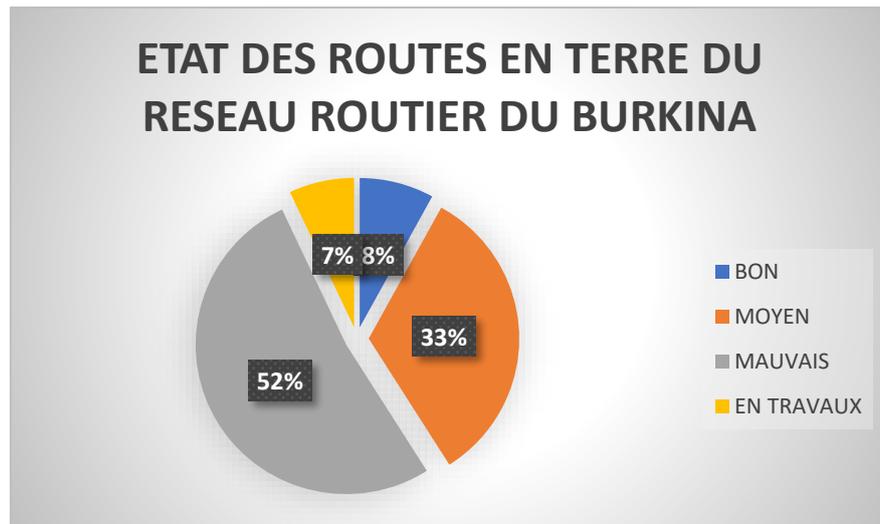


Figure 3 : Etat des routes en terres du réseau routier classé (Source : DNP/ DGNET Décembre 2021)

### I.1. Les techniques d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée

En technique routière, on appelle stabilité d'un matériau, sa propriété de résister à l'écoulement latéral lorsqu'il est soumis à une charge. En d'autres termes, elle est représentée par sa propriété relative de conserver son volume initial après l'application d'une charge, donc sa rigidité ou son indéformabilité relative. Stabiliser un sol en place ou un matériau d'apport consiste à améliorer ses caractéristiques géotechniques soit par adjonction d'une fraction granulométrique d'un autre matériau, soit par adjonction d'un liant hydraulique ou hydrocarboné. Les objectifs recherchés par une stabilisation sont :

- Amélioration de l'aptitude au compactage ;
- Diminution de la sensibilité à l'eau ;
- Augmentation de la résistance mécanique et de la portance (augmentation du frottement interne et de la cohésion). Une stabilisation est donc une amélioration planifiée des caractéristiques géotechniques du matériau par adjonction dosée d'un autre matériau.

En géotechnique routière, il existe plusieurs techniques de stabilisation des sols qui sont regroupées en deux grandes catégories : stabilisation chimique (traitement au ciment, traitement aux pouzzolanes, traitement aux cendres volantes, traitement aux laitiers, traitement aux liants hydrocarbonés, traitement aux produits chimiques) et stabilisation mécanique (ajout d'un sol fin à un sol grenu, ajout d'un sol grenu à un sol fin et élimination des fines ou éléments grossiers d'un sol) [21] et la stabilisation physique [20].

## II. GENERALITES SUR LE MATERIAU LATÉRITIQUE

Il y a environ deux cent (202) ans que le terme « latérite » a fait son apparition dans la littérature scientifique. Le mot « latérite » a été proposé pour la première fois par Buchanan en 1807 pour désigner un matériau servant à la construction et exploité dans les régions montagneuses de Malabar en Inde. Par ailleurs, le matériau principal dans l'exécution de cette recherche est la latérite qui contient en quantité appréciable des oxydes de fer et d'aluminium, de la kaolinite et de la silice. [1]

Tableau 1: Eléments majeurs entrant dans la composition minéralogique de la latérite (source : [1])

Eléments	Oxydes et hydroxydes de fer	Oxydes et hydroxydes d'aluminium	Minéraux argileux	Minéraux siliceux
Communs	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Goethite <math>FeO(OH)</math></li> <li>. Limonite <math>FeO(OH), nH_2O</math> (n =1 à 3)</li> <li>. Hématite <math>Fe_2O_3</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Gibbsite <math>Al(OH)_3</math></li> <li>. Boehmite <math>AlO(OH)</math> (plus rare)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Kaolinite</li> <li>. Halloysite (plus rare)</li> </ul>	Quartz ( $SiO_2$ )
Rares	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Magnétite <math>Fe_3O_4</math></li> <li>. Ilménite <math>FeTiO_3</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Corindon <math>Al_2O_3</math></li> <li>. Diaspore</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Illite</li> <li>. Montmorillonite</li> </ul>	

La latérite a longtemps été convoité en Afrique, mais son utilisation diffère d'un peuple à un autre dans la construction des maisons en terre. Au Burkina Faso, quelques peuples se distinguent dans son utilisation par l'embellissement des murs des constructions (qui avaient une certaine durabilité par rapport à celles qui étaient réalisées uniquement avec de l'eau) et leur étanchéité à travers l'utilisation de l'extrait des gousses du Néré [3].

Celle-ci désigne une vaste classe de matériaux issus de l'altération extrême des roches, dans les zones intertropicales de tous les continents. En outre, le Burkina Faso est constitué en majorité d'un sol prédominant en graveleux [30].

### III. GENERALITES SUR LE PARKIA-BIGLOBOSA (NERE)

#### III.1. Présentation de l'espèce

Le terme *Parkia* fut proposé par M. Robert BROWN qui le dédia, au célèbre botaniste écossais Mungo PARK. Le genre de *Parkia* compte aujourd'hui plus de trente (30) espèces toutes tropicales dont le *Parkia-biglobosa*. Elle appartient à la famille des Mimosaceae qui est une famille botanique très vaste et dont les membres se répartissent surtout dans les zones intertropicales humides, subhumides, sèches, rarement dans les zones subtropicales exceptionnellement dans les zones tempérées peu froides du globe [8].

Au Burkina Faso, *parkia-biglobosa* serait la seule espèce présente du genre *Parkia*. Au Sud de la parallèle 12°N, elle est rencontrée sous forme de peuplements à des densités variant entre 5 et 25 individus à l'hectare (Ouédraogo, 1995). Plus au Nord, la présence du Néré est marquée par des individus isolés de gros diamètre jusqu'à la latitude 14°N, limite Nord de sa distribution naturelle (Terrible, 1975) [9].



Figure 3: Arbre de *Parkia*

Fruit de *parkia*

#### III.2. Répartition géographique du *parkia-biglobosa*

*Parkia-biglobosa* (Jacq.) G. Don est probablement l'une des espèces des parcs arborés la plus répandue dans les zones soudano-sahélienne et soudanienne d'Afrique. Son aire de distribution se situe dans une bande entre 5°N et 15°N, et s'étend en longitude depuis la côte Atlantique en Afrique de l'Ouest jusqu'en Ouganda en Afrique de l'Est, soit approximativement entre le 18ème degré de

longitude Ouest et le 30ème degré de longitude Est (Hopkins 1983, Bonkoungou 1987, Hall et al. 1997). En dépit de leur importance et à l'instar des autres espèces de la savane, les parcs à néré sont caractérisés par une forte présence d'arbres relativement vieux, révélant une faible régénération des peuplements et une régression de l'aire de répartition dans les zones semi-arides (Ouédraogo 1995). En outre, le caractère extrêmement aléatoire du climat soudano-sahélien, marqué par des sécheresses récurrentes, rend vulnérables les espèces de la zone en général et expose les parcs agroforestiers en particulier à une dégradation continue. Considérée comme espèce prioritaire dans la plupart des pays ouest africains, *Parkia-biglobosa* figure sur la liste nationale des espèces considérées vulnérables par le Ministère chargé des forêts du Burkina Faso (MEE 1999). Dans un tel contexte, la prise de mesures visant tout au moins à rompre la dynamique de dégradation sinon à inverser la tendance apparaît aussi urgente que vitale.

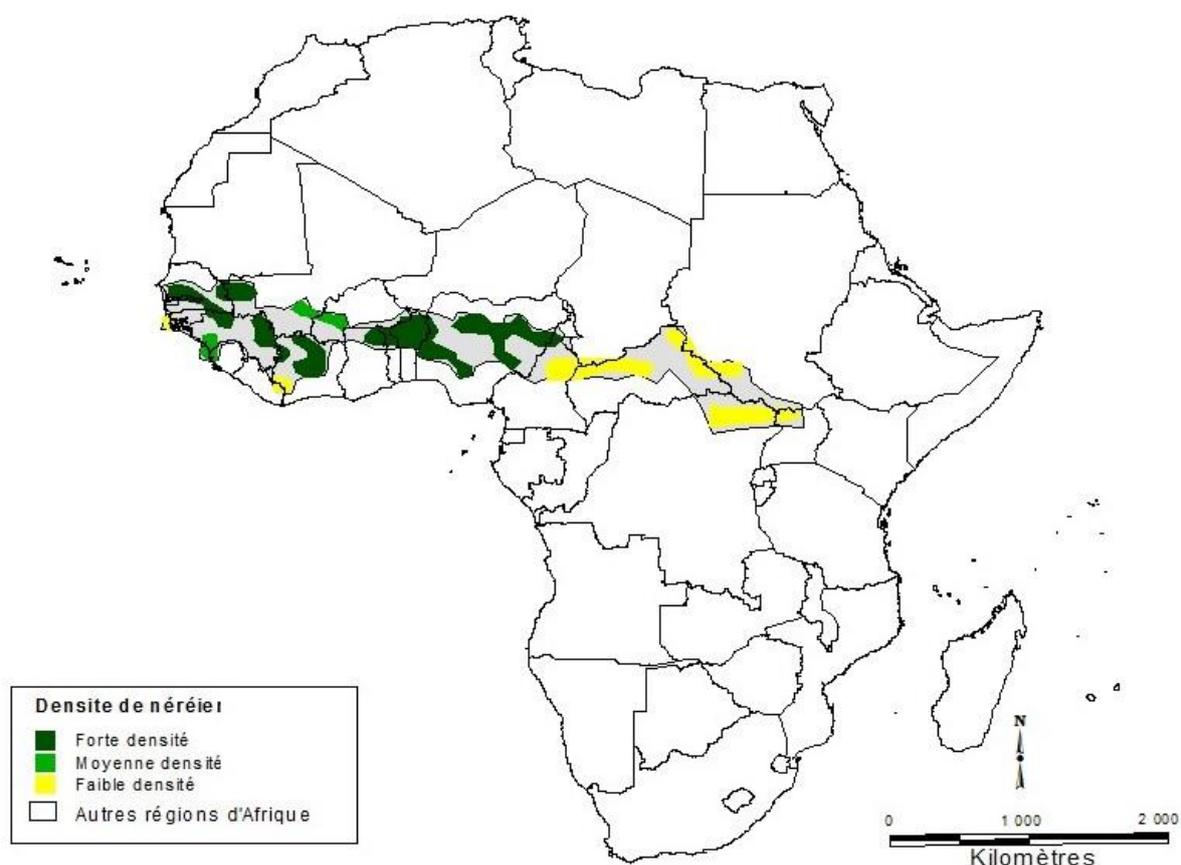


Figure 4: Répartition géographique de *Parkia-biglobosa* (Source : SHAO,2000)

### III.3. Noms autochtones

Les appellations de *Parkia-biglobosa* varie selon les pays comme le montre le tableau 2

[11]

Tableau 2 : Noms autochtones de *Parkia-biglobosa* [2]

