



**INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE
GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO
STABILISATION : CAS DES TRAVAUX DU GRAND
CONTOURNEMENT DE LA VILLE DE
OUAGADOUGOU (BURKINA-FASO)**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC
GRADE DE
MASTER
SPECIALITE : GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
OPTION : ROUTE ET OUVRAGES D'ART**

Présenté et soutenu publiquement le 25/01/2021 par

Mamouwa Bénédite ASSOLOU (20170480)

Directeur de mémoire : Marie Thérèse GOMIS, Enseignant chercheure – 2iE

Maître de stage : Hezou SIMDA, Ingénieur Géotechnicien – LNBTP Togo

Structure (s) d'accueil du stage : EBOMAF/LNBTP

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Prof. Abdou LAWANE GANA

Membres et correcteurs : Dr Philbert NSHIMIYIMANA

: M. Arnaud OUEDRAOGO

Promotion [2020/2021]

DEDICACES

*A mes parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur soutien, leurs prières, leur présence sur tous les plans tout au long de mes études,
A mes chers sœurs et frère, pour leurs encouragements
et leur soutien moral, A mes cousins, mes tantes,
toute ma famille et tous mes amis.*

REMERCIEMENT

Au moment d'exposer les résultats de mon travail, il m'est agréable d'adresser ici mes sincères remerciements à tous ceux qui y ont contribué d'une manière ou d'une autre

Le présent document est le fruit d'un travail qui a été mené au sein de l'Entreprise Bonkougou Mahamadou et Fils (EBOMAF). Je remercie ainsi le Coordinateur Général du projet du Grand contournement de Ouagadougou, Monsieur Camille Firmin COMBARY pour m'avoir permis de faire le stage sur les travaux en cours.

Mes sincères remerciements à Madame Marie Thérèse GOMIS, la Directrice de ce mémoire au sein de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), pour son assistance, sa disponibilité et tous les conseils prodigués.

Je tiens à remercier Monsieur SIMDA Hezou pour m'avoir encadré, pour avoir suivi mon travail de près ; ses conseils, ses contributions ont permis d'améliorer la qualité de mon mémoire.

Merci également à Monsieur WARA, d'avoir Co-encadré cette étude. Il a été un réel support dans le travail.

Je remercie également tout le personnel de EBOMAF et LNBTP pour l'accueil et le soutien que j'ai bénéficié de leur part.

Je remercie tout le corps professoral de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour la qualité de la formation qui nous a été dispensée durant tout notre cursus.

RESUME

Dans le souci de résoudre le problème de disponibilité de matériaux de viabilité, des techniques d'amélioration des performances de matériaux utilisables en couche de chaussé ont été envisagées.

Une des techniques d'amélioration et sur laquelle porte notre étude est la litho stabilisation. Cette dernière s'est avérée très efficace et consiste à améliorer la portance des graveleux latéritiques utilisées en assise des chaussées par adjonction d'une quantité de concassé de granite déterminée au préalable. La détermination de la classe granulaire, du pourcentage optimal du concassé qui permettent d'obtenir des meilleurs résultats géotechniques, ainsi que le souci de montrer les avantages de cette technique sont au centre de la présente étude qui porte sur « **Influence du taux et de la classe granulaire des concassés dans la litho stabilisation : Cas des travaux du grand contournement de la ville de Ouagadougou (Burkina-Faso)** »

Les essais effectués sur la grave argileuse latéritique et le concassé de granite ont montré que les matériaux soumis à l'étude vérifient bien les conditions figurant dans le cahier des prescriptions techniques du projet. Les essais de portance à savoir l'essai Proctor modifié et l'essai CBR ont été réalisés sur des mélanges de tas de latérite provenant de l'emprunt de Nambé et de concassé de granite de classe 0/20 et 0/31.5. Une analyse de l'évolution de la densité sèche de la latérite litho stabilisée a montré que la densité sèche maximale est atteinte pour une amélioration à 30% au concassé de granite de classe granulaire 0/20. L'analyse de la variation de la portance de la latérite stabilisée en fonction du concassé de granite a montré que la portance est maximale pour une amélioration à 25% au concassé de granite de classe granulaire 0/31.5. L'amélioration de la granulométrie de la latérite au concassé de granite de classe 0/31.5 à un taux de 25% avec une énergie de compactage à 98% de l'OPM a donc été retenue compte tenue du gain considérable de portance CBR observé (indice CBR=154).

Mots clés :

1. **Litho stabilisation ;**
2. **Amélioration ;**
3. **Graveleux Latéritique ;**
4. **Concassé de granite ;**
5. **Portance CBR.**

ABSTRACT

In order to solve the problem of the availability of viable materials, techniques for improving the performance of materials that can be used in asphalt layers have been well thought-out.

One of the techniques of improvement and on which our study focuses is litho stabilization. The latter has proved to be very effective and consists in improving the bearing capacity of lateritic gravel used in pavement base by adding a predetermined quantity of crushed granite. The determination of the granular class, the optimal percentage of crushed material that allows the best geotechnical results to be obtained, as well as the desire to demonstrate the advantages of this technique, are the focus of this study, which deals with "**Influence of the proportion and the granular class of crushed material in litho stabilization: Case of the work on the main bypass in the city of Ouagadougou (Burkina-Faso)**".

Tests carried out on the lateritic clayey gravel and crushed granite showed that the materials submitted for study verify the conditions listed in the technical specifications of the project. The bearing capacity tests, that is, the modified Proctor test and the CBR test, were carried out on mixtures of laterite heaps from the Nambé borrow pit and crushed granite of classes 0/20 and 0/31.5. An analysis of the evolution of the dry density of the litho stabilized laterite showed that the maximum dry density is reached for a 30% improvement to the crushed granite of class 0/20. Analysis of the variation in the bearing capacity of stabilized laterite as a function of crushed granite showed that the maximum bearing capacity is reached for a 25% improvement over crushed granite of granular class 0/31.5. The improvement in laterite grading in crushed granite of class 0/31.5 at a rate of 25% with a compaction energy at 98% Modified Optimum Proctor was therefore retained in view of the considerable gain in CBR bearing capacity observed (CBR index =154).

Keywords:

- 1. Litho stabilization;**
- 2. Improvement;**
- 3. Lateritic gravel;**
- 4. Crushed granite;**
- 5. CBR bearing capacity.**

SIGLES ET ABBREVIATIONS

BTP	: Bâtiment Travaux Publics
CBR	: California Bearing Ratio test
CCTP	: Cahier de Clauses Techniques Particulières
CEBTP	: Centre Expérimental de Recherche et d'Etude des Travaux Publics
CPT	: Cahier de Prescription Technique
f	: Fines
GAL	: Grave Argileuse Latéritique
ydop	: Densité sèche optimale
GL	: Grave Latéritique
GTR	: Guide technique pour les Remblais et couches de forme
HRB	: Highway Research Board
IP	: Indice de Plasticité
LA	: Coefficient Los Angeles
LCPC	: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
OPM	: Optimum Proctor Modifié
ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
PDG	: Président Directeur Général
SETRA	: Service des Études Techniques des Routes et Autoroutes
USCS	: Unified Soil Classification System
ω_l	: Limite de Liquidité
ω_{opt}	: Teneur en eau optimale
ω_p	: Limite de Plasticité

SOMMAIRE

DEDICACES	i
REMERCIEMENT	ii
RESUME	iii
ABSTRACT	iv
SIGLES ET ABREVIATIONS	v
SOMMAIRE	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
INTRODUCTION	1
1. Problématique	1
2. Objectifs	2
3. Méthodologie	3
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	4
II. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	6
2.1. Synthèse bibliographique sur l'état de l'art d'utilisation des latérites en couche de chaussée.	6
2.2. Le Granite	11
III. TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES MATERIAUX	13
3.1. Généralités	13
3.2. Différentes techniques de traitement des matériaux	13
IV. TECHNIQUE DE LA LITHO STABILISATION	16
4.1. Historique de la litho stabilisation	16
4.2. Définition et principe	16
4.3. Les techniques de mise en œuvre de la litho stabilisation	17
4.4. Etude du lithostab	19
4.5. Avantages de la litho stabilisation	19
4.6. Conclusion	20
V. ETUDES EXPERIMENTALES	21
5.1. Objectifs de l'étude	21
5.2. Méthodologie	21
5.3. Résultats des essais	35
5.4. Interprétation des résultats	35
5.5. Observations/ recommandations	48
CONCLUSION	50
BIBLIOGRAPHIE	52
ANNEXES	ix

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1: Classification géotechnique des graveleux latéritiques (BAGARRE, 1990).....	9
Tableau.2: Pourcentage de fines et indice de plasticité suivant le trafic (BAGARRE, 1990).....	10
Tableau 3: Dosages pour le traitement de sols par les liants hydrocarbonés (JIKOLUM, 2011)	14
Tableau 4: Les avantages de la litho stabilisation.....	19
Tableau 5 : Charge utile en fonction de la classe granulaire du gravier (LOS ANGELES):	33
Tableau 6: Granulométrie du GAL.....	36
Tableau 7: Récapitulatif des résultats des propriétés physiques du GAL	37
Tableau 8: Récapitulatif des résultats des propriétés mécaniques	39
Tableau 9: synthèse des résultats des essais effectués sur le concassé	41
Tableau 10 : L'analyse granulométrique sur le mélange concassé 0/20 et GAL	42
Tableau 11: L'analyse granulométrique sur le mélange concassé 0/31.5 et GAL	44
Tableau 12: synthèse de tous les résultats obtenus.....	46

LISTE DES FIGURES

Figure 1;Fuseau granulométrique d'un bon matériau de couche de fondation	10
Figure 2:Fuseau granulométrique d'un bon matériau de couches de bases	11
Figure 3: épandage du graveleux latéritique à l'état naturel.....	17
Figure 4:épandage du concassé	18
Figure 5:Homogénéisation du mélange et compactage	18
Figure 6:Prélèvement du GAL.....	21
Figure 7:Prélèvement du concassé de granite.....	22
Figure 8: principe de quartage	23
Figure 9:quartage effectué au Laboratoire	23
Figure 10:Diviseur à couloir.....	24
Figure 11: Tamis utilisés pour l'analyse granulométrique.....	25
Figure 12:Matériels utilisés pour les limites d'Atterberg.....	27
Figure 13:Presse CBR.....	28
Figure 14 : Presse CBR.....	29
Figure 15: courbe Proctor matériau nature: 100% GAL	38
Figure 16: Courbe CBR matériau crue (100% GAL) marquée à 98 % de l'optimum Proctor.....	38
Figure 17:Mélange GAL avec les concassés de granite	42
Figure 18:Variation de l'indice de plasticité et teneur en eau en fonction du pourcentage de concassé ajouté ..	43
Figure 19:Variation de la densité sèche et teneur en eau en fonction du pourcentage de concassé ajouté	43
Figure 20: Variation de l'Indice CBR en fonction du pourcentage de concassé ajouté.....	44
Figure 21:Variation de l'indice de plasticité en fonction du pourcentage de concassé 0/31.5 ajouté	45
Figure 22:Variation de la densité sèche et teneur en eau en fonction du pourcentage de concassé 0/31.5 ajouté	45
Figure 23:Variation de l'Indice CBR en fonction du pourcentage de concassé 0/31.5 ajouté	46
Figure 24:Indice CBR en fonction du pourcentage de concassé	47

INTRODUCTION

La route est un facteur incontournable d'émergence, de communication, de transport et de développement socio-économique des différents pays. Au Burkina-Faso, pays enclavé, le réseau routier est le réseau le plus sollicité pour les échanges économiques ; d'où la nécessité d'assurer sa pérennité. Dans cette optique, des questions concernant les techniques et les matériaux à utiliser pour la réalisation des différents axes routiers se posent. A ces questions d'ordre techniques s'associent des contraintes d'ordre financier. En effet, les pays en voie de développement comme le Burkina Faso sont financièrement limités et ce facteur doit être pris en compte dans le choix éventuel des différentes techniques et matériaux de construction routière.