PAYS	ETHNIES	NOMS AUTOCHTONES
<b>BURKINA FASO</b>	Gourounsi	Bu dugu
	Moonré	Douagan, Roanga
	Dioula	Néré
<b>COTE D'IVOIRE</b>	Baoulé	Kpalé
	Sénoufo	Tchigué
<b>MALI</b>	Malinké	Néré
<b>GUINEE</b>	Peulh	Marrehi
	Bambara	Néré
<b>TOGO</b>	Ewé	Woti
	Mina	Woti
	Kabyé	Solu
<b>SENEGAL</b>	Wolof	Houle
	Serer	Séou
	Toucouleur	Nété
	Diola	Bougilay
<b>NIGER</b>	Djerma	Néréto, Dosso
	Gourmantché	Boudoubou
	Haoussa	Dorowa
<b>SIERRA-LEONE</b>	Sousous	Oulle
<b>BENIN</b>	Fon	Akwa
	Yorouba	Igba, Ouba
	Bariba	Domdou
<b>CAMEROUN</b>	Foulbé	Néréyé
<b>CAP-VERT</b>	Créole	Faroba

### III.4. Importance de parkia-biglobosa [14]

L'importance du parkia-biglobosa pour la population mondiale et surtout celle de l'Afrique lui a valu les qualificatifs d'espèces à usages multiples, depuis ses racines jusqu'aux feuilles. Il arrive à satisfaire des besoins sur plusieurs plans :

- Dans l'alimentaire, il contribue à la lutte contre la malnutrition.
- Dans la culture, les produits issus du Néré interviennent dans plusieurs rituels marquant les différentes étapes de la vie à travers les naissances, baptêmes, mariages et celle de la mort par le biais des funérailles chez certains peuples africains.
- Dans la médecine et la pharmacopée traditionnelle, il lutte les brûlures, bronchites hémorroïdes...
- Dans l'agroforestier, il contribue à l'amélioration de la fertilité des sols tout en assurant leur protection face à érosion éolienne et hydrique.
- Dans le commerce, la vente des produits du Néré est comme une source génératrice de revenus importants pour de nombreuses femmes.
- Dans le BTP, il a été utilisé dans la fabrication du ciment au Togo et fait l'objet de plusieurs recherches.

#### III.4.1. Parkia-biglobosa dans le bâtiment

L'exocarpe (couche la plus externe de péricarpe qui est l'enveloppe du fruit) des gousses renferme une substance ichtyotoxique dont les populations se servent pour tuer les poissons dans les marres. Chez les Gourounsis, un peuple du Burkina, les exocarpes des gousses sont en outre utilisées pour vernir les poteries, décorer les murs et les maisons [8].

#### III.4.2. Parkia-biglobosa dans la réalisation des routes

Dans le domaine des travaux publics, le parkia-biglobosa a fait également ses preuves à travers les différentes recherches effectuées dans l'amélioration de la grave latéritique pour une utilisation en couche de roulement.

Tableau 3 : GAL+Décoction du néré par ébullition (Ramdé 2022)

Dosage en décoction des gousses du Néré et en Eau (g/l)		GAL + Eau	40g/l	40g/l Immédiat	40g/l Porté à T60°C
Proctor Modifié	$\gamma_d$ max(t/m <sup>3</sup> )	2.00	2.01	2.03	2.02
	W <sub>opm</sub> (%)	13.2	15.4	10.4	10.4
CBR	90%	28	37	22	20
	95%	40	53	51	51
	98%	47	68	68	68

### III.5. Les composants chimiques de parkia-biglobosa

Cette espèce est un arbre de la famille des Mimosaceae. Les Mimosaceae sont en premiers lieu des arbres caducs, secondairement des lianes ligneuses, des arbustes ou encore plus rarement des plantes herbacées. Les composants chimiques des différentes parties de l'arbres seront représentés ci-dessous sur le tableau 3.

Tableau 4 : Résumé des principaux groupes chimiques caractérisés dans les différentes parties de l'arbre de Parkia-biglobosa [15].

Partie de l'arbre	Constituants chimiques	Références
<b>Ecorces</b>	Flavonoïdes, Tanins, Terpènes,	(Builder et Al,2012)
	Saponines, Stérols, Phénols Sucres réducteurs.	
<b>Feuilles</b>	Flavonoïdes, Tanins, Saponines, Glycosides cardiaques, Alcaloïdes, Sucres réducteurs.	(Builders, Wannang et Aguiyi 2012)  (Ajaiyeoba, 2002)
<b>Racines</b>	Glycosides, Tanins, Saponines, Traces d'Alcaloïdes, Glucides, Flavonoïdes.	(Udobi et Onaolapo,2009)
<b>Fruits</b>	Glucides, Saccharose, Vitamine C, Zinc, Magnésium, Provitamine A, Calcium, Cuivre, Fer, Potassium, Manganèse, Sodium, Phosphore.	(Bello et Al, 2008)
<b>Graines</b>	Protéines, Lipide, Glucides, Calcium, Amidons.	(Campbell-platt, 1980)  (Alabi et Al,2005)

## CHAPITRE II : MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

La géotechnique est l'étude de l'adaptation des ouvrages humains aux sols et roches formant le terrain naturel. Elle traite de l'interaction sol/structures, et fait appel à des bases de géologie, de mécanique des sols, de mécanique des roches et de structures. A cet effet les études géotechniques ont pour principal objet, les études de sol pour la construction des ouvrages du Bâtiment et Travaux publics et ces études sont réalisées à travers des essais au laboratoire géotechnique ou in situ. Cependant, nous ne pouvons répondre à notre problématique posée plus haut sans avoir eu recours à ces études expérimentales des essais au laboratoire tels qu'inscrits dans le Tableau 4 ci-dessous afin de comprendre le fonctionnement mécanique des produits utilisés. A la suite de notre travail nous réaliserons des essais séparés sur la grave argileuse latéritique naturel d'une part et d'autre part sur la décoction du néré par imbibition et par ébullition dans l'optique d'en savoir plus sur sa réaction avec la latérite. En s'appuyant sur les connaissances disponibles sur la nature des matériaux à travers les recherches antérieures, cela va nous permettre de procéder à un mélange équilibré d'où la décoction du Néré sera utilisé comme eau de mouillage.

### I. MATERIAUX

#### I.1. La latérite

Le matériau latéritique sera le noyau de notre travail lors de la réalisation de nos différents essais. Ainsi pour l'obtention de ce matériau nous nous sommes rendus sur le site d'emprunt de Bingo de la province de Boulkiemdé chef-lieu de Koudougou comme présenté sur la figure 6. Le prélèvement du matériau a fait l'objet de 12 sacs de 50kg. Une fois le prélèvement terminé, les échantillons sont stockés au laboratoire sous un hangar à l'abri de la pluie. Après les sacs sont ouverts et mis ensemble afin d'obtenir du matériau homogène. Par conséquent, ils peuvent être soumis aux essais géotechniques.

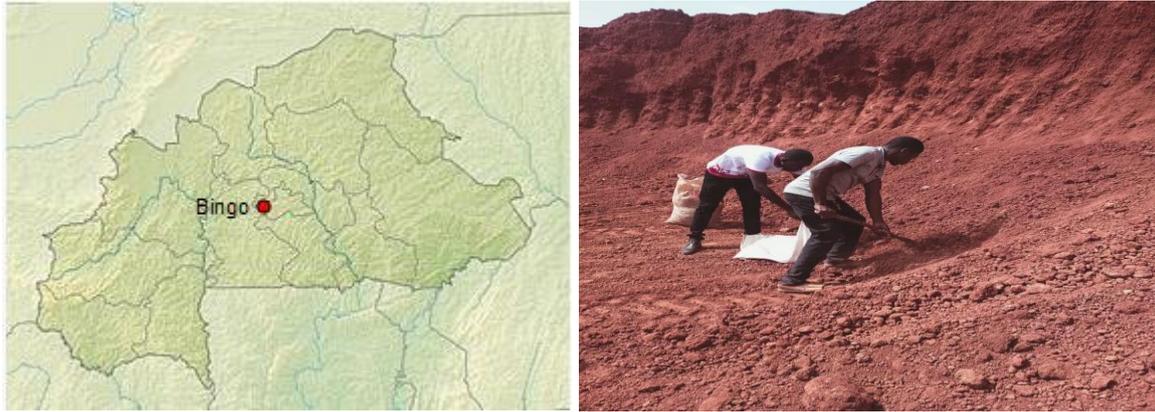


Figure 5 : Zone d'emprunt de l'étude

Site d'emprunt du matériau

## I.2. La décoction de parkia-biglobosa

Les gousses du parkia-biglobosa utilisées pour l'extraction de la décoction provient de la province de Tenado chef-lieu de Koudougou. Cette décoction fera l'objet de deux modes d'extraction par : imbibition et ébullition qu'on utilisera dans la réalisation des différents essais

### I.2.1. Extraction par imbibition

Pour cette extraction, on aura 6480 g au total de gousses de néré, qu'on imbibera, dans 12l d'eau pendant quatre (04) jours à une température ambiante de  $T37^{\circ}\text{C}$ , qui sera ensuite utilisé directement après imbibition dans l'exécution des différents essais géotechniques tel que : le Proctor modifié, le CBR et les Limites d'Atterberg comme le montre bien le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Concentration massique des gousses du néré de la décoction par imbibition

PAR IMBIBITION		
CONCENTRATION (g/l)	QUANTITE D'EAU (l)	MASSE DES GOUSSES(g)
100	12	1 200
120	12	1 440
140	12	1 680
180	12	2 160



Figure 6 : Gousses de Néré pesées à Imbiber à T37°C

### I.2.2. Extraction par ébullition

L'extraction par ébullition aura une masse de 3000 g de gousses de néré pour la préparation la décoction à 100°C pendant quatre (04) heure, chacune des masses sera préparée dans 20 l d'eau compte tenu de l'évaporation. Le tableau ci-dessous illustre bien cela.

Tableau 6 : Concentration massique des gousses du néré de la décoction par ébullition

PAR EBULLITION		
CONCENTRATION (g/l)	QUANTITE D'EAU (l)	MASSE DES GOUSSES (g)
30	20	600
35	20	700
40	20	800
45	20	900



Figure 7 : a) Préparation de la décoction et b) Extraction du Néré

## II. ESSAIS GEOTECHNIQUES

Des essais d'identification et de caractérisation (Analyse granulométrique, Limites d'Atterberg) qui permettent de définir la nature des matériaux composant les différentes couches.

Des essais Proctor qui permettent de déterminer la teneur en eau optimal et la densité sèche maximale pour un sol donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale. Ces paramètres sont nécessaires pour définir les caractéristiques de compactage des éprouvettes d'essais.

Des essais de portance « California Bearing Ratio » (CBR) qui donnent un premier aperçu sur la portance du matériau. Il faut préciser que la présente étude est plutôt axée sur les possibilités d'exploitation des matériaux latéritiques d'après leurs performances mécaniques réelles qui peuvent cependant faire l'objet de comparaison avec les performances estimées dans les spécifications routières.

Tableau 7: Synthèse des essais et Normes Françaises [27]

<b>SYNTHESE DES ESSAIS AU LABORATOIRE</b>			
<b>Paramètres des matériaux</b>	<b>Intitulé de l'essai</b>	<b>Matériaux cibles</b>	<b>Références normatives</b>
<b>Nature</b>	Analyse granulométrique	Graveleux latéritiques	<b>NF P 94 056</b>
	Limites d'Atterberg	Graveleux latéritiques	<b>NF P 94 051</b>
		Graveleux latéritiques + Décoction	
<b>Etat</b>	Proctor modifié	Graveleux latéritiques	<b>NF P 94 093</b>
		Graveleux latéritiques + Décoction	
<b>Comportement mécanique</b>	CBR	Graveleux latéritiques	<b>NF P 94 078</b>
		Graveleux latéritiques + Décoction	

## II.1. Echantillonnage au laboratoire NF P94 0491

### A. Prélèvement sur tas

Quand un matériau granulaire est mis en stock, les gros éléments ont tendance à rouler en bas du tas tandis que les particules de faibles diamètres se trouvent au sommet dudit tas. Cette situation recommande que les prélèvements soient faits en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas afin de les mélanger pour constituer ainsi un échantillon représentatif de l'ensemble.

### B. Echantillonnage en laboratoire

La préparation de l'échantillon d'essai en laboratoire obéit aux étapes suivantes :

- Séchage de l'échantillon de départ à l'étuve ;
- Brisure mécanique des agrégats avec un marteau en caoutchouc ;
- Constitution de l'échantillon d'essai par quartage ou avec un échantillonneur.

Le matériau est étalé et séché pour réduire sa teneur en eau. Après une journée d'étalage au soleil, il est tamisé à l'aide du tamis 20mm (module 44). Une fois les matériaux séchés, ils sont remis dans les sacs avec chacun une adresse indiquant sa provenance pour éviter les mélanges des échantillons.

Il est nécessaire pour le début des essais en laboratoire de connaître :

- La teneur en eau initiale de l'échantillon
- La répartition du matériau afin d'avoir un échantillon représentatif de l'ensemble par le mode de quartage avec un échantillonneur ou de façon manuel tel que décrit dans la figure 10.



Figure 10 : Sacs de prélèvement, séchage et tamisage

### C. Echantillonnage par quartage

Il s'agit de séparer l'échantillon en quatre (04) parties. En effet l'échantillon, préalablement étalé est subdivisé en quatre (04) parties sensiblement égales. On élimine deux (02) fractions opposées et on réunit les deux (02) autres fractions pour former un sous-échantillon. Le processus est répété autant de fois que nécessaire pour obtenir la quantité désirée pour une utilisation finale.



Figure 8 : Opération de quartage manuel de l'échantillonnage de la latérite

Les paramètres de nature se rapportent à des caractéristiques intrinsèques, c'est-à-dire qui ne varient pas ou peu, ni dans le temps ni lors des différentes manipulations auxquelles est soumis un échantillon de sol. Les paramètres concernés sont la granularité, l'aplatissement et l'argilosité dont les déterminations respectives se font par les essais de l'analyse granulométrique par tamisage, la mesure du coefficient d'aplatissement et de l'indice de plasticité.

## II.2. L'analyse granulométrique par tamisage (NF P 94 056)

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions [29]. Dans cette étude, elle interviendra uniquement dans la réalisation des essais avec le matériau sans la décoction du Néré.



Figure 9: Les différents tamis de l'analyse granulométrique

## II.3. Essai de la Limite d'Atterberg (NF P 94 051)

La consistance d'un sol peut varier dans de larges limites avec la quantité d'eau interstitielle que contiennent ses pores, et l'épaisseur des couches d'eau absorbée qui enrobent ses grains.

Les Limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre :

- Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité :  $W_L$ )
- Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité :  $W_P$ ).

Cet essai sera réalisé avec le matériau a l'état cru également avec la décoction du Néré.

Avant l'exécution de chaque limite, le matériau sera lavé avec de l'eau et séché, ensuite l'ajout de la décoction fera son entrée en scène pour la réalisation de chaque limite.



Figure 10 : Appareil de Casagrande



Figure 11 : Matériau roulé et le découpage des rouleaux

L'indice de plasticité (IP) est le paramètre caractéristique de l'argilosité du sol. Il mesure l'étendue du domaine plastique, domaine dans lequel on peut travailler le sol. La détermination de sa valeur est une déduction faite des limites d'Atterberg précédemment définies.

$$IP = W_L - W_P$$

Avec  $W_L$  et  $W_P$  qui sont les limites respectives de liquidité et de plasticité exprimées en pourcentage.

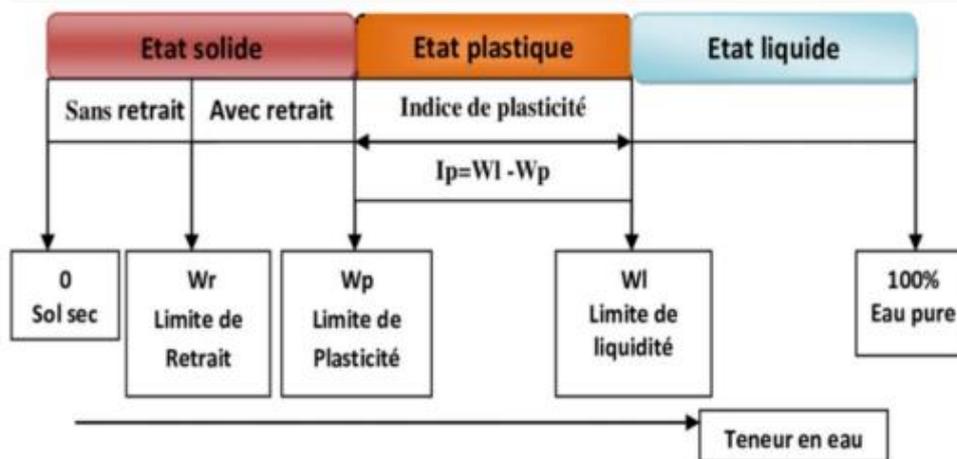


Figure 12: Diagramme de consistance d'un sol

Ces paramètres ne sont pas propres au sol mais ils sont fonctions de l'environnement dans lequel il se trouve. Le paramètre d'état le plus généralement considéré est l'état hydrique au regard de son importance dans les problèmes de remblai et de couches de forme. La caractérisation de l'état hydrique d'un sol est évaluée par l'un des essais suivants : le Proctor modifié. Des deux (02) matériaux à utiliser dans cette présente étude, c'est le graveleux latéritique qui fera l'objet de ces essais également la décoction du Parkia- biglobosa.

### Essai Proctor modifié (NF P 94 093)

Les caractéristiques de compactage Proctor sont des paramètres très utilisés pour identifier des matériaux, définir les matériaux et définir les spécifications de compactage qui leur sont applicable lorsqu'ils sont utilisés dans la construction des ouvrages des travaux publics. L'essai Proctor a pour but d'une part de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol donné et d'autre part les densités sèches maximales. Dans ce mémoire, il interviendra dans l'exécution des matériaux crus et celle du mélange GAL plus la décoction du Néré.

A chaque concentration, on tracera, la courbe Proctor correspondant de manière à obtenir sur le même graphe « une surface Proctor » qui nous présenterons l'évolution de la densité sèche maximum du matériau amélioré en fonction de la concentration de la décoction d'une part et d'autre part vérifier le comportement quant à son utilisation par ébullition ou par imbibition à travers les différents résultats obtenus. Il est a noté que chaque essais Proctor sera suivi de l'essai CBR ainsi que les limites d'Atterberg des différents dosages. Ce travail permettra de déterminer

la concentration en décoction des gousses de cette plante qui donnera une amélioration optimale des matériaux afin d'étudier la possibilité de son application en couche de structure des chaussées des routes en terre.



Figure 13 : a) Malaxage et b) Compactage dans un moule Proctor

Les paramètres de comportement mécanique des matériaux d'assises de chaussées sont évalués par les essais du CBR, du Los Angeles (LA) et du micro-Deval en présence d'eau (MDE).

Mais, dans notre étude nous allons nous intéresser à l'essai CBR compte tenu de la nature de notre matériau : la grave latéritique.

### **Essai Californian Bearing Ratio (CBR)**

Cet essai permet de calculer grâce à des abaques, l'épaisseur des couches de fondations nécessaires à la constitution d'une chaussée de route. Ce calcul se fait en fonction du sol sous adjacent, du trafic, des charges par essieu prévues et des conditions hydriques futures que subira cette route. Ainsi en fonction du but visé, deux types de CBR sont à distinguer :

- L'essai CBR immédiat qui mesure la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à sa teneur en eau naturelle. Il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation en phase de chantier ;
- L'essai CBR après immersion qui mesure la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à différentes teneurs en eau puis immergé pendant quatre (04) jours. Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol compacté à différentes teneurs en eau et /ou soumis à des variations de régime hydrique.

Dans cette étude, l'essai CBR après immersion sera effective avec la latérite sans ajout de décoction puis avec le mélange du GAL+Décoction du Néré.

L'essai CBR est effectué sur des échantillons compactés avec une teneur en eau optimale et densité sèche optimale, obtenues à partir de l'essai de compactage Proctor.



a)



b)



c)

Figure 19 : a) Moule CBR, b) Balance normalisé et c) Presse CBR

## CHAPITRE III : ANALYSES ET DISCUSIONS DES RESULTATS

A l'issu du chapitre II, sur les études expérimentales, la présentation des différents résultats ainsi obtenus sur les améliorations fera l'objet du premier point. Ensuite l'analyse des résultats afin d'apporter des critiques. Enfin nous proposerons des perspectives pour une connaissance générale sur ce matériau (décoction du néré) afin de permettre une application dans le domaine routier si les résultats s'avèrent concluants.

### I. RESULTATS DES CARACTERISTIQUES DE LA LATERITE SANS DECOCTION

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats des essais d'identifications : **Analyse granulométrique, Limites d'Atterberg, Essais Proctor et CBR** de la latérite. A la fin il sera présenté une synthèse des résultats en vue de donner un avis sur les résultats du matériau étudié et cependant les détails seront présentés aux annexes.

Tableau 8: Récapitulatif général des résultats des essais sur le matériau sans amélioration

EMPRUNT	NATURE	ANALYSE GRANULOMETRIQUE (%PASSANTS)					LIMITES ATTERBERG			PROCTOR MODIFIE		CBR(%)	
		10	5	1.6	0.4	0.8	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	W <sub>opm</sub>	γ <sub>d opm</sub>	95	98
<i>GAL CRU</i>	GAL	81	60	44	36	28	45	31	14	12,3	2,02	38	62

#### I.1. L'analyse granulométrique

La latérite est identifiée selon la classification des sols fins (Abaque de Casagrande) comme **une argile peu plastique**. La caractérisation de la granulométrie de ce sol est : **D<sub>max</sub>=10mm ; D<sub>min</sub>=0.08mm.**