Le Burkina Faso, soucieux de la pérennité de ses infrastructures routières qui sont de plus en plus sollicitées à travers l'accroissement du trafic ne fait pas l'exception de cette réalité, car les matériaux de base ne répondent plus à l'exigence prescrite en couche de chaussée notamment celle de la fondation.

C'est dans cette logique que nous nous sommes penchés dans le cadre de notre projet d'étude de fin de cycle sur l'amélioration des matériaux latéritiques communément utilisé dans la construction routière.

1. Problématique

Parmi les matériaux de construction routière entrant dans la mise en œuvre des assises de chaussée au Burkina Faso, les graveleux latéritiques ont été largement utilisée pour des raisons économiques et techniques. Mais aujourd'hui, avec les sollicitations de plus en plus croissantes, induites par le volume des échanges économiques, que connaissent les grands axes routiers, de nouvelles contraintes apparaissent :

- ✓ Les graveleux latéritiques naturels présentent des limites objectives en tant que matériaux de chaussées ;
- ✓ Ces matériaux de viabilité se font de plus en plus rares ;

L'utilisation systématique des latérites comme matériaux de construction commence à en faire une ressource rare dans certaines parties du pays. Cet état de « ressource rare » a pour conséquence qu'il devient nécessaire d'étudier comment l'on pourrait, à défaut d'utiliser des matériaux naturels de remplacement, étendre les techniques d'amélioration des propriétés de

ces matériaux. D'où la décision de procéder au renforcement des grands axes routiers par des matériaux plus élaborés.

La solution de graveleux latéritiques améliorés au ciment qui consiste à l'adjonction de ciment à un sol en place ou à un matériau d'apport afin d'augmenter la cohésion du mélange après la prise est celle qui a longtemps prévalu en Afrique sub-saharienne. Cependant elle a montré des limites avec le temps :

- ✓ Des difficultés de mise en œuvre ;
- ✓ Des difficultés d'approvisionnement en ciment.

Cet état de fait a poussé vers d'autres solutions. La solution la plus immédiate et la plus rationnelle à laquelle on aurait pensé aussitôt dans le contexte géologique burkinabé est celle de la couche de base réalisée entièrement en tout venant de concassés. Mais cette solution est considérée comme une solution onéreuse. D'où le recours à une amélioration des graveleux latéritiques en concassé de granite. Cette dernière solution s'est très vite montrée convaincante car elle est d'une mise en œuvre facile, elle donne une meilleure portance et est moins onéreuse que l'amélioré au ciment.

C'est dans cette logique que des études visant à améliorer ces graveleux latéritiques avec du concassé sont réalisées: c'est la technique de la Litho Stabilisation de l'assise des chaussées. Le projet de contournement de la ville de Ouagadougou en cours et sur lequel portent nos travaux de recherche est une application de ladite technique.

2. Objectifs

2.1. Objectif général

L'objectif général de ce travail est de Trouver des matériaux reconstitués répondant aux caractéristiques des routes exigées dans les cahiers des prescriptions techniques.

2.2. Objectifs spécifiques

De manière spécifique, il sera question :

- D'étudier les caractéristiques des matériaux latéritiques avant amélioration,
- D'étudier les caractéristiques des concassés de granite en fonction de leur classe granulaire,
- De déterminer le pourcentage et la classe de concassé qui donneraient une couche de fondation de bonne portance et durable.

- d'aboutir à des résultats qui permettraient de confirmer ou d'infirmer le taux d'amélioration de 30% qui est généralement utilisé sur les chantiers de route, et de faire connaître la technique

3. Méthodologie

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

- Une recherche documentaire, suivie de la lecture et compréhension des normes des essais géotechniques.
- Une visite de chantier pour la prise de connaissance de manière concrète de la technique et pour le prélèvement des matériaux à l'emprunt du chantier (graveleux latéritique et concassé de granite).
- Une étude du graveleux latéritique naturel : essais d'identification et de portance.
- Une étude du concassé de granite : essais d'identification et de résistance.
- Une étude du graveleux latéritique amélioré au concassé à plusieurs pourcentages : essais de paramètres physiques et mécaniques.
- Une étude du graveleux latéritique amélioré au concassé à plusieurs classes granulaires : essais de paramètres physiques et mécaniques.
- Une interprétation des résultats.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Le Groupe EBOMAF : Entreprise Bonkougou Mahamadou et Fils est un groupe panafricain leader du BTP, intervenant dans la construction d'infrastructures routières et aéroportuaires en Afrique de l'Ouest.

La société à la tête du groupe, EBOMAF, a été fondée en 1989 au Burkina Faso par son PDG. Cette entreprise à l'actionnariat familial a su rapidement diversifier son activité d'origine de BTP en développant de nouveaux secteurs tels que l'immobilier, le transport aérien, le génie civil, l'hôtellerie et la restauration.

Cette diversification s'est accompagnée d'une emprise géographique croissante en Afrique de l'Ouest et en particulier, outre le Burkina Faso, au Togo, au Bénin, en Côte d'Ivoire et en Guinée.

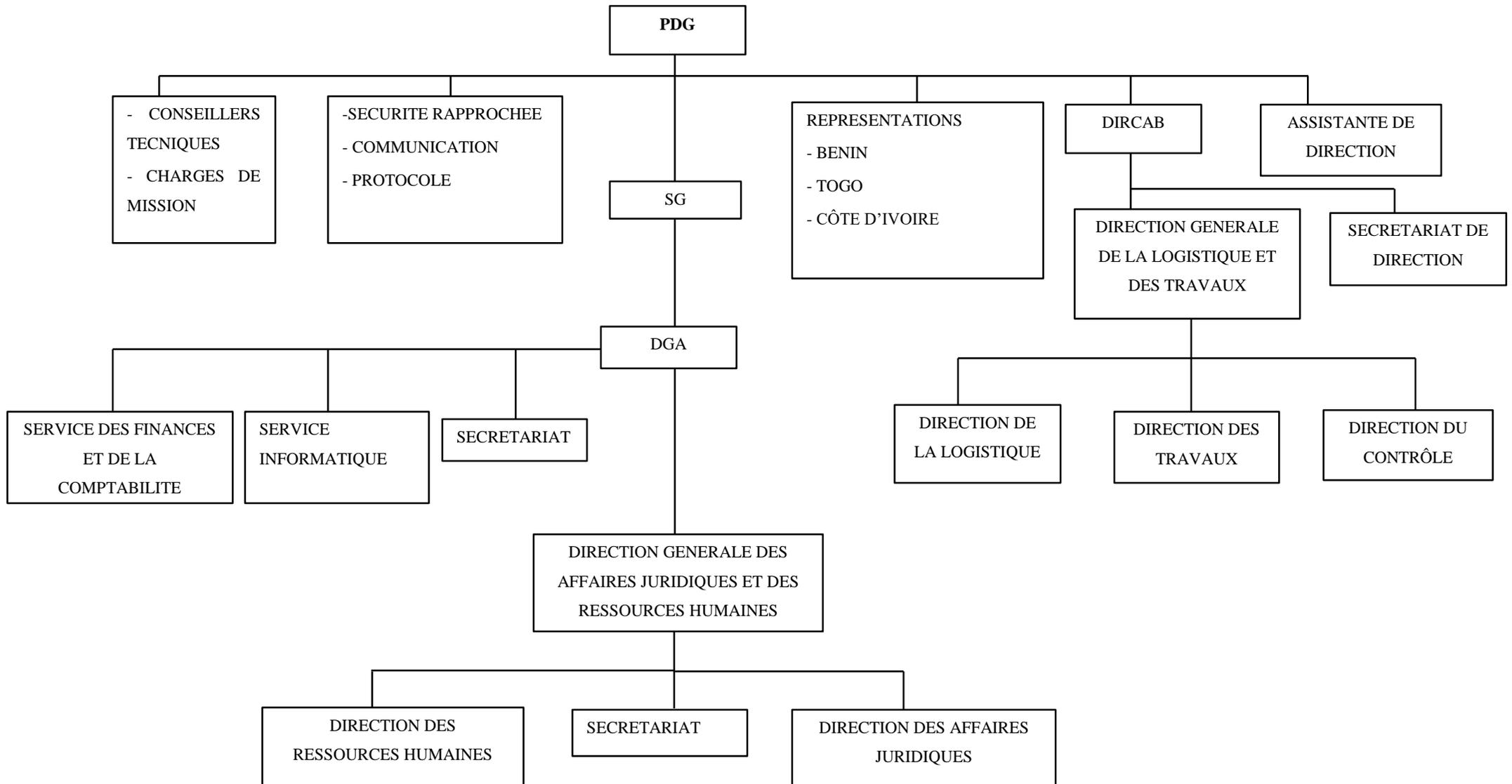
Les activités de construction d'infrastructures et de grands ouvrages représentent un enjeu majeur pour l'Afrique de l'Ouest. Le groupe EBOMAF, fort d'une approche novatrice des partenariats public-privé et d'un savoir-faire reconnu, est aujourd'hui l'un des acteurs africains à même d'assumer cette mission autrefois réservée aux grands groupes occidentaux.