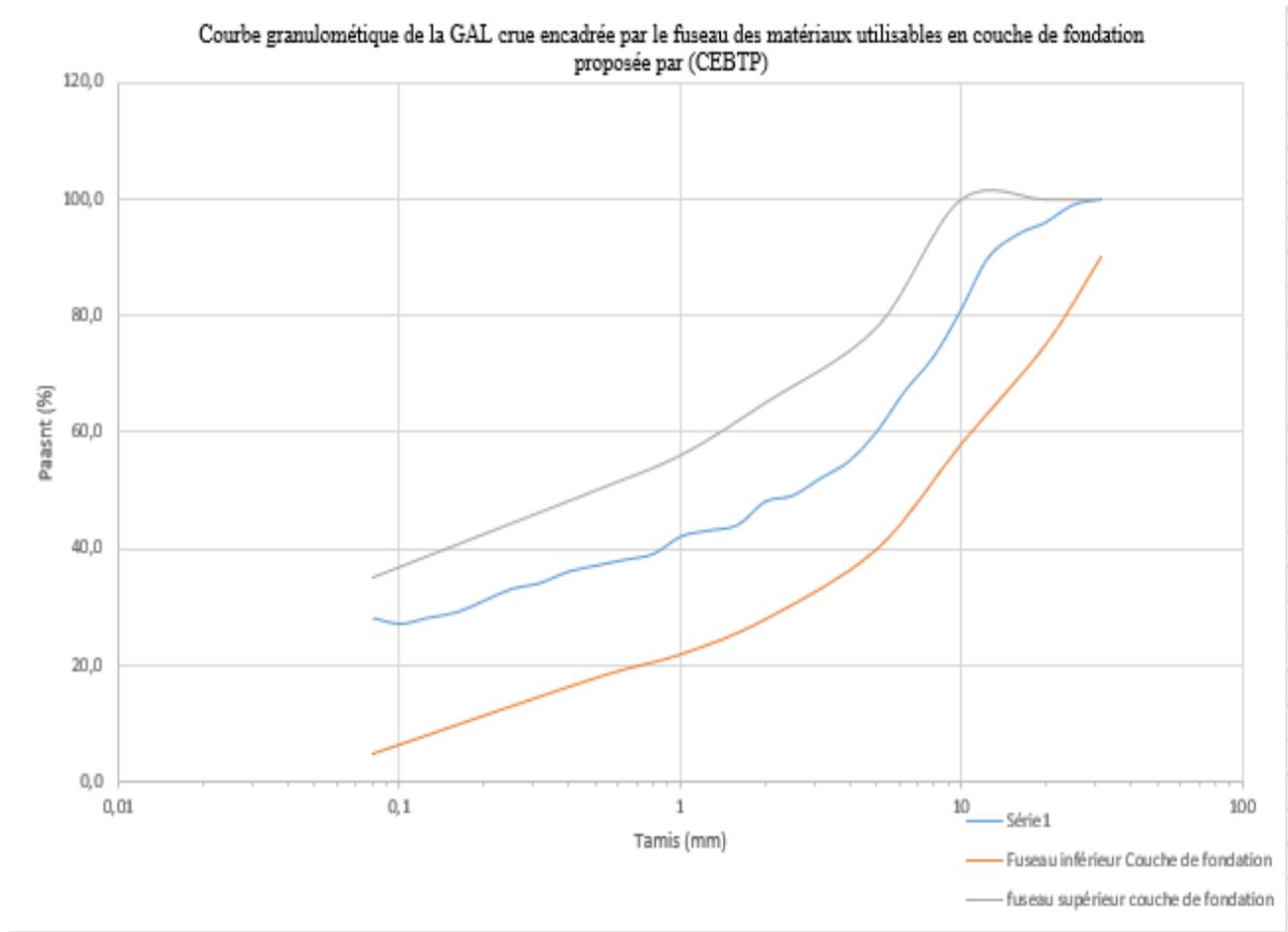


Figure 15: Courbe granulométrique de la GAL crue encadrée par le fuseau des matériaux utilisables en fondation proposée par CEBTP

Du point de vue granulométrie, on voit bien que la terre crue présente une courbe granulométrique qui est bien logée dans le fuseau des matériaux utilisables en couche de fondation. Ce qui peut sous-entendre qu'elle peut être utilisée pour une utilisation en couche de fondation

## I.2. Limite d'Atterberg

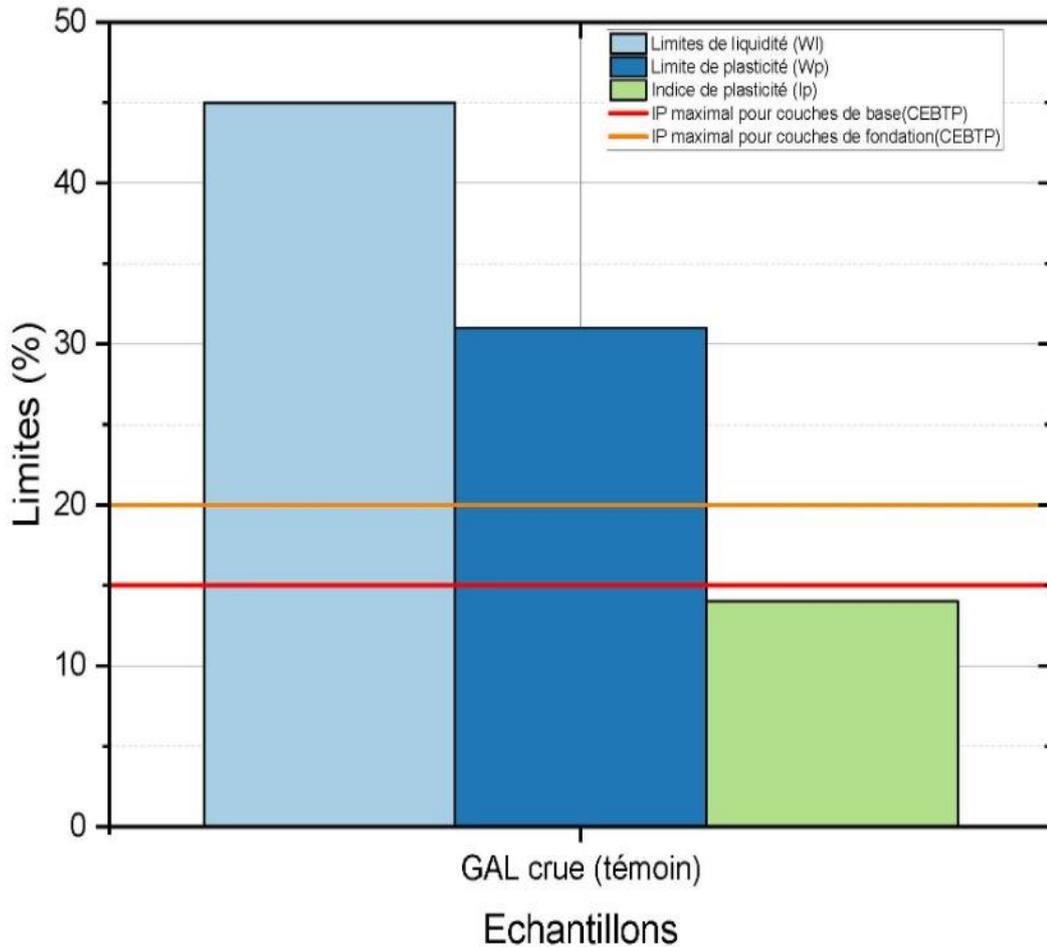


Figure 16: Evolution des limites d'Atterberg de la GAL en fonction des indices de plasticité de la couche de base et de fondation du CEBTP.

Les limites d'Atterberg des sols latéritiques permettent d'évaluer : les limites de liquidité ( $W_L$ ), les limites de plasticité ( $W_p$ ), l'indice de plasticité ( $I_p$ ). Ces valeurs correspondent à des sols latéritiques définis par le CEBTP. Par ailleurs, nous constatons que l'indice de plasticité du matériau sans amélioration ( $I_p=14\%$ ) est en dessous de celle établie par le CEBTP ( $I_p=15\%$  et  $I_p=20\%$ ) respectivement pour la couche de base pour une baisse de 7,1% et de la couche de fondation pour une diminution de 42,8%.

### I.3. Proctor modifié

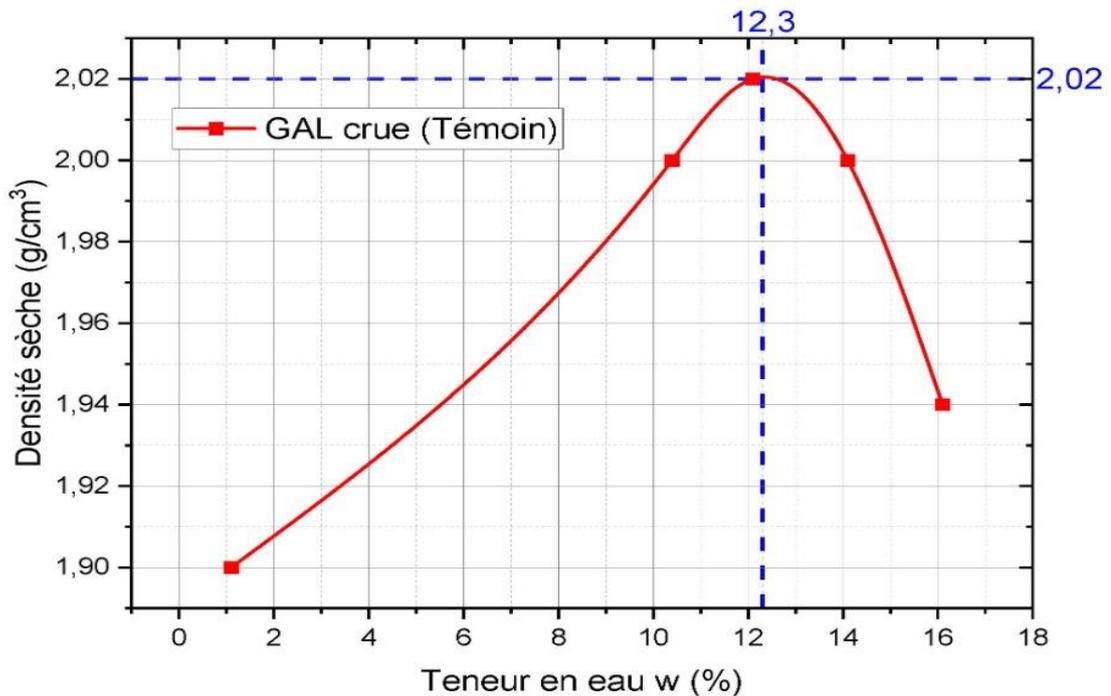


Figure 17 : Courbe Proctor modifié de la GAL du matériau cru en fonction de la teneur en eau.

L'essai Proctor modifié a été réalisé pour déterminer la teneur en eau maximale de la latérite une fois compacté. Ces essais permettent d'obtenir la densité sèche optimale  $\gamma_{opm}$  et teneur en eau optimale  $w_{opm}$ . La valeur de la teneur en eau optimale ( $w_{opm}$ ) varie jusqu'à 12,3%, ce qui montre la légère capacité d'absorption de ce sol car les valeurs usuelles varient de 5 à 12%.

La densité sèche optimale ( $\gamma_{opm}$ ) est de  $2,02 \text{ g/cm}^3$ . Toutefois, nous constatons que la latérite non traitée a une densité sèche acceptable.

### I.4. CBR

L'essai CBR de la latérite sans ajout de décoction a permis de déterminer la capacité de portance de celle-ci qui s'élève à 38% et 62% respectivement à 95% et 98% de CBR à l'OPM comme le montre bien la figure 22. Tandis que la latérite naturelle en couche de base et fondation donne un CBR respectivement de 80 et 30 à 95% de l'OPM établie par le guide pratique de CEBTP.

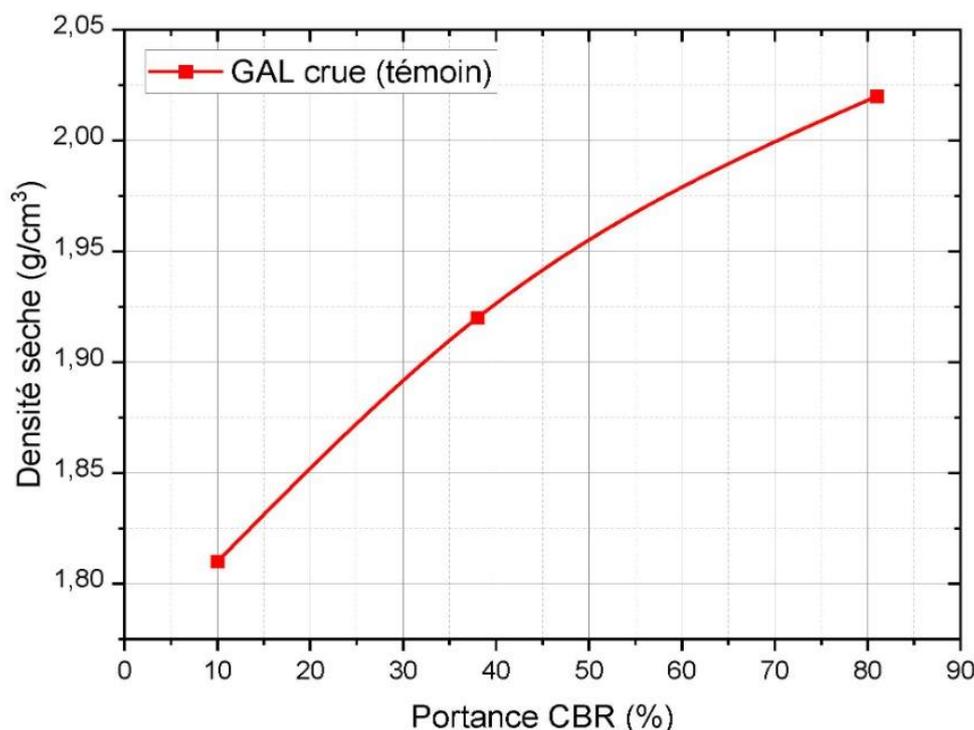


Figure 18: Courbe évolutive des densités sèches de la GAL du matériau cru en fonction de la portance CBR.

## II. INFLUENCE DE LA DECOCTION DU NERE PAR IMBIBITION SUR LA LATÉRITE

### II.2. Limite d'Atterberg

Dans le tableau 9, les limites d'Atterberg du mélange GAL+ décoction par imbibition représentées par les indices de plasticités qui caractérisent la zone où le sol étudié à un comportement plastique. Avec cette amélioration, on remarque que les valeurs de l'indice de plasticité  $I_p$  varient de 14 à 19 avec les concentrations du Néré par imbibition comprises entre 100g/l à 180g/l. Cependant, de 100g/l à 120g/l de concentration on a respectivement  $I_p=18$  et  $I_p=19$ , d'où une augmentation de 35,7% par rapport à la latérite à l'état naturel. Par contre de 120 à 140g/l celles-ci baissent de 35,7% par rapport à la latérite sans ajout de décoction avant de reprendre son maximum à 180g/l correspondant à  $I_p=19\%$  étant au-dessous de celle de la couche de base fixée par le CEBTP à  $I_p=15\%$  mais n'atteignant pas l'indice de la couche de fondation à  $I_p=20\%$ .

Tableau 9: Récapitulatif des Résultats des limites d'Atterberg par Imbibition

Résultats des Essais des limites d'Atterberg						
N° Ordre	Matériaux Prélevé sur Emprunt	Concentration de la décoction par imbibition des gousses du Néré et en Eau		Limites d'Atterberg		
		Nature	g / l	Wl	Wp	IP
1	Grave Argileux Latéritiques (GAL)	EAU	0	45	31	14
2		Décoction à 37°C	100	38	20	18
3		Décoction à 37°C	120	39	20	19
4		Décoction à 37°C	140	43	29	14
5		Décoction à 37°C	180	41	22	19

### I.3. Proctor modifié

Dans le tableau 10 ci-dessous, Les valeurs de l'essai Proctor modifié en ce qui concerne de la teneur en eau optimale ( $w_{opt}$ ) varient dans un intervalle de 11,2 et 12,8%, ce qui montre une augmentation de la capacité d'absorption de ces sols car les valeurs usuelles varient de 5 à 12%. Les densités sèches optimales ( $\gamma_{opt}$ ) sont comprises entre 1,96 à 2,18 à  $g/cm^3$ . En effet, on remarque à une augmentation de 7,9% de la densité sèche par rapport à celle du matériau à l'état naturel qui est  $\gamma_{dmax} = 2,02g/cm^3$  également avec les teneurs en eau optimales pour une valeur de  $w_{opt} = 12,3\%$  qui présentent une augmentation de 4,1% comme illustré à la figure 23.

Tableau 10: Récapitulatif des résultats des essais Proctor

N° Ordre	Matériaux Prélevé sur Emprunt mis en tas Unique	Concentration de la décoction par imbibition des gousses du Néré et en Eau		Proctor modifié	
		Nature	g / l	$\gamma_d$ max(g/cm <sup>3</sup> )	wopt (%)
1	<b>Grave Argileuse Latéritique (GAL)</b>	EAU	0	2,02	12,3
2		Décoction à 37°C	100	2,01	11,2
3		Décoction à 37°C	120	1,96	12,8
4		Décoction à 37°C	140	2,18	10,4
5		Décoction à 37°C	180	2,05	12,6

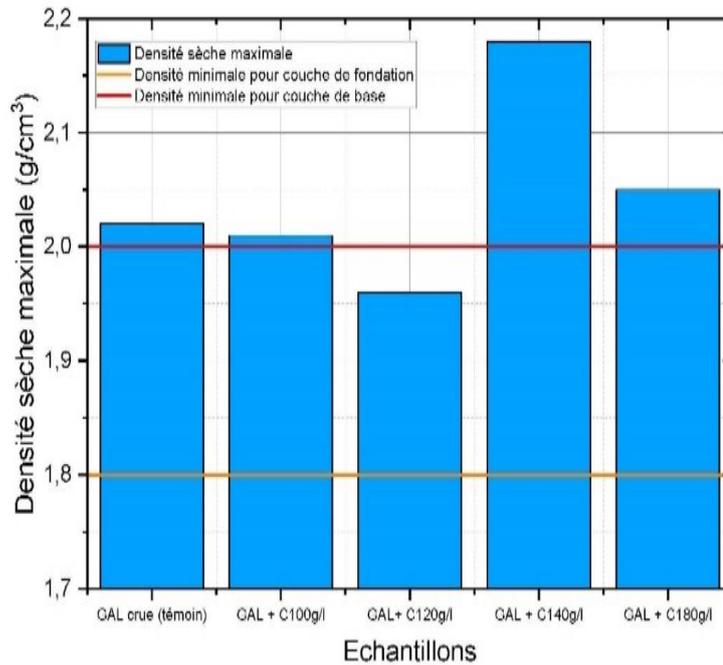


Figure 19 : Evolution de la densité sèche maximale fonction de la décoction par imbibition et du GAL crue.

Cette figure illustre bien, une légère baisse de 0,49% de la densité sèche à 2,01 g/cm<sup>3</sup> par rapport à celle du matériau témoin qui est de 2,02 g/cm<sup>3</sup> avant d'atteindre son maximum à 140g /l pour une densité sèche de 2,18 g/cm<sup>3</sup> jusqu'à ce qu'elle décroisse à 180g/l pour une valeur de 2,05g/cm<sup>3</sup> de la densité sèche.

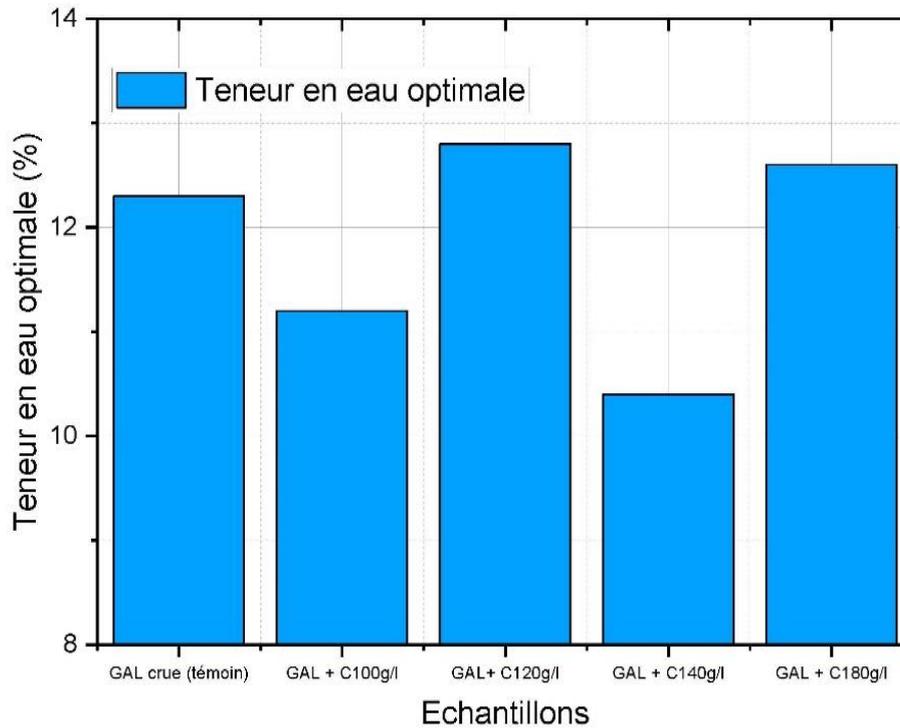


Figure 20 : Evolution de la teneur en eau fonction de la décoction par imbibition et du GAL crue.

En ce qui concerne les teneurs en eau de ce mélange (GAL+Décoction par imbibition), on remarque une baisse de 8,9% à 100g/l par rapport au matériau sans ajout de décoction. Mais, elle atteint un maximum à 120g/l soit une augmentation de 4,06% avant de diminuer à 140g/l puis s'augmente de 2,42% à 180g/l par rapport au matériau sans ajout de décoction comme représenté ci-dessus à la figure 24.

#### II.4. CBR

Toutefois, nous constatons que la GAL sans amélioration à une densité sèche majoritairement faible par rapport au mélange GAL+Décoction par imbibition, ce qui n'est pas le cas des indices CBR à 95% et 98% de l'OPM comme le montre bien le tableau 8.

Tableau 11: Résultats des essais CBR des différentes concentrations de la décoction par Imbibition

Concentrations de la décoction par imbibition des gousses du Néré(g/l)		GAL + Eau	100g/l	120g/l	140g/l	180g/l
INDICE	95%	38	16	35	51	41
CBR	98%	62	21	39	63	45

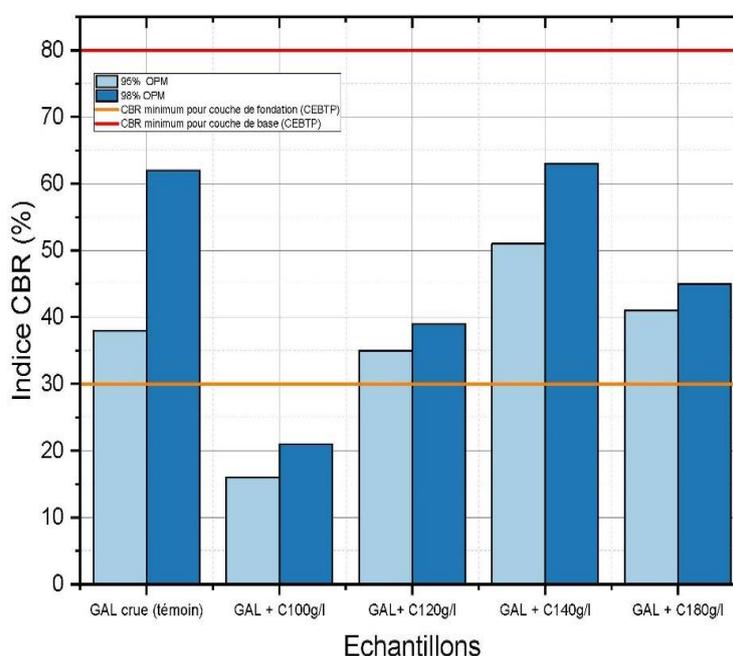


Figure 21 : Evolution de l'indice CBR fonction de la décoction par imbibition et du GAL crue.