Ses domaines d'intervention sont :

- Construction
- Hôtellerie
- Immobilier
- Infrastructures
- Maîtrise d'œuvre
- Production
- Transport aérien



Organigramme du groupe EBOMAF



II. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. Synthèse bibliographique sur l'état de l'art d'utilisation des latérites en couche de chaussée.

2.1.1. Historique et définition

Le mot « latérite », dérivé du mot *Later* qui signifie brique, désigne un matériau provenant de l'altération d'une roche mère, sous l'effet de certains agents climatiques dans les régions tropicales. Selon le géologue Schellmann « Les latérites sont des produits d'intense altération météorique et sont constitués d'un assemblage minéral qui peut être fait de goethite, d'hématite, d'hydroxyde d'aluminium, de kaolinite et de quartz ». Nous retiendrons cette dernière comme guise de définition car elle semble de nos jours faire l'unanimité. En effet la latérite est essentiellement constituée d'oxyde de fer et d'aluminium. En ingénierie routière, on utilise les termes graveleux latéritique (GL) et grave argileuse latéritique (GAL) pour désigner un sol latéritique possédant une granulométrie comprise entre 0/20 et 0/40 mm, comportant 10 à 35% de passant au tamis 80 µm et un refus au tamis de 2 mm de 20 à 60%. (KIKONE, 2016)

2.1.2. Types de latérite

Les latérites sont distinguées suivant leur couleur, leur morphologie et leur position dans le profil d'altération.

a. Couleur

On distingue plusieurs couleurs de latérites. Les plus courantes sont : le rose, l'ocre, le rouge, le brun. Il faut noter qu'un même échantillon peut présenter plusieurs gammes de couleur. Les différentes pigmentations sont essentiellement dues à l'oxyde de fer, d'aluminium et parfois de manganèse dans le matériau. A partir de la couleur de la latérite, on peut avoir une idée grossière de sa composition et de son milieu de formation. En exemple, les cuirasses ferrugineux sont rouges ou ocres dans leurs stades juvéniles puis deviennent plus foncés en vieillissant avant de prendre la couleur brune, parfois presque noires. Tandis que les cuirasses alumineuses deviennent plus claires avec le temps.

b. Morphologie

Sur le plan morphologique, on distingue deux types de latérites :

- ✚ La latérite meuble : Elle est généralement graveleuse et se retrouve dans des horizons concrétionnés gravillonnaires¹. Elle est utilisée dans la construction des routes et dans la construction des bâtiments en blocs de terre comprimée.
- ✚ La latérite indurée : son durcissement est mis en place ou alors acquis par exposition à l'air. Elle est plus spécifiquement utilisée dans la construction de maison en blocs de pierre taillée.

c. Profil d'altération

Le profil d'altération peut atteindre plusieurs épaisseurs, organisé de façon tripartite de la base au sommet :

- ✚ Sous la **cuirasse** très souvent non préservée, les **allotérites**² composées par des argiles et limons d'altération, souvent kaoliniques et tachetées, où la roche mère n'est plus reconnaissable,
- ✚ Les **isaltérites** composées de sables et/ou de limons d'altération (fameuse arène typique sur les roches granitiques et pouvant contenir des boules de granites) où la roche mère est reconnaissable mais devenue extrêmement faible
- ✚ La zone fissurée c'est-à-dire **la roche mère** affectée par des fissures, fractures et failles d'origines tectonique et accentuées par l'altération chimique. Ces structures tectoniques³ et tectono-altéritiques sont tapissées par des oxydes de fer (de couleur semblable à la rouille).

2.1.3. Classification des graveleux latéritiques

Le but de cette classification est de regrouper les graveleux latéritiques présentant les comportements similaires dans les mêmes conditions d'utilisation ou de sollicitation. Les paramètres de base pour ladite classification sont la granulométrie, notamment le pourcentage des fines (0,08 mm), les limites d'Atterberg, la capacité portante (CBR) et les caractéristiques de compactage (BAGARRE, 1990). Il sera traité principalement deux grandes classifications dans les lignes suivantes, à savoir celle basée sur les systèmes internationaux et celle liée au volet géotechnique.

¹ Réunion des parties gravillonnaires

² Formation géologique

³ Structures issues des mouvements et déformations de l'écorce terrestre

a. Classification dans les systèmes internationaux

Les méthodes de classification suivant les systèmes internationaux sont :

- **Classification HRB (Highway Research Board)** : Plusieurs classes sont couvertes par les graveleux latéritiques. Les plus graveleux sont les classes A1, A2 et A3 tandis que les plus argileux (passant à 0,08 mm > 35%) sont des A4, A5, A6 et A7.
- **Classification USCS (Unified Soil Classification System)** : Les graveleux latéritiques entrent en général dans la catégorie des sols grenus. Ils se répartissent entre les graviers argileux et les sables argileux lorsque leur granulométrie maximale est réduite.
- **Nouvelle classification française des sols** : La quasi-totalité des graveleux latéritiques sont de la classe B6 (f : 12 à 35% et IP>10) ;
- **Classification GTR (Guide technique pour les remblais et couches de forme, juillet 2000)** : Les graveleux latéritiques relèvent de la classe B (sol argileux et sableux avec fines)

b. Classification géotechnique

La classification géotechnique vise la différenciation des graveleux latéritiques afin de favoriser leur utilisation efficiente en construction routière.

Les paramètres permettant de classer les graveleux latéritiques sont bien connus :

- La granulométrie, notamment le pourcentage de passant au tamis 0,08 mm
- Les limites d'Atterberg
- La capacité portante (CBR)
- Les caractéristiques de compactage (essai Proctor)

Plusieurs systèmes de classification existent. Parmi eux nous avons la classification HRB, la classification USCS, la classification LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussés), la classification ORSTOM, etc. La classification HRB est celle utilisée au Burkina Faso, (BAGARRE, 1990). Ainsi, sur la base du pourcentage de fines (f), de l'indice de plasticité (IP) et du produit

$f \times IP$ ou module de plasticité ; trois types de graveleux latéritiques ont été identifiés comme suit ;

Tableau.1: Classification géotechnique des graveleux latéritiques (BAGARRE, 1990)

Type de GAL	Paramètres de classification						Domaines d'emploi
	Fines %	IP%	f×IP	CBR	γ_{dop} (t/m ³)	ω_{opt} (%)	
GL1	15	>16	<250	>30	>2,1	5 à 8	En couche de fondation et en couche de base (si CBR>80)
GL2	15 à 25	>24	250 à 600	15à40	2à2,25	7 à 10	Rarement en couche de fondation
GL3	25 à 35	>28	600 à 1000	<30	1,9 à 2,2	8 à 12	Matériau de remblai ou en couche de forme

2.1.4. Utilisation du graveleux latéritique dans la technique de la litho-stabilisation

a. Critère de choix des matériaux

Graveleux latéritique naturel

Les graveleux latéritique stabilisés aux concassés doivent en général être conformes aux spécifications suivantes telle que préconisées par le HRB (CEBTP, 1984):

Granulométrie :

- Dimension maximale des grains:75 mm
- % passant au tamis de 5 mm: ≥ 50
- % passant au tamis de 0,5 mm: ≥ 15
- % passant au tamis de 0,08 mm: ≤ 50
- % d'argile inférieure à $2\mu\text{m}$: ≤ 30
- Coefficient d'uniformité D60/D10 ≥ 5

Plasticité :

- Limite de liquidité: ≤ 40
- Indice de plasticité: ≤ 20 (de préférence 15)

Concassées de granites

D'une manière générale on peut utiliser n'importe quelle classe granulaire de concassés de granites, dosé à différent pourcentage de manière à se conformer aux spécificités courantes. Les concassés agissent mécaniquement sur le graveleux latéritique en ce sens qu'ils produisent des modifications progressives des propriétés physico-mécaniques du mélange. Le pourcentage et

la classe granulaire de concassée de granite à retenir seront ceux pour lesquels on aura un gain considérable de CBR.

b. Critères d'acceptabilité des matériaux latéritiques en construction routière

L'utilisation des graveleux latéritique comme matériaux de corps de chaussée en construction routière obéit à des critères, selon le centre expérimental de recherche et d'étude des travaux publics (CEBTP, 1984). Ainsi :

- En couche de fondation, un CBR d'au moins 30 à 95% de l'optimum Proctor est requis. Pour de faibles trafics (T1 à T3), une valeur minimale de 25 est admise contre 35 pour les trafics élevés (T4 à T5). La densité sèche minimale est de l'ordre de 1,8 à 2 tonnes/m³ en fonction de l'importance du trafic. Pour ce qui est de la granulométrie, la dimension maximale des éléments n'excède pas 60 mm Le pourcentage des fines et l'indice de plasticité dans le tableau suivant :

Tableau.2: Pourcentage de fines et indice de plasticité suivant le trafic (BAGARRE, 1990)

	Classe de trafic		
	T1-T2	T3-T4	T5
Maximum de passant à 80 µm (%)	35	30	30
Indice de plasticité maximal (%)	30	20	20

La courbe granulométrique du matériau doit rester à l'intérieur du fuseau ci-après (voir la figure 1)

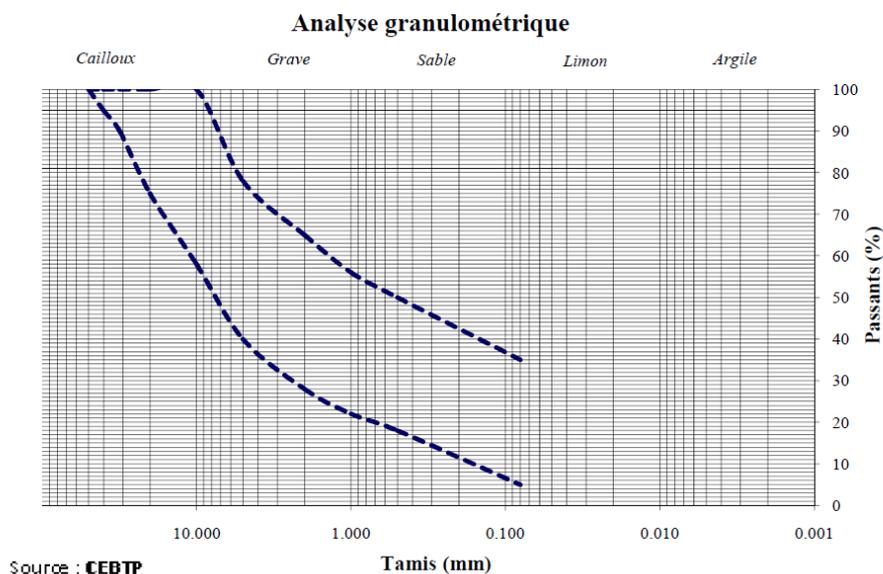


Figure 1: Fuseau granulométrique d'un bon matériau de couche de fondation

- En couche de base, l'exigence est plus sévère qu'en couche de fondation car un CBR d'au moins 80 à 95% de l'OPM est requis pour les trafics T4 et T5. Mais un indice CBR de 60 peut être admis pour les trafics T1 à T3. Néanmoins la densité sèche minimale est de l'ordre de 2 t/m^3 , l'indice de plasticité est estimé à 15 et le pourcentage des fines ne doit pas excéder 20.

La courbe granulométrique du matériau doit s'inscrire à l'intérieur du fuseau représenté à la figure 2 ci-dessous

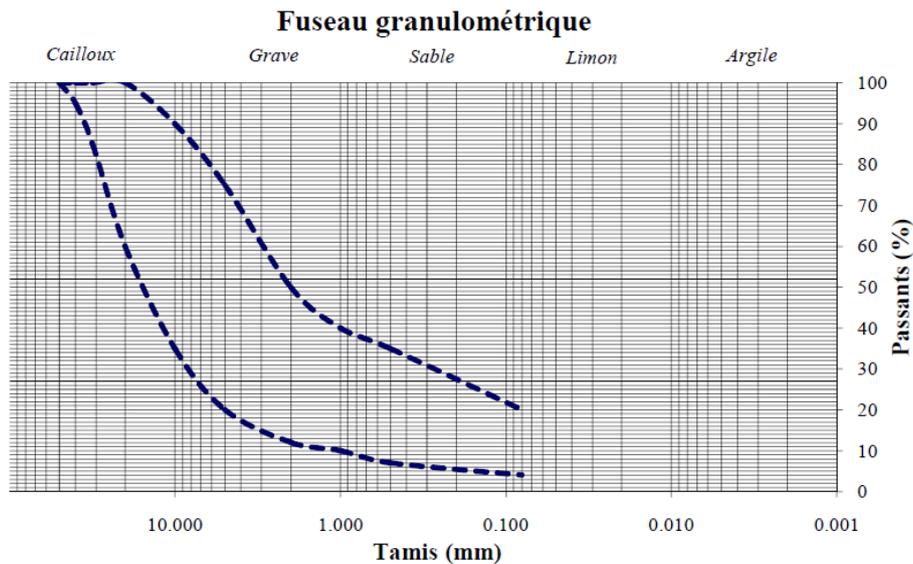


Figure 2: Fuseau granulométrique d'un bon matériau de couches de bases

2.1.5. Graveleux latéritiques et leurs particularités au Burkina Faso

Les graveleux latéritiques constituent un matériau très variable. L'épaisseur des couches exploitables varie entre 20 cm et 50 cm, se situant beaucoup plus autour de 40 cm et très rarement entre 50 et 100 cm de profondeur. Les graveleux latéritiques du Burkina Faso répondent généralement aux spécifications techniques suivantes : (LOMPO, 1980)

- Granulométrie : 0/20
- Refus au tamis de 2 mm : 50 à 80%
- Indice de portance CBR : 18 à 35

2.2. Le Granite

2.2.1. Définition

Le mot « Granite », dérivé du latin *Granum* qui signifie grain, désigne une roche magmatique plutonique formée en profondeur par un refroidissement lent du magma issu de la fusion partielle de la croûte continentale. Le granite est constitué de minéraux visibles à l'œil

nu sous forme de cristaux. Ce sont principalement le mica, le feldspath et le quartz. C'est une roche beaucoup utilisée notamment dans le domaine de la construction pour la mise en œuvre du béton. On dénombre aujourd'hui plus de 500 couleurs de granites différentes. (KIKONE, 2016)

2.2.2. Typologie de granite

On distingue plusieurs types de granite :

- Les granites calco-alcalins : Ils sont d'origine mixte et ont la particularité d'être grenus.
- Les granites tholéitiques : Ils sont de teintes claires et riches en feldspaths.
- Les granites alcalins : Ils sont constitués de matériaux appelés feldspaths alcalins.
- Les leuco granites : Ils sont relativement riches en alumine et sont caractérisés par la présence de muscovité (mica blanc) à côté de la biotite.
- Les granites d'anatexie : Ils sont issus de la fusion de la croûte continentale.

2.2.3. Types de granites rencontrés au Burkina Faso

On rencontre différents types de granites au Burkina Faso parmi lesquels :

- Les granites alcalins ;
- Les granites calco-alcalins caractérisés par la présence du mica blanc et riche en alumine.

III. TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES MATERIAUX

3.1. Généralités

En technique routière, le traitement des matériaux est l'ensemble des processus qui consistent à apporter une stabilité à un sol dont les caractéristiques ne répondent plus à l'exigence demandé.

Cependant la stabilisation consiste à améliorer les caractéristiques géotechniques d'un matériau afin de le rendre utilisable en infrastructure ou en superstructure soit par adjonction d'une portion granulaire d'un autre (stabilisation mécanique) ; soit par adjonction de liants hydrauliques (traitement chimiques) ou hydrocarbonés.

Les objectifs recherchés par une stabilisation sont les suivants :

- Augmenter la résistance mécanique et la portance ;
- Améliorer l'aptitude au compactage ;
- Diminuer la sensibilité à l'eau ;

3.2. Différentes techniques de traitement des matériaux

Il existe trois grandes techniques de traitement des matériaux à savoir :

- ✓ Traitement chimique
- ✓ Traitement mécanique

3.2.1. Traitement chimique

Le traitement chimique est une technique qui consiste à l'injection ou au mélange de substances chimiques dans le sol. Il s'agit d'augmenter la cohésion des matériaux à travers la réaction chimique provoquée avec l'eau et les matériaux eux même. Comme produit chimique on peut citer : ciment, asphalte, chaux, chlorure de calcium, chlorure de sodium, et des feuillets de résidu industriel.

Cependant les plus courants sont : la stabilisation au ciment et la stabilisation à la chaux.

a. La stabilisation au ciment

Elle est plus utilisée en superstructure et consiste à injecter du ciment à un sol en place ou à un matériau d'apport à des proportions réduites dans le but d'améliorer la cohésion et la résistance de la couche. La prise du ciment entraîne une floculation des particules, surtout les plus petites ; ceci diminue l'argilosité du matériau et sa sensibilité à l'eau. (Secrétariat d'état aux affaires étrangères, 1984).

Il est donc essentiel de ne pas assimiler les sols ciment aux bétons maigres, car la fabrication du béton maigre exige l'emploi des granulats classiques du béton alors que la préparation d'un sol ciment se fait à partir d'un sol. Les dosages sont compris entre 2% et même 3% pour d'excellentes graves traitées en centrale

b. La stabilisation à la chaux

Il s'agit de l'adjonction de chaux vive aux matériaux d'infrastructure dans le but de diminuer la teneur en eau, d'atteindre une densité optimum lors du compactage et d'augmenter ainsi la résistance mécanique du sol traité

c. Traitement aux liants hydrocarbonés

Les graves, si elles ne sont pas trop argileuses, peuvent également être stabilisées avec des liants hydrocarbonés. Les qualités obtenues par ces mélanges appelés graves-bitume ou graves-émulsion suivant le type de liant utilisé, sont supérieures à celles que l'on pouvait obtenir avec des matériaux fins. Concernant la grave-bitume, les matériaux très performants doivent associer à une faible teneur en bitume et une forte compacité. Leur grande stabilité mécanique est assurée par le frottement interne élevé dû au squelette minéral et par la forte cohésion apportée par le bitume.

Les dosages à respecter varient en fonction du type d'application, de la nature et de la qualité des matériaux à traiter comme l'indique le tableau suivant.

Tableau 3: Dosages pour le traitement de sols par les liants hydrocarbonés (JIKOLUM, 2011)

Traitement de sols	Dosages
Remblais	2 à 5%
Parties supérieures de terrassement	2 à 5%
Couche de forme	4 à 7 %
Assises de chaussée	6 à 8 %
Traitement de concassés	3 à 4 %
Traitement de sables	4 à 7 %

3.2.2. Traitement mécanique

Elle porte sur l'amélioration de la composition granulométrique d'un sol en place ou d'un matériau d'apport par adjonction en petite quantité d'une fraction de matériaux pierreux, afin d'améliorer les possibilités de compactage ou encore sur l'apport d'un matériau nouveau

permettant d'améliorer significativement les caractéristiques de celui déjà sur place. Les principaux aspects sont : le géotextile et la litho stabilisation.

D'après la recommandation du (CEBTP, 1984) des améliorations par traitement mécanique seront envisagées :

- ajout de sable pour amaigrir une plate-forme argileuse ou de cailloux pour lui donner du squelette ;
- les géotextiles dits additifs de structure permettent la mise en place de couches de formes sur les sols fins plastiques à forte teneur en eau.

a. Les géotextiles

Les géotextiles sont des tissus généralement en matériaux synthétiques, destinés aux travaux de bâtiment, de génie civil et d'infrastructure hydraulique. Il s'agit d'une trame, tissée ou non, en matière synthétique, qui a la propriété de laisser passer l'eau. Elle est également appelée « anti contaminant ⁴».

Les géotextiles synthétiques ont pour rôle principal de créer une barrière physique perméable entre un terrain naturel et les matériaux sélectionnés pour la réalisation d'ouvrages ou de chaussées. Cette barrière laissera passer l'eau et empêchera les parties les plus fines issues du terrain naturel de migrer et venir modifier la structure des matériaux d'apport. On parle de géotextile de séparation ou de filtration. Ce type de géotextile sert aussi à protéger les drains et ouvrages de drainage, afin d'éviter leur colmatage et donc de participer à leur pérennité.

Il existe aussi des géotextiles de renforts utilisés en assise de plateforme routière et ferroviaire ainsi que pour armer les massifs de remblais renforcés.