L'indice CBR du mélange GAL+Décoction par imbibition présente une baisse de 57,9% à 95% et 66,1% à 98% de l'OPM à 100g/l par rapport au matériau cru. Toutefois, il croit à 140g/l de 51% et 63% respectivement à 95% et 98% de CBR à l'OPM soit une augmentation de 34,2% à 95% et 1,61% à 98% de CBR à l'OPM. Cette observation s'illustre bien par la figure 25 ci-dessus.

## IV. INFLUENCE DE LA DECOCTION DU NERE PAR EBULLITION SUR LA LATERITE

### III.1. Limite d'Atterberg

L'observation faite à travers le tableau 9, indique que les indices de plasticité de la décoction par ébullition baissent de 7,1% à 30g/l par rapport à ceux du matériau à l'état naturel qui est  $I_p = 14\%$  avant de croître légèrement à 21,4% à 35g/l. Enfin, ils baissent de 21,4% à 40g/l pour une valeur de  $I_p = 11\%$ , puis ils croissent légèrement de 7,1 % à 45g/l par rapport à la latérite crue comme le montre bien la figure 26.

Tableau 12: Récapitulatifs des résultats des limites d'Atterberg de la décoction par ébullition.

N° Ordre	Matériaux Prélevé sur Emprunt mis en tas Unique	Concentration de la décoction des gousses du Néré par ébullition et en Eau		Limites d'Atterberg		
		Nature	g / l	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>	IP
1	Grave Argileuse Latéritique (GAL)	EAU	0	45	31	14
2		Décoction à 100°C	30	44	31	13
3		Décoction à 100°C	35	44	27	17
4		Décoction à 100°C	40	43	31	11
5		Décoction à 100°C	45	42	29	13

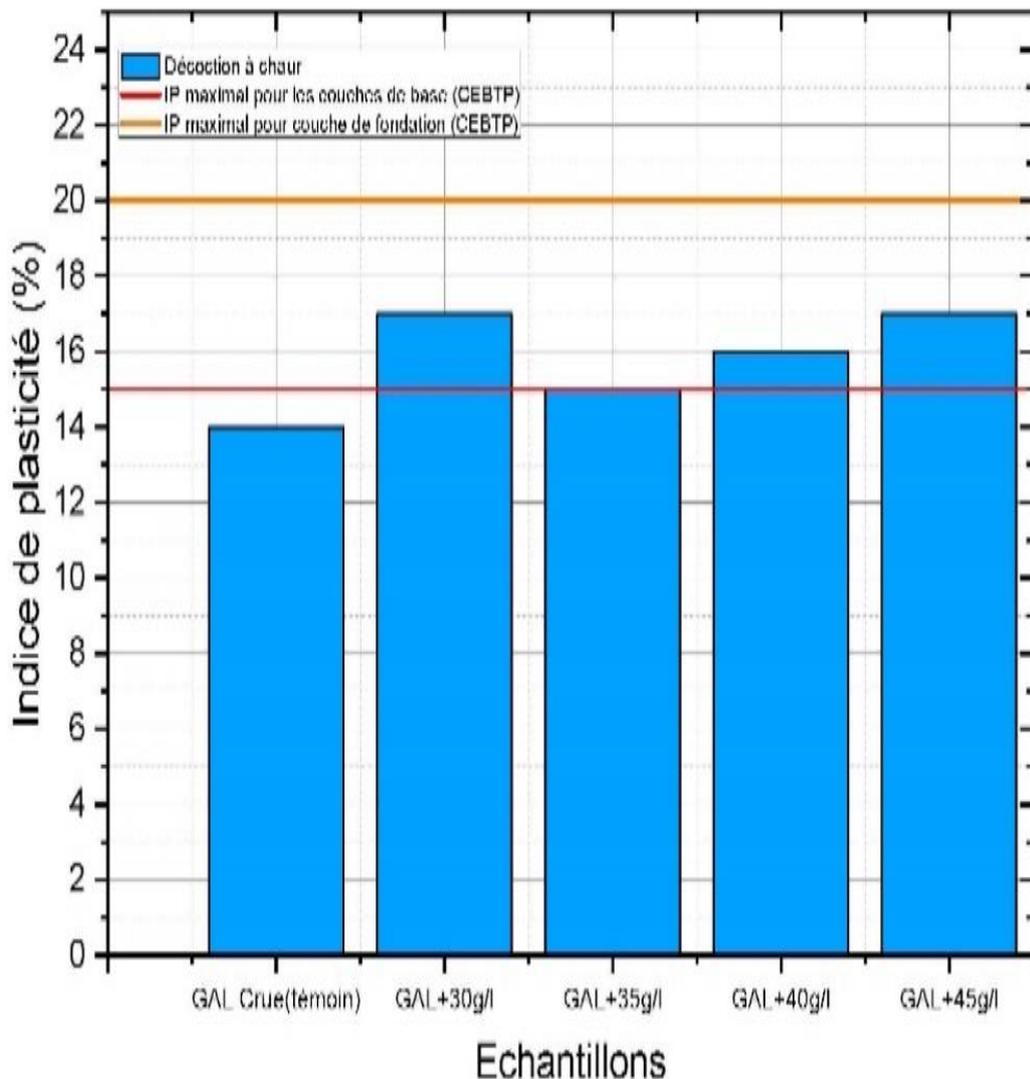


Figure 22 : Evolution de l'indice de plasticité fonction de la décoction par ébullition et du GAL crue.

### III.2. Proctor modifié

Notons que les résultats de l'essai Proctor modifié de la décoction par ébullition sur la latérite montrent que, la densité sèche varie de  $1,99 \text{ g/cm}^3$  à  $2,08 \text{ g/cm}^3$  et c'est principalement aux mélanges GAL+30g/l et GAL+40g/l, que les densités sèches maximales ( $\text{g/cm}^3$ ) sont au-dessus de celles du GAL sans amélioration. Par contre, en ce qui concerne les teneurs en eau de la décoction

par ébullition, elles sont toutes en dessous du matériau sans ajout de décoction, comme illustre à la figure 25.

Tableau 13: Récapitulatifs des résultats du Proctor modifié de la décoction par ébullition sur la latérite.

N° Ordre	Matériaux Prélevé sur Emprunt mis en tas Unique	Concentration de la décoction par ébullition des gousses du Néré et en Eau		Proctor modifié	
		Nature	g / l	$\gamma_d$ max(g/cm <sup>3</sup> )	Wopt (%)
1	<b>Grave Argileuse Latéritique (GAL)</b>	EAU	0	2,02	12,3
2		Décoction à 100°C	30	2,04	10,4
3		Décoction à 100°C	35	2,01	10,4
4		Décoction à 100°C	40	2,08	9,6
5		Décoction à 100°C	45	1,99	11,6

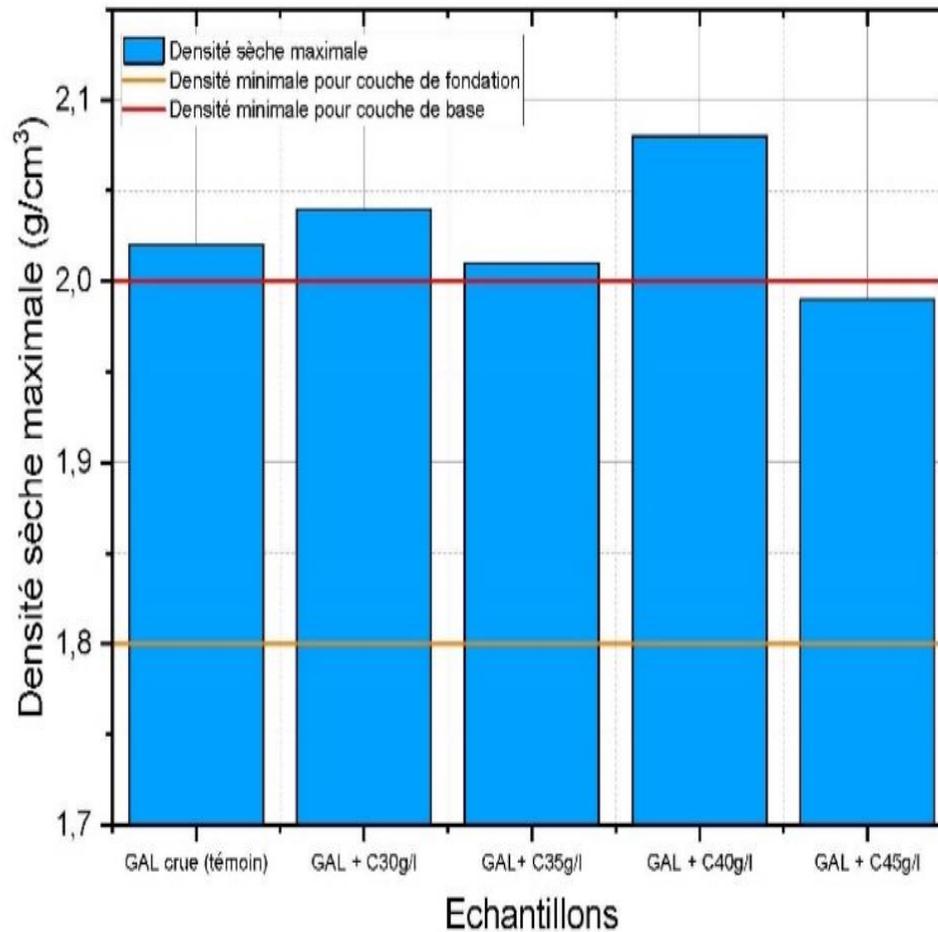


Figure 23 : Evolution de la densité sèche maximale fonction de la décoction par ébullition et du GAL crue.

A la figure 26 ci-dessous, nous remarquons une constante diminution de 15,4% de la teneur en eau de 30 g/l à 35g/l avant de baisser significativement à 40 g/l de 21,9% par rapport au matériau cru, puis croît à 45 g/l à une valeur de  $w_{opt} (\%) = 11,6$  d'où une augmentation de 2,4% rapport au mélange GAL+Décoction par ébullition à 40g/l mais n'atteignant toujours pas celle du matériau sans ajout de décoction.