Ils définissent les caractéristiques techniques suivantes :

- Résistance à la traction ;
- allongement à la rupture ;
- perméabilité ;
- porosité.

b. Litho stabilisation

La litho stabilisation, objet de notre étude est classée dans ce groupe. Elle est une technique qui vise l'amélioration de la granularité des graves argileuses latéritique par adjonction de concassés de granite. L'objet principal de cette technique est d'obtenir du mélange un matériau présentant de meilleures performances géotechniques (essentiellement la portance)

⁴ Protection des objets par des moyens techniques

IV. TECHNIQUE DE LA LITHO STABILISATION

4.1. Historique de la litho stabilisation

Cette technique, utilisée de nos jours dans bon nombre de pays en Afrique Subsaharienne et a fait pour la première fois l'objet d'une étude au Burkina Faso, plus précisément au Laboratoire National de Bâtiment et de Travaux Publics (LNBTP) à l'occasion du projet d'aménagement de la route Ouagadougou/Yako. (LOMPO, 1980)

Les essais avaient été réalisés sur un graveleux latéritique présentant les caractéristiques suivantes :

- % de fines (<0.08 mm) = 25
- Indice de plasticité IP = 20
- CBR à 95% de la densité sèche maximale et après 4 jours d'imbibition = 58

Ce matériau a été amélioré à 10, 15, 20,25 % de concassé 5/15 puis soumis pour chacun des cas à l'essai CBR. Ces résultats ont montré que l'indice portant CBR compris entre 80% et 95% OPM n'est atteint que pour 30 %de concassé. Cependant, cette étude n'a pas connue de suite immédiate. C'est lors de l'appel d'offre pour l'exécution des travaux d'aménagement de la route Ouagadougou/ Koudougou que l'entreprise « Bourdin et Chaussée », adjudicataire par la suite du marché, a proposé une variante dans la réalisation de la couche de base en graveleux latéritique amélioré au concassé de granite 12/40, en lieu et place les graveleux amélioré au ciment, proposé initialement dans le dossier d'appel d'offres. Deux facteurs ont été à la base du choix de cette granulométrie du concassé :

- Le souci d'améliorer les graveleux latéritiques
- Le souci de rester dans les limites du coût qu'aurait entraîné la solution d'amélioration au ciment

Les matériaux constitutifs pour la formulation du matériau litho stabilisé sont : **La latérite** (communément appelé en construction routière grave argileuse latéritique ou grave latéritique) et **les concassés de granite**

4.2. Définition et principe

La litho stabilisation est dérivée de deux mots : litho qui veut dire objet rigide et stabilisation qui est l'action d'assurer la stabilité. C'est une technique qui consiste à améliorer les performances des graveleux latéritiques utilisés en assise des chaussées par adjonction d'une quantité de concassé de granite déterminée.

Le principe consiste à améliorer un sol par itération en lui ajoutant une proportion de concassé allant de 10 à 30% ou d'autre matériau plus structuré puis soumis à des essais afin de jauger le CBR.

4.3. Les techniques de mise en œuvre de la litho stabilisation

La mise en œuvre se fait in situ et doit respecter les étapes suivantes :

- Approvisionnement et épandage du graveleux latéritique à l'état naturel étalé à la niveleuse.
- Humidification partielle du graveleux répandu par passage d'une citerne à eau munie d'une rampe de distribution ;
- Approvisionnement et épandage du concassé sur le graveleux précédemment répandu à l'état naturel ;
- Humidification et malaxage à la recycleuse des deux matériaux mises en place
- Homogénéisation du mélange et compactage au compacteur à pneu

Les images suivantes (figure 3 et 4) ont été prises lors de la mise en œuvre de la litho stabilisation in situ.



Figure 3: épandage du graveleux latéritique à l'état naturel



Figure 4:épandage du concassé

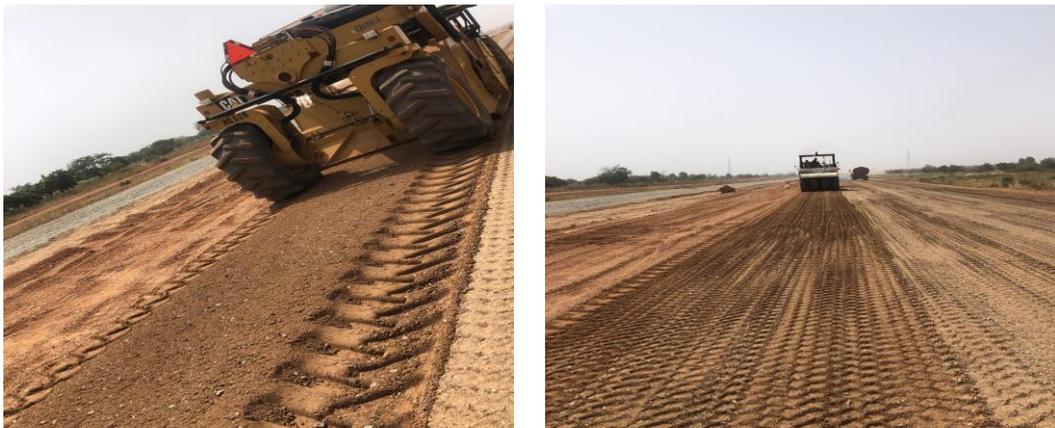


Figure 5:Homogénéisation du mélange et compactage

Pour que la mise en œuvre soit bien faite, dans le respect des règles de l'art, un contrôle qualitatif des matériaux ainsi qu'un contrôle de la mise en œuvre sont indispensables.

4.3.1. Contrôle qualitatif des matériaux

- ✚ sur le graveleux argileux latéritique, des essais d'identification et de Proctor-CBR sont réalisés sur les tas gerbés en emprunt lors de la sélection des matériaux. Ensuite quelques essais sont réalisés sur le matériau approvisionné pour se rassurer de leur conformité au CPT
- ✚ sur le concassé de granite, des essais d'analyse granulométrique, de Los Angeles et de Micro Deval sont réalisés. Les résultats doivent être conformes à ceux prescrits dans le CPT.

4.3.2. Contrôle de la mise en œuvre

Au cours de la mise en œuvre, lorsque le mélange (graveleux latéritique + concassé) est jugé homogène, des prélèvements sont effectués en plusieurs points ; des essais de granulométrie sont réalisés sur ces prélèvements afin de se rendre compte de l'homogénéité effective du mélange et de tester le dosage en concassé.

4.4. Etude du lithostab⁵

Une étude au laboratoire des graveleux latéritiques amélioré aux concassé doit nous permettre de :

- Savoir si le matériau proposé convient à une amélioration aux concassés ;
- Choisir la classe granulaire de concassés de granite à retenir compte tenue du gain en portance souhaité ;
- Déterminer le pourcentage de concassés nécessaire pour réaliser un mélange suffisamment stable compte tenu du trafic et des conditions climatologiques ;
- Connaître la teneur en eau à laquelle le compactage in situ doit se faire pour aboutir à une compacité satisfaisante du mélange ;
- Fixer l'épaisseur du mélange afin de réduire au minimum les risques de fissuration, compte tenu du trafic, de la déformabilité de l'assise puis de la résistance à la traction et du module élastique du mélange utilisé.

4.5. Avantages de la litho stabilisation

La technique de la litho stabilisation dans le cadre de ce projet a ses avantages qui sont entre autres : les avantages techniques, économiques et environnementaux. Ces avantages sont recensés dans le tableau ci-dessous

Tableau 4: Les avantages de la litho stabilisation

AVANTAGES DE LA LITHO STABILISATION	
Techniques	Augmentation de la portance en général
	Augmentation de la durée de vie des chaussées
	La facilité de la mise en œuvre.
Economique	Le faible coût de transports
	Coût réduit du projet
Environnementaux	L'exploitation limitée des gisements naturels.

⁵ Matériau amélioré avec du concassé

4.6. Conclusion

Les graves argileuses latéritiques sont des matériaux couramment utilisés en construction routière ; Cependant suite à l'augmentation grandissante du trafic, il est de plus en plus difficile de trouver des graves argileuses latéritiques de caractéristiques correspondantes au trafic. Cela a donc conduit à développer une méthode pour l'amélioration de cette GAL ; C'est la technique de litho stabilisation.

La formulation du « Lithostab » produit de cette technique (mélange GAL et concassé de granite) nécessite plusieurs essais au laboratoire que nous détaillerons dans nos prochaines lignes.

V. ETUDES EXPERIMENTALES

5.1. Objectifs de l'étude

Les objectifs majeurs de cette étude expérimentale se résument en ces points

- Mettre en exergue l'influence du taux et de la classe granulaire des concassés de granite sur la granulométrie, la densité sèche et la portance CBR du graveleux latéritique
- Déterminer le taux et la classe de concassé de granite requis pouvant permettre d'atteindre la portance CBR recommandée par le CCTP
- Faire l'expérimentation des essais en laboratoire et la formulation du « lithostab »

5.2. Méthodologie

5.2.1. Recherche des matériaux

Les graveleux latéritiques ayant servi pour notre étude proviennent des mélanges de tas gerbés de l'emprunt de Nambe, village situé pas loin de Koubri (Annexe 2) . Plusieurs emprunts sont constitués dans ce village par l'entreprise EBOMAF celui de notre étude est identifié comme étant « Emprunt Nambe 2 » et le concassé de granite à la carrière de Kombissiri (Annexe 3). On prélève une portion de matériau sur chaque tas ; ensuite toutes les portions sont mélangées pour obtenir un lot uniforme et représentatif d'un tas initial. La masse de matériau globale prélevé doit être calculée en tenant compte de la nature et du nombre des essais. Les images suivantes (figures 6 et 7) ont été prises lors du prélèvement sur les emprunts.



Figure 6: Prélèvement du GAL



Figure 7: Prélèvement du concassé de granite

5.2.2. Echantillonnage selon la NF EN 932-1 (1996) et NF P 18-553 (1990)

D'après le fascicule de travaux pratiques de matériaux de construction, l'échantillonnage a pour objectif d'obtenir un échantillon qui soit représentatif des propriétés moyennes d'un lot de granulats pour le génie civil, qu'ils proviennent de livraisons, d'installations de préparation et de traitement y compris des matériaux stockés. Il consiste à prélever au hasard dans toutes les parties du lot que l'échantillon global est censé représenter des granulats sur lesquels on peut effectuer la série d'essais.

Plusieurs méthodes sont possibles pour faire un échantillonnage soit en usine ou dans une carrière, soit au laboratoire. Les méthodes les plus usuelles sont les suivantes

a. Méthode par quartage

Méthode utilisée dans le cadre de notre étude ; cette méthode consiste à placer l'échantillon global sur le plan de travail et le brasser soigneusement en lui donnant la forme d'un tas conique et en le retournant à la pelle pour former un nouveau cône. Répéter cette opération trois fois. Quarter⁶ le tas aplati selon deux axes se coupant à angles droits (voir figure 5.3). Éliminer deux quarts opposés et reconstituer un tas avec le reste à l'aide d'une pelle. Le brasser soigneusement en lui donnant la forme d'un tas conique et en le retournant à la pelle

⁶ Créer une diminution de volume d'un minerai par fractions de quatre.

pour former un nouveau cône. Répéter cette opération trois fois. Refaire un nouveau quartage si la quantité est encore trop importante.

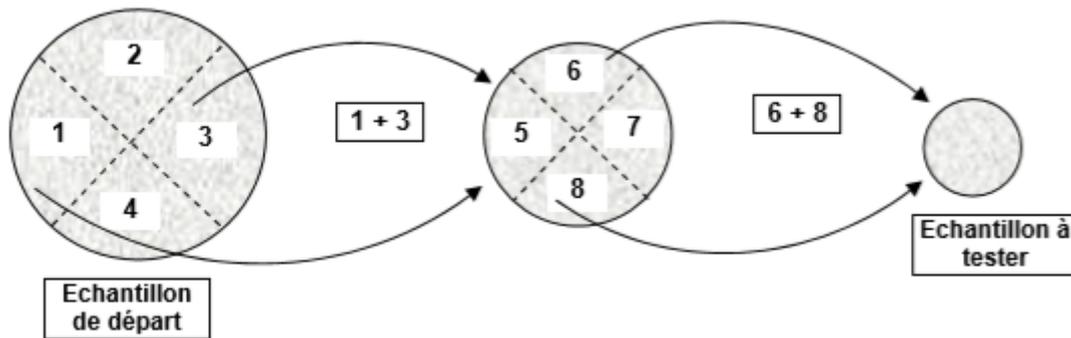


Figure 8: principe de quartage



Figure 9: quartage effectué au Laboratoire

b. Méthode par diviseur a couloir ou échantillonneur

L'échantillonneur est un appareil qui permet de diviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial, chaque moitié étant recueillie dans un bac ⁷de manière séparée. La répétition en cascade de cette opération, en retenant à chaque opération le contenu de l'un des bacs, permet d'obtenir l'échantillon nécessaire, après trois ou quatre opérations identiques.

⁷ Récipient habituellement de forme rectangulaire

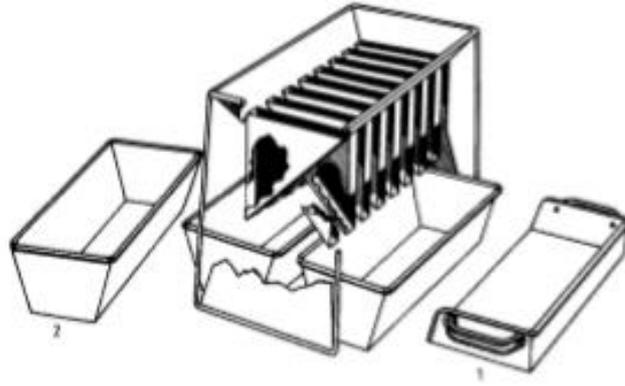


Figure 10: Diviseur à couloir

5.2.3. Essais retenus

Quelle que soit l'utilisation envisagée d'un sol, il est important de connaître sa nature, sa composition et la répartition des grains de différentes tailles qui le compose.

Les essais d'identification et de Portance consistent à déterminer les propriétés physiques et mécaniques d'un matériau. On procède généralement à des essais de granulométrie, de limites d'Atterberg, de Proctor modifié, de CBR, etc. Il faut noter que ces essais se font sur un échantillon représentatif du matériau comme énoncé plus haut.

a. Essais d'identification

i. Analyse granulométrique par tamisage Norme de référence : NF EN 933-1 (1997)

✚ But de l'essai :

L'essai a pour but de déterminer et d'observer les différentes dimensions des grains qui constituaient nos matériaux.

✚ Principe

L'essai consiste à faire passer un échantillon de sol à travers des tamis superposés dont les ouvertures vont en ordre décroissant du haut vers le bas. Les particules les plus grosses restent donc emprisonnées sur les tamis les plus hauts, tandis que les particules plus fines se dirigent vers les tamis inférieurs.

Mécaniquement ou manuellement, on soumet les tamis à des mouvements horizontaux et verticaux de façon à laisser l'échantillon de sol constamment en contact avec la surface des tamis et a ainsi augmenter l'efficacité du tamisage. Les particules retenues sur un tamis portent le nom de **refus ou retenu**, alors que la quantité de sol ayant traversé un tamis s'appelle **tamisat ou passant**.

Lorsque les masses retenues sur chaque tamis deviennent constantes, le tamisage est terminé et tous les refus sont pesés. La masse de chaque refus est ensuite comparée à la masse totale de l'échantillon, ce qui permet de calculer les pourcentages de refus cumulés et de passants cumulés.

Le tamisage par voie sèche est utilisé pour les granulats exempts de particules causant une agglomération. Le tamisage par lavage suivi du tamisage à sec est utilisé si les granulats comportent des particules causant une agglomération. Dans le cas de notre étude, la méthode préférée sera le lavage suivi du tamisage.

✚ Equipements nécessaires



Figure 11: Tamis utilisés pour l'analyse granulométrique

ii. Limites d'Atterberg

But de l'essai :

Le but de ces tests était de déterminer les limites de consistance qui sont exprimées en termes de teneur en eau marquant les limites entre état solide, plastique, et liquide.

Principe de la méthode :

La manipulation et les conditions de manipulation sont décrites dans la Norme NF P 94 051 (1993) L'essai s'est fait sur la fraction 0/0,4 mm d'un échantillon représentatif du matériau totalement remanié. Il faut noter ici que l'essai s'est fait en deux phases :

- ✚ Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans une coupelle⁸ de caractéristiques imposées se ferme lorsque la coupelle et son contenu sont soumis à des chocs répétés ;
- ✚ Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol (environ 3 mm de diamètre), de dimension fixée et confectionnée manuellement se fissure. A l'issue de ces deux phases, on détermine 3 paramètres à savoir :
 - Limite de liquidité WL correspondante à la teneur en eau du sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique ;
 - Limite de plasticité WP correspondante à la teneur en eau du sol remanié au point de transit ;
 - L'indice de plasticité IP correspondant à la différence de la limite de liquidité et la limite de plasticité ;

Matériels utilisés :

Comme matériels utilisés pour la réalisation des limites d'Atterberg nous avons disposé de : un tamis de 0,4 mm, une pipette d'eau, la coupelle de Casagrande et ses accessoires. La coupelle de Casagrande ici consiste à un appareillage composé d'un bol et d'un arbre à came permettant de transformer le mouvement de rotation en translation, on arrive donc à élever le bol d'une certaine hauteur et de le laisser retomber sur un plan rigide (voir figure 12).

⁸ Petit creuset utilisé dans les laboratoires



Figure 12: Matériels utilisés pour les limites d'Atterberg

b. Essais de la géotechnique routière

i. Essai Proctor NF P 94-093, 1999

Spécification :

L'essai Proctor modifié est un essai qui vise à déterminer la teneur en eau optimale conduisant à une force portante maximale, pour un sol et une énergie de compactage données, selon des conditions de compactages précises.

But de l'essai :

En réalisant cet essai il était question pour nous de tracer l'évolution de la masse volumique du matériau sec γ_d en fonction de la teneur en eau (ω) permettant de connaître la teneur en eau optimale du sol ω_{opt} pour un compactage le plus efficace possible (optimum Proctor)

Principe de la méthode :

La manipulation et les conditions de manipulation sont décrites dans la Norme NF P 94 093. L'échantillon de matériau destiné à la réalisation de cet essai a été compacté par couches successives dans un moule Proctor modifié cylindrique normalisé, en adoptant diverses valeurs de teneur en eau. Nous tenons à préciser ici que nous avons effectué un compactage manuel.

Matériels utilisés :

Pour la réalisation de cet essai Proctor nous avons eu à notre disposition le matériel suivant : un moule Proctor modifié et ses différents accessoires, une dame Proctor modifiée un tamis de 20 mm, une balance, une éprouvette graduée 1000 ml et des récipients.

ii. Essai CBR (California Bearing Ratio)

Il consiste à déterminer un indice permettant de calculer grâce à des abaques l'épaisseur des couches d'un corps de chaussée en fonction du sol sous-jacent, du trafic et des charges par essieu prévues dans des conditions hydriques futur que subira cette chaussée. Il est déterminé pour des sols à vocation routière de manière purement empirique.

L'indice portant californien, est un nombre sans dimension exprimant en pourcentage le rapport entre les pressions produisant donné dans le matériau d'une part et dans un matériau type d'autre part. Le matériau à étudier est placé dans un moule dans un état de densité et de teneur en eau. Il est ensuite poinçonné par un piston de 19,3 cm² de section enfoncée à la vitesse constante de 1,27 mm/min.

Le CBR exprime en pourcentage la plus grande des 2 valeurs suivantes

$$\frac{\text{effort de pénétration à 2,5 mm d'enfoncement}}{13.35} \times 100$$

$$\frac{\text{effort de pénétration à 5 mm d'enfoncement}}{19.93} \times 100$$

Le pouvoir portant d'un sol routier est autant meilleur que le CBR est grand. On distingue 2 types d'essai CBR en fonction des buts fixés :

- ✚ Essai CBR immédiat : mesure de 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.
- ✚ Essai CBR après immersion : mesure de la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à différentes teneurs en eau puis immergé durant 96h soit 4 jours. Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol compacté à différentes teneurs en eau à des variations de régime hydrique

Ce type d'essai est celui réalisé lors de notre étude

Matériels utilisés

Dans la mesure où cet essai fait suite à l'essai Proctor, nous avons utilisés le même matériel que celui utilisé pour l'essai Proctor. En plus de ça nous avons utilisé une presse CBR muni d'un anneau 50 kN pour le poinçonnement. (Voir figure 5.8).



Figure 14 : Presse CBR

c. Classification des matériaux rocheux

Le concassé de granite a été soumis à des essais afin de le caractériser avant son utilisation pour améliorer la grave argileuse latéritique. Les essais retenus sont les suivants :

i. *Coefficient d'aplatissement selon la norme NF EN 933-3 (1997)*

Comme son nom l'indique, l'essai a pour but de déterminer le coefficient d'aplatissement d'un échantillon de granulats dont les dimensions sont comprises entre 4 et 40 mm.

Le présent coefficient s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle, utilisées dans le domaine des travaux publics

- Equipements nécessaires



Le coefficient d'aplatissement s'obtient en faisant une double analyse granulométrique, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulat.