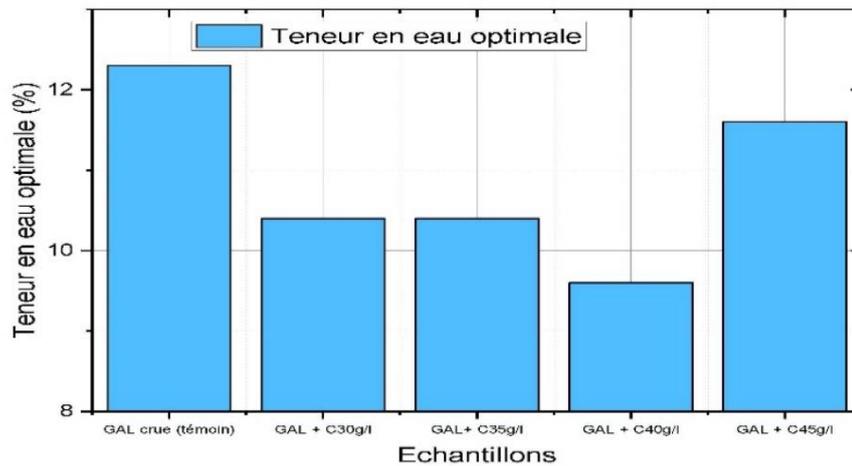


Figure 24: Evolution de la teneur en eau en fonction de la décoction par ébullition et du GAL crue

### III.3. CBR

L'indice CBR du mélange GAL+Décoction représenté dans le tableau 11 et illustré par la figure 27 ci-dessous, décroît à 30g/l avant de croître à 35g/l puis décroît de 40g/l à 45 g/l, à 95% et 98% du CBR à l'OPM par rapport à celui du matériau cru.

Tableau 14 : Résultats des essais CBR des différentes concentrations.

		Concentration de la décoction par ébullition des gousses du Néré g/l				
		GAL+Eau	30 g/l	35 g/l	40 g/l	45 g/l
INDICE CBR	95%	38	25	123	84	27
	98%	62	32	138	114	39

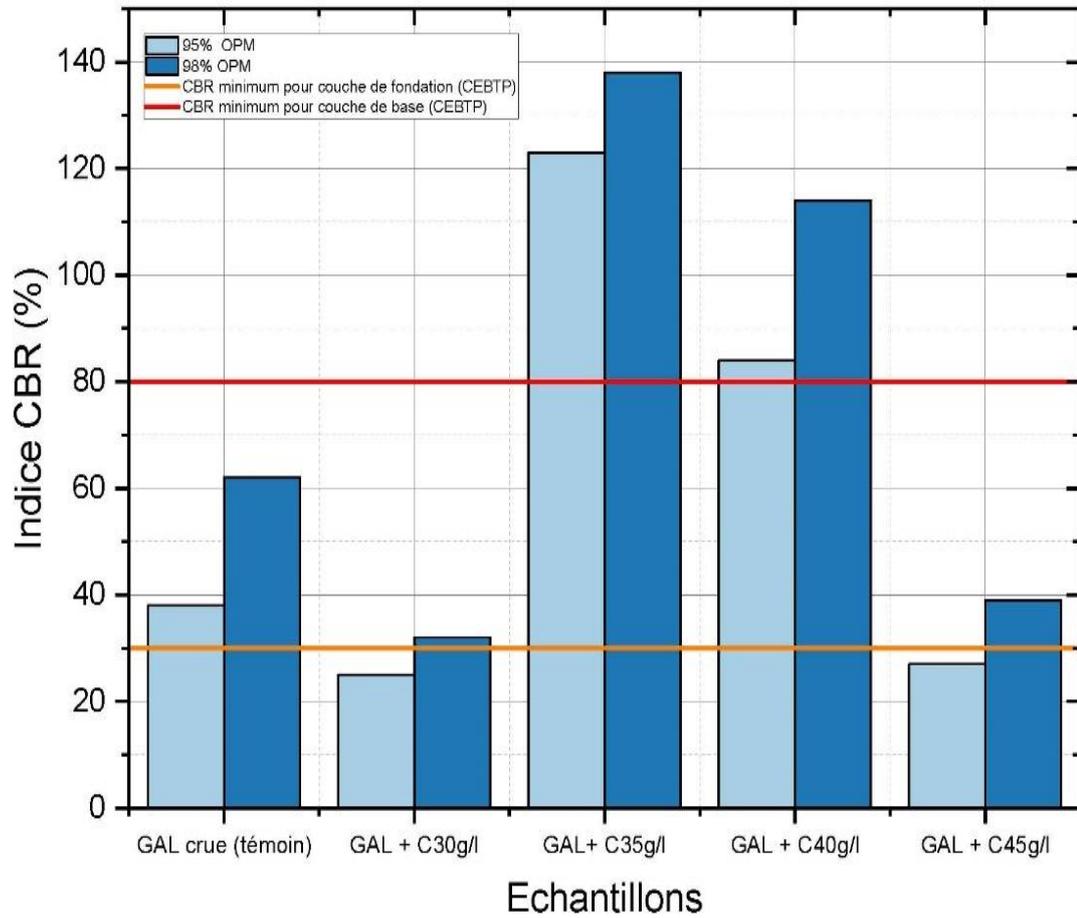


Figure 25 : Evolution de l'indice CBR fonction de la décoction par ébullition et du GAL crue

## V. RECAPITULATIF DES RESULTATS

Le tableau 15 représente le résumé des résultats de l'influence de la décoction par ébullition et par imbibition sur la latérite des différents essais effectués à savoir Limites d'Atterberg, Proctor modifié et CBR à 95% et 98% à l'OPM.

Tableau 15 : Récapitulatif des résultats de l'effet de la décoction par imbibition et par ébullitions sur la latérite

Désignation	LIMITES D'ATTERBERG			PROCTOR		CBR	
	WL	WP	IP	$\gamma_d$ opm (g/cm <sup>3</sup> )	Wopm (%)	95%	98%
<b>GAL CRUE</b>							
GAL	45	31	14	2,02	12,3	38	62
<b>GAL+DECOCTION PAR IMBIBITION</b>							
GAL+100g/	38	20	18	2,01	11,2	16	21
GAL+120g/l	39	20	19	1,96	12,8	35	39
GAL+140g/l	43	29	14	2,18	10,4	51	63
GAL+180g/l	41	22	19	2,05	12,6	41	45
<b>GAL+DECOCTION PAR EBULLITION</b>							
GAL+30g/l	44	31	13	2,04	10,4	25	32
GAL+35g/l	44	27	17	2,01	10,4	123	138
GAL+40g/	42	31	11	2,08	9,6	84	114
GAL+45g/l	42	29	13	1,99	11,6	27	39

En référence au guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, les exigences suivantes sont données pour les matériaux utilisés en assise de chaussée. Pour la couche de fondation, le matériau est acceptable lorsqu'on a un CBR de 30 à 95% à l'OPM pour le GAL naturel et un CBR de 100 à 95% à l'OPM pour le mélange GAL+Ciment. Pour une amélioration

à la chaux, le matériau est acceptable pour un CBR de 60 à 95% de l'OPM. Au vu de ces exigences le matériau amélioré avec la décoction par ébullition satisfait ses exigences.

En ce qui concerne la couche de base, le matériau est acceptable lorsqu'on a un CBR de 80 à 95% de l'OPM pour le GAL naturel et un CBR de 160 à 95% de l'OPM pour une amélioration au ciment. Pour la litho stabilisation, le matériau est acceptable pour un CBR de 110 à 95% de l'OPM. Au vu de ces exigences le matériau amélioré avec la décoction par ébullition satisfait également les exigences pour une utilisation en couche de base mais reste moins performant que le GAL amélioré au ciment.

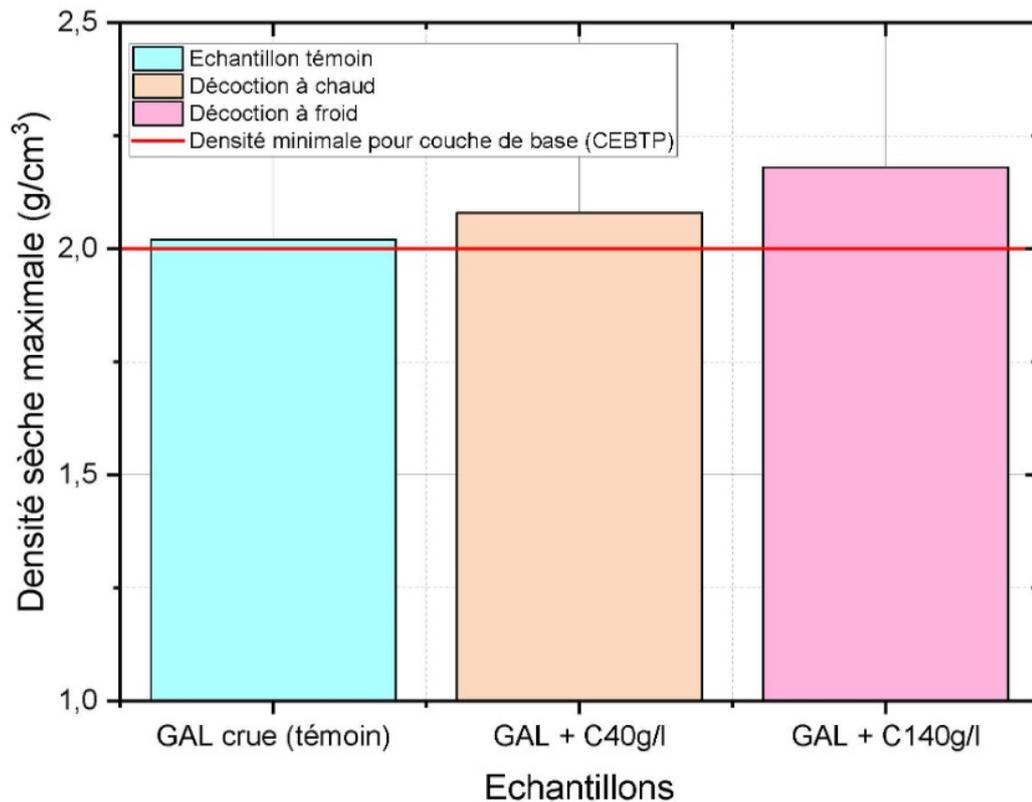


Figure 26: Evolution de la densité sèche maximale g/cm<sup>3</sup> en fonction de la décoction par imbibition, par ébullition et du GAL crue

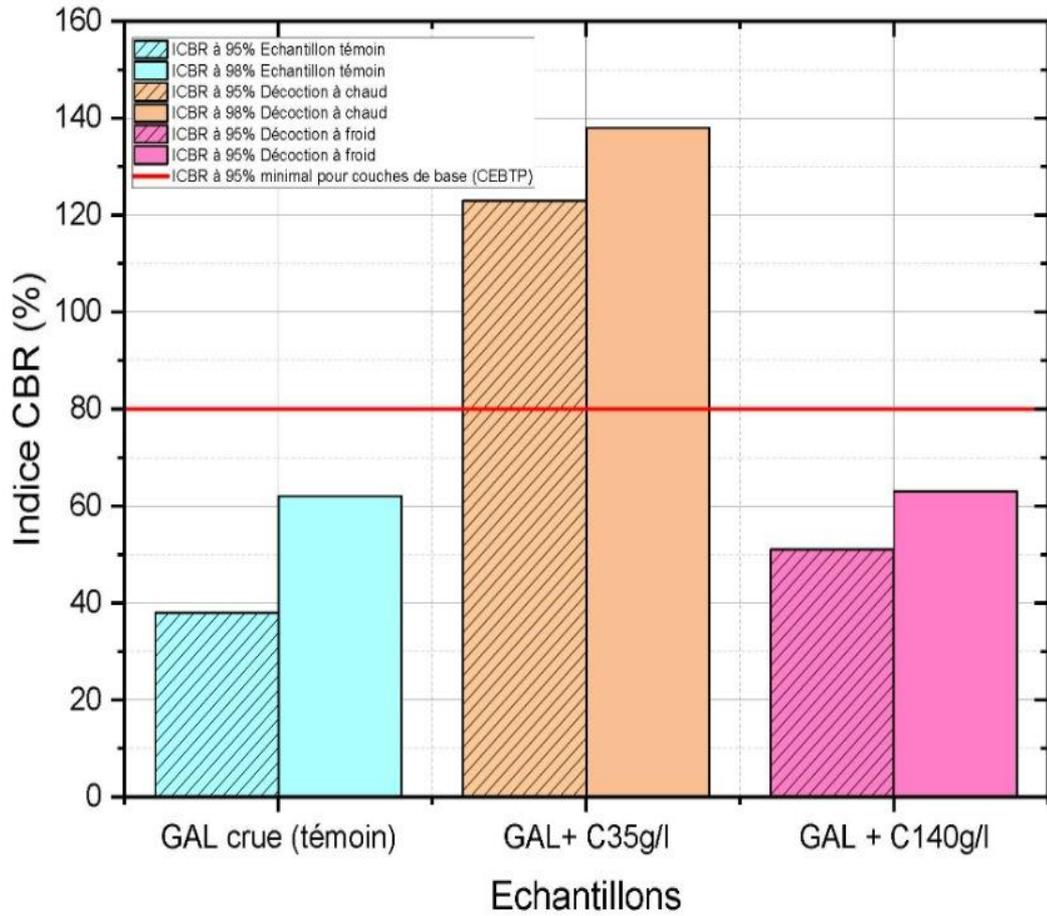


Figure 27: Evolution de l'indice CBR (%) en fonction de la décoction par imbibition, par ébullition et du GAL crue