- Une série de tamis normalisée à mailles
- Grilles à fentes comprenant des barres cylindriques parallèles correspondants aux diverses classes granulaires
- Calcul et expression des résultats
 - inscrire les différentes masses sur une feuille d'essai. Calculer la somme des masses des granulats élémentaires d_i/D_i soit M_1
 - Calculer la somme des masses des grains de chaque granulat élémentaire d_i/D_i passant à travers une grille à fentes correspondante, d'écartement $D_i/2$, soit M_2 .
 - Le coefficient d'aplatissement global A est calculé à partir de l'équation suivante :
$$\frac{M_2}{M_1} \times 100$$
 (Arrondir à l'entier le plus proche)

ii. *Equivalent de sable NFP18-598 (2011)*

La propreté des sables peut s'apprécier au moyen de différents essais tels que l'essai au bleu de méthylène et d'équivalent de sable. Mais dans notre cas nous avons eu à utiliser l'essai d'équivalent de sable

Définition

L'équivalent de sable (ES) est le rapport multiplié par 100 de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse sédimentée.

But de l'essai

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propreté d'un sable. Il rend compte globalement de la quantité des éléments fins contenus dans ce sable

Principe de la méthode

L'essai consiste à faire flocculer⁹ les éléments fins d'un sable mis en suspension dans une solution lavante puis, après un temps de mise au repos donné, à mesurer la hauteur des éléments sédimentés. Il est effectué sur la fraction du sable passant au tamis à mailles carrées de 2 mm et dont la proportion des éléments passant au tamis à mailles carrées de 0.08 mm a été ramenée à 10% à l'aide d'un sable correcteur (si cette teneur en fines est supérieure à 11%).

Processus de l'essai

- On verse le sable concassé dans un cylindre jusqu'au trait repère inférieur, une solution lavante.

⁹ Suspendre dans un liquide

- Introduire dans l'éprouvette une masse sèche de $120 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ de matériau à l'aide de l'entonnoir
- Frapper fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la paume de la main pour déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer 10 min
- Boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc
- Fixer l'éprouvette sur la machine d'agitation
- Faire subir à l'éprouvette 90 cycles ± 1 cycle en $30 \text{ s} \pm 1 \text{ s}$
- Remettre l'éprouvette en position verticale sur la table d'essais
- Oter le bouchon de caoutchouc et le rincer au-dessus de l'éprouvette avec la solution lavante. En descendant le tube laveur dans l'éprouvette
- Rincer les parois de l'éprouvette avec la solution lavante
- Puis enfoncer le tube jusqu'au fond de l'éprouvette
- Puis laver le sable pour faire remonter les éléments argileux tout en maintenant l'éprouvette en position verticale

iii. *Poids spécifique*

But de l'essai

La détermination du poids spécifique des grains solides consiste à mesurer le volume propre des grains à l'exclusion des vides à calculer le rapport entre leur poids et leur volume.

Appareillage :

- Un pinceau :
- Une balance hydrostatique équipée d'un panier de pesée immergée : Sol fin portée 200 g à 0,01 g près, Sol moyen portée 1000 g à 0,1 g près, Sol graveleux portée 5000 kg à 1 g près.
- Un récipient de préférence de capacité adaptée à la portée de la balance, 2l pour les sols fins, 15l pour les sols moyens, 25l pour les sols graveleux.
- De la paraffine¹⁰, des pinceaux, du petit matériel courant de laboratoire.
- Une étuve réglable à 105°C (ou 60°C pour sols, gypseux ou organiques).

Mode opératoire :

On prélèvera par taille un échantillon de poids minimum suivant

- Sols fins 100 g

¹⁰ Substance solide blanche tirée du pétrole, utilisée dans la fabrication des bougies et pour imperméabiliser le papier

- Sols moyens 1000 g
- Sols graveleux 2500 g.

Lors de la taille on évitera dans la mesure du possible de laisser des angles saillants ; les coupes devront être nettes et franches, les parties susceptibles de se détacher en cours de manipulation seront éliminées.

Immédiatement après la taille l'échantillon sera pesé sur la balance appropriée et le poids noté P1.

L'échantillon est ensuite enduit de paraffine préalablement fondue au bain-marie ; l'échantillon est plongé dans la paraffine liquide en l'agitant pour décrocher les bulles d'air qui pourraient y adhérer. Cette opération doit être exécuté assez rapidement pour éviter la pénétration de la paraffine dans l'échantillon surtout si celui-ci est ouvert. Après solidification de la paraffine, on vérifie que des bulles d'air ne soient pas restées incluses. Dans ce cas, elles sont crevées et les trous ainsi créés dans la pellicule de paraffine, rebouchés à l'aide d'un pinceau. Ensuite, une deuxième couche de paraffine est déposée par un nouveau trempage.

L'échantillon paraffiné est pesé, soit P2 son poids.

Procéder ensuite à la pesée déjaugée, l'échantillon étant pesé dans le panier et totalement immergé.

Noter la température de l'eau du bain.

Après avoir déparaffiné l'échantillon procéder à la mesure de sa teneur en eau par séchage à l'étuve.

iv. Essai Los Angeles NF P18-573 (1990)

But de l'essai

L'essai Los Angeles permet de déterminer la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats

Domaine d'application

Cet essai s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés dans les travaux de Génie Civil.

Appareillage

- Un jeu de tamis de dimension convenable, leur diamètre ne devra pas être inférieur à 250 mm
- Matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau et une analyse granulométrique par tamisage

- Une machine Los Angeles comprenant
 - Des charges de boulets (constituées de boules sphériques pesant entre 420 et 445 g en acier Z 30C ($\varnothing = 47 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$))
 - Un moteur d'au moins 0,75 kW assurant au tambour de la machine une vitesse de rotation régulière comprise entre 30 et 33 tours/min
 - Un bac destiné à recueillir les matériaux après essai
 - Un compte tour de type relatif arrêtant automatiquement le moteur au nombre de tours voulus.

Mode opératoire

- La quantité envoyée au laboratoire sera au moins égale à 5000 g
- Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie en commençant par le tamis le plus grand
- Laver le matériau tamisé et le sécher à 105°C jusqu'à l'obtention de la masse constante.
- La charge utilisée sera fonction de la classe granulaire

Tableau 5 : Charge utile en fonction de la classe granulaire du gravier (LOS ANGELES):

Classe granulaire (mm)	Nombre de boulets
4 / 6,3	7
6,3 / 10	9
10 / 14	11
10 / 25	11
16 / 31,5	12
25 / 50	12

- Replacer le couvercle
- Faire effectuer à la machine 500 rotations sauf pour la classe 25 / 50 où l'on effectue 1000 rotations à une machine régulière comprise entre 30 et 33 tours / mn
- Recueillir le granulat dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture juste au-dessus de ce bac sur le tamis de 1,6 mm, le matériau étant pris plusieurs fois afin de faciliter l'opération
- Laver le refus au tamis de 1,6 mm. Egoutter et sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constant - Peser le refus une fois séché. Soit m' le résultat de la pesée

Calculs

Le coefficient Los Angeles est par définition, le rapport

$$100 \times \frac{M}{5000}$$

Où $m = 5000$ et m' est la masse sèche de la fraction du matériau passant après au tamis de 1,6 mm en gramme

$$LA = \frac{100(5000 - m')}{5000}$$

Le résultat sera arrondi à l'unité

v. *Essai Micro deval NF P 18-576 (1990)*

But de l'essai

L'essai MICRO DEVAL permet de mesurer la résistance à l'usure des roches. Cette résistance à l'usure pour certaines roches n'est pas la même à sec ou en présence d'eau.

Préparation de l'échantillon pour essai

La masse de l'échantillon envoyé au laboratoire doit être au moins égale à 2 kg pour les granulats appartenant à la classe granulaire comprise entre 10 mm et 14 mm.

L'essai doit être effectué sur des granulats ayant une granulométrie comprise entre 10 mm et 14 mm. La courbe granulométrique de l'échantillon correspondant à cette classe granulaire doit répondre à l'une des exigences suivantes :

- ✓ 60 % à 70 % des granulats passent au travers d'un tamis de 12,5 mm, ou
- ✓ 30 % à 40 % des granulats passent au travers d'un tamis de 11,2 mm.

Tamiser l'échantillon de laboratoire sur les tamis de 10 mm, 11,2 mm (ou 12,5 mm) et 14 mm, afin de constituer des fractions distinctes comprises entre 10 mm et 11,2 mm (ou 12,5 mm) et entre 11,2 mm (ou 12,5 mm) et 14 mm. Laver les fractions séparément conformément au 7.1 du prEN 933-1:1992, les sécher à l'étuve à (110 ± 5) °C jusqu'à masse constante.

Laisser les fractions refroidir à température ambiante. Mélanger les deux fractions afin d'obtenir un échantillon de laboratoire modifié d'une granulométrie comprise entre 10 mm et 14 mm

La prise d'essai doit consister en deux éprouvettes, d'une masse de (500 ± 2) g chacune.

Mode opératoire

- Introduire dans chaque cylindre d'essai une éprouvette. Ajouter un nombre suffisant de billes d'acier pour obtenir une charge de $(5\ 000 \pm 5)$ g.
- Ajouter $(2,5 \pm 0,05)$ l d'eau dans chaque cylindre.
- Fixer soigneusement un couvercle sur chacun des cylindres, puis les placer sur les deux arbres.

- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de $(100 \pm 5) \text{ min}^{-1}$ pendant $(12\ 000 \pm 10)$ tours.
- Après essai, recueillir le granulat et les billes d'acier dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes de granulat.
- Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre et le couvercle, en recueillant l'eau de lavage.
- Verser le matériau ainsi que l'eau de lavage sur un tamis de 1,6 mm, protégé par un tamis de 8 mm. Laver les matériaux sous un jet d'eau propre.
- Séparer soigneusement les granulats retenus sur le tamis à 8 mm des billes d'acier, en ayant soin de ne perdre aucune des particules de granulats. Pour ce faire, il est possible de recueillir les granulats à la main ou de retirer les billes à l'aide d'un aimant.
- Mettre le refus à 8 mm sur un plateau. Ajouter le refus à 1,6 mm sur le même plateau.
- Sécher le contenu du plateau à l'étuve réglée à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ et achever la détermination de la masse de refus à 1,6 mm conformément au prEN 933-1.
- Enregistrer la masse m du refus à 1,6 mm au gramme près.

5.3. Résultats des essais

Nous présentons en annexe sous forme de tableaux et de graphiques les résultats de tous les essais effectués aussi bien sur le matériau naturel que sur le matériau amélioré. Ainsi que les détails de calcul des différents paramètres recherchés.

5.4. Interprétation des résultats

5.4.1. Graveleux latéritiques naturels

a. Analyse granulométrique par tamisage

L'analyse granulométrique nous permet d'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. Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage sont reportés sur un diagramme semi logarithmique appelé courbe granulométrique. Suivant la forme granulométrique on dira que la granulométrie est étalée ou serrée, continue ou discontinue, bien graduée ou mal graduée.