## VI. DISCUSSION DES RESULTATS

Le mélange GAL+Décoction du parkia-biglobosa donne des résultats satisfaisants par rapport à ceux de la latérite sans ajout de la décoction. En effet, la décoction du néré grâce à sa nature collante, adhère aux particules latéritiques pour former des agrégats grossiers et diminue la teneur en colloïde d'argile. Ces actions permettent de réduire l'intrusion de l'eau dans le sol et d'élever la compacité du sol comme le montre les différents graphes cités plus hauts. Par conséquent les sols traités avec la décoction du néré par imbibition ont obtenu des densités sèches maximales qui s'élèvent à  $\gamma_{dmax} = 2,18\text{g/cm}^3$  à  $140\text{g/l}$ . Ce qui caractérise nous donne les caractéristiques d'un sol résistant et peu perméables à l'eau comme démontré dans l'étude de M. GUETCHO Martial [27] qui a plutôt eu ses meilleures caractéristiques géotechniques à une concentration de  $125\text{g/l}$  pour une densité sèche maximale :  $\gamma_{dmax} = 2,03\text{g/cm}^3$ .

La décoction par ébullition donne également des résultats satisfaisants par rapport à ceux des matériaux crus. Par ailleurs, la décoction du néré par ébullition combinée avec le graveleux latéritique augmente la compacité de celui-ci. En effet, la décoction du néré grâce à sa nature collante, adhère aux particules latéritiques pour former des agrégats grossiers. Ces actions permettent de réduire l'intrusion de l'eau dans le sol et d'élever la compacité du sol comme le montre les différents graphes cités plus hauts. Par conséquent les sols traités avec la décoction du néré par ébullition offrent une qualité de portance conséquente à une concentration de  $35\text{g/l}$  pour une valeur de l'indice CBR à 95% et 98% de l'OPM respectivement 123% et 138% et sont peu perméables à l'eau comme démontré dans l'étude de M. RAMDE Drissa [26], qui a plutôt eu ses meilleures caractéristiques géotechniques à  $40\text{g/l}$  pour un indice CBR à 95 et 98% respectivement 53% et 68% de l'OPM.

Toutes ces deux études ont été faites sur de différents matériaux prélevés (GAL) à des sites différents. Pourtant, les essais effectués sur la GAL par ajout de la décoction du parkia-biglobosa par imbibition et par ébullition a été faite sur le même matériau d'où son utilité.

## CONCLUSION GENERALE

La présente étude se voulait de connaître l'influence de la décoction du parkia-biglobosa sur la grave argileuse latéritique afin de contribuer à l'amélioration des routes en terres face aux dégradations prématurées qu'elles subissent.

En outre, l'amélioration des sols latéritique a été étudiée par un grand nombre de chercheurs. Ainsi des moyens divers ont été mis au point pour avoir des solutions palliatives aux problèmes des couches de chaussées. Le choix des techniques d'amélioration les plus utilisées dépend de plusieurs paramètres tels que, les considérations économiques, la nature du sol à traiter, la durée de l'opération, la disponibilité des matériaux à utiliser ainsi que les conditions environnementales et climatiques. Cette étude effectuée, basée sur l'influence de la décoction du néré par imbibition à des dosages de 100g/l, 120 g/l, 140 g/l et 180 g/l et par ébullition à 30 g/l, 35 g/l, 40 g/l et 45 g/l donnent des résultats satisfaisants sur les caractéristiques géotechniques du graveleux latéritique. La décoction par ébullition présente des meilleurs résultats au niveau de la portance du sol pour une concentration de 35g/l où nous avons obtenu un CBR de 123 et 138 respectivement à 95% et 98% de l'OPM. Par contre, pour l'amélioration avec la décoction par imbibition, nous a permis d'obtenir les valeurs d'indice CBR de 51 et 63 respectivement à 95% et 98% de l'OPM pour une concentration de 120g/l.

A l'issu de cette étude, nous recommandons, de mener des études plus poussées, afin d'avoir une maîtrise de la composition chimique de la décoction par imbibition et par ébullition, compte tenu de la fermentation de celle-ci quel que soit son mode d'extraction. Également de faire un essai de gonflement. Enfin, il sera nécessaire d'avoir aussi des données d'étude sur le comportement à long terme d'un sol latéritique amélioré (décoction du néré par ébullition) à travers une route témoin.

**BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Tockol, I. (1993). Contribution à l'étude des graveleux latéritiques dans les pays du Sahel : cas des routes non revêtues (Doctoral dissertation, École de génie, Université de Moncton, Moncton, NB, CA).
- [2] IDRISSE CHEKARAOU, I., & ZEVOUNOU, C. (2013). Étude du comportement mécanique de la couche de base des routes en terre, réalisées en graveleux latéritiques.
- [3] Talla, P. A. (2010). Étude des constructions en briques de terre stabilisée à l'aide d'extrait de Parkia Biglobosa. Master, 2, 13-48.
- [4] Mohamadou, C. Etude de l'activité antiulcéreuse des extraits d'écorces du tronc de Parkia-biglobosa (Jacq.) Benth. (Mimosaceae) R. Br
- [5] Millogo, A. M. D. (2014). Étude des caractéristiques morphologiques et de la viabilité des semences de Parkia biglobosa (Jacq.) R. Br. ex G. Don. –germoplasme de conservation à long terme à, 4.
- [6] Barry, D. I. (1994). Étude des activités anti-Ictérique et hépato-protectrice des écorces de Parkia biglobosa (Jacq.) Benth. Mimos [ac] eae R. Br (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat pour obtenir le grade de docteur en médecine vétérinaire. École inter-État des sciences de médecine universitaires. UCAD. 106p).
- [7] Touré, A. S. (2020). Étude de la phytochimie et l'activité antiradicalaire de la pulpe de parkia biglobosa utilisée pour la prise en charge de la malnutrition (Doctoral dissertation, USTTB).
- [8] Lawane, A., Pantet, A., Vina, R., & Thomassin, J. H. (2011, December). Étude géologique et géomécanique des latérites de Dano (Burkina Faso) pour une utilisation dans l'habitat. In *Annales du Bâtiment et des Travaux Publics* (No. 6, p. 15). Éditions ESKA.
- [9] Nielsen, I. C. (1992). Mimosaceae (Leguminosae-Mimosoideae). *Flora Malesiana-Series 1, Spermatophyta*, 11(1), 1-226.
- [10] Sorgho, B., Bressollier, P., Guel, B., Zerbo, L., Ouédraogo, R., Gomina, M., & Blanchart, P. (2016). Étude des propriétés mécaniques des géomatériaux argileux associant la décoction de Parkia Biglobosa (nééré). *Comptes rendus chimie*, 19(7), 895-901.

- [11] Doat, J. (1978). Les tanins dans les bois tropicaux. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 182, 37-54.
- [12] Sereme, A., Milogo-Rasolodimby, J., Guinko, S., & Nacro, M. (2011). Propriétés thérapeutiques des plantes à tanins du Burkina Faso. *Pharmacopée et médecine traditionnelle africaine*, 15.
- [13] Partenaire, P. (2012). ETUDE COMPARATIVE DE L'EFFICACITE DE DIFFERENTS TYPES DE STABILISANTS UTILISES POUR LA STABILISATION DES TERRES ARGILEUSES, EN PARTICULIER LES LATERITES (Doctoral dissertation, Université d'Antananarivo).
- [14] AHOUE TOHOU, P., PRODJINNONTO, V., HOUANOU, K. A., GIBIGAYE, M., DOKO, V., & AGBELELE, J. (2020). Détermination des caractéristiques mécaniques de la grave latéritique de Avlamè améliorée en vue de son utilisation en construction routière au Bénin.
- [15] Thiombiano, D. N. E., Lamien, N., Dibong, S. D., & Boussim, I. J. (2010). Etat des peuplements des espèces ligneuses de soudure des communes rurales de Pobé-Mengao et de Nobéré (Burkina Faso). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 9(1), 1104-1116.
- [16] Cosaert, P. (1990). Les voies de communication au Burkina Faso. *Les cahiers d'outre-mer*, 43(169), 53-75.
- [17] Gansonre, Y. (2018). Contribution à la mise en place d'une chaîne qualité pour la conception, la réalisation et la gestion des infrastructures routières au Burkina Faso (Doctoral dissertation, Université Clermont Auvergne (2017-2020)).
- [18] Piquemal, D. (1991). Inventaire et bilan des retenues d'eau au Burkina Faso. *Les cahiers d'outre-mer*, 44(175), 259-280.
- [19] ASSOGBA, K. R., & ALLOBA, E. I. (2020). Étude comparative de l'amélioration des graveleux latéritiques au ciment ou amendés au concassé en vue de leur utilisation en couche de base.
- [20] Atlan, Y. (1978). Catalogue des essais géotechniques exécutés au laboratoire géotechnique d'Orléans. Département géologie du Bureau de recherche Biologique et Minière. Service géologique Nationale du Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat-78 SGN, 178.
- [21] Seklaoui-Oukid, O. (2016). Valorisation des sédiments du barrage d'el merdja sidi Abed: Étude technico-économique (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [22] SAOUS, M., & SUILLM, L. (2015). Les Essais Géotechniques de Control des Travaux Routiers.

[23] Millogo, Y. (2008). Étude géotechnique, chimique et minéralogique de matières premières argileuse et latéritique du Burkina Faso améliorées aux liants hydrauliques : application au génie civil (bâtiment et route). Université d'Ouagadougou, Th. Doct. Chimie minérale, 142.

[24] ADRA, C. E. V., DOKO, V. K., GIBIGAYE, M., OLODO, E., & HOUANOU, A. (2019). Étude du comportement mécanique des bétons latéritiques.

[25] Marshal G. T. (2010). Stabilisations des chaussées routières à base du Néré. Institut international d'ingénierie et de l'eau et de l'environnement (2IE).

[26] Drissa. R. (2022). Amélioration des Caractéristiques Géotechniques de la Grave Argileuse Latéritique par Ajout de la Décoction des Gousses du Parkia-Biglobosa (Néré) pour une Utilisation en Couche de Roulement des Routes en Terre (ACIT).

## ANNEXES