D'après (LOMPO, 1980), la granulométrie du graveleux latéritique devant être amélioré doit être contenu dans le fuseau représenté dans le tableau 6.

Tableau 6: Granulométrie du GAL

Ouverture du tamis	Pourcentage en poids des passants		
	En mm	Minimum	GAL
50	100	100	100
40	95	100	100
31,5	92	100	100
20	85	98	100
10	66	82	95
5	40	48	75
2	20	26	55
1	14	23	45
0,5	10	20	38
0,08	6	16	26

Au regard de ce tableau, il ressort que la latérite naturelle a une répartition granulométrique qui est globalement comprise dans le fuseau granulométrique. Ce matériau peut donc être amélioré en vue d'être utilisé dans la couche de fondation de la chaussée. Il n'est pas nécessaire d'effectuer ici l'essai de sédimentométrie en vue de déterminer les coefficients Cc et Cu pour la classification du matériau.

b. Limites d'Atterberg

Rappelons que l'essai nous permet de déterminer les états de consistance d'un sol et plus précisément de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau. 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 est déterminé à partir de ces deux limites suscitées.

✚ Limite de plasticité.

En se basant sur les résultats présentés dans le tableau de l'annexe 4.1, la limite de plasticité théorique s'obtient par calcul de la moyenne des trois limites de plasticités obtenues au laboratoire. Ainsi nous avons :

$$\omega_p = \frac{18.8 + 20.2 + 20.0}{3}$$

$$\rightarrow \omega_p = 19.6 \approx 20\%$$

✚ Limite de liquidité

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. Vu que, lors des cinq tentatives, le sillon s'est refermé après un nombre de coups différents de 25. Une courbe de tendance peut fournir la teneur en eau si le sillon s'était refermé à exactement 25 coups (voir annexe 4.1).

Pour 25 coups, nous avons donc $\omega l \approx 38\%$

✚ L'Indice de Plasticité

Nous pouvons de ce fait calculer l'Indice de Plasticité $I_p = \omega l - \omega p$

$$I_p = 38 - 20$$

$$I_p = 18\% < 20\%$$

Donc notre échantillon peut être amélioré car l'indice de plasticité du graveleux latéritique pouvant être amélioré doit être inférieur à 20%.

Récapitulatif des résultats des propriétés physiques

Tableau 7: Récapitulatif des résultats des propriétés physiques du GAL

Analyse granulométrique (% de passants)		Limite d'Atterberg	
< 20mm	< 80µm	ωl	I_p
98	16	38	18

c. 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 valeurs de densités sèches obtenues et des teneurs en eau de mouillage du matériau (voir annexe 5.1) permettent de tracer la courbe Proctor modifié du matériau. Cette courbe nous a permis de déterminer les valeurs de la teneur en eau optimale ω_{opt} et de la densité sèche optimale ρ_{opt} (voir figure 15)

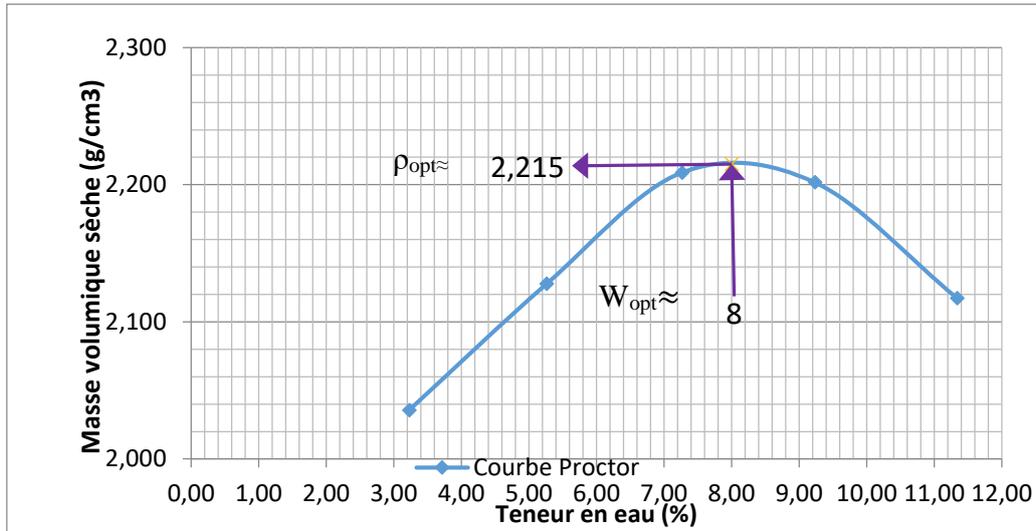


Figure 15: courbe Proctor matériau nature: 100% GAL

Les résultats présentés sur la figure 15 nous montrent que la densité sèche à l'OPM est supérieure à 2 g/cm^3 et la teneur en eau à l'OPM est inférieure à 18% qui sont les valeurs maximales acceptables dans le domaine routier.

d. Essai CBR

L'essai CBR étant la continuité de l'essai Proctor modifié est un essai qui vise à déterminer pour un compactage d'intensité donné la teneur en eau optimale correspondante ; Il permet d'évaluer la portance d'un sol en laboratoire en estimant sa résistance au poinçonnement.

L'échantillon mis à notre disposition est destiné à la réalisation d'une chaussée qui doit supporter un trafic de type T3. A cet effet il faut que l'indice de portance CBR à 95% de l'OPM soit supérieur ou égale à 50. Les résultats de l'essai réalisé sur le matériau (voir annexe 6.1) nous ont donc permis de tracer la courbe de portance CBR (voir figure 16) :

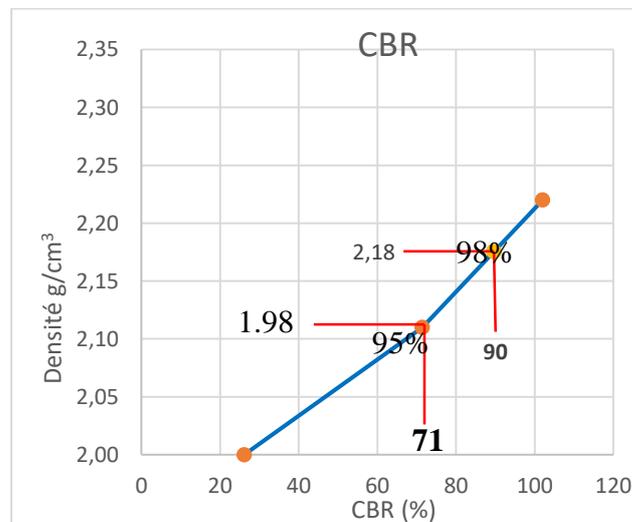


Figure 16: Courbe CBR matériau crue (100% GAL) marquée à 98 % de l'optimum Proctor

A partir de cette courbe (figure 16), nous avons pu déterminer les portances à 95% et 98% de l'OPM

- Indice CBR à 95% de l'OPM : 71
- Indice CBR à 98% de l'OPM : 90

Les valeurs des portances trouvées satisfont les exigences du CCTP. Car d'après le CCTP pour qu'un matériau cru soit amélioré pour être utilisé en couche de fondation il faut que son indice de portance CBR à 95% de l'OPM soit supérieur ou égale à 50. Cependant nous pourrions donc procéder à l'amélioration de ce matériau.

Récapitulatif des résultats des propriétés mécaniques

Tableau 8: Récapitulatif des résultats des propriétés mécaniques

Proctor modifié		Portance CBR	
Densité sèche optimale (ρ_{opt}) g/cm ³	Teneur en eau optimale (ω_{opt}) %	95%	98%
Demandée	≥ 2,05	≥ 50	-
Trouvée	2,22	71	90

5.4.2. Concassés de granite

Pour notre étude à caractère expérimental, nous avons opté pour deux (02) classes de concassé à savoir du 0/20 et du 0/31,5, dans le souci d'améliorer notre graveleux latéritique. Nous avons pour cela réalisé les essais suivant.

a. Analyse granulométrique

Nous avons réalisé une analyse granulométrique pour chaque classe de concassé, tout en prenant soin de faire un échantillonnage au préalable. Nous rappelons que les concassés sont issus de la carrière de Kombissiri de l'entreprise EBOMAF

Suivant les recommandations du CCTP sur les concassés de granite, (annexe 2.2), nous avons obtenue à l'issu de l'analyse granulométrique des deux classes granulaires, des résultats satisfaisants.

Pour des taux de fines exigés de 4 à 10%, les résultats obtenus après notre étude sont les suivant

- **Taux de fines concassés 0/20 : 6.4%**
- **Taux de fines concassés 0/31.5 : 6.7%**

b. Coefficient d'aplatissement selon la norme NF EN 933-3 (1997)

L'essai a été réalisé selon la norme NF EN 933-3 (1997) comme sus mentionné dans la partie précédente. L'essai a permis de déterminer un coefficient de 17.1% pour la classe 0/20 et de 19.3% pour la classe 0/31.5 d'après la formule suivante

$$A = \frac{\sum_i^i Mei}{\sum_i^i Mgi}$$

- $\sum_i^i Mei$: somme des masses de passants à travers le tamis à fente d'écartement
- $\sum_i^i Mgi$: somme de masse de passants de la classe granulaire d/D

Notre concassé choisi pour l'amélioration de la grave argileuse latéritique respecte les exigences du CCTP qui stipule qu'il faut un coefficient d'aplatissement inférieur ou égal à 20 pour que la concassé soit utilisé pour améliorer une GAL. (Les tableaux d'analyse sont consignés en annexe.3.1 et 3.2)

c. Micro Deval

L'essai micro deval a permis de déterminer la capacité des concassés de granite à résister à l'usure par frottement. L'essai a été réalisé selon la norme NFP18-576 (1990) avec une masse initiale de concassés $M_1=500g$. A l'issue de l'essai, nous avons obtenu une masse $M_2=149$. En utilisant la formule suivante :

$$Cmde = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

Avec

$Cmde$: Coefficient Micro Deval

M_1 : Masse initial de l'essai

M_2 : Masse finale obtenue après lavage

$$Cmde = \frac{500 - 149}{500} \times 100$$

$$Cmde = 7.0\%$$

d. Los Angeles

L'essai a été réalisé selon la norme NF P18-573 (1990). La classe granulaire choisie pour l'essai est la classe 10/14 (conformément à la norme) avec 60% de la classe 10/12.5 et 40% de la classe 12.5/14. La masse de l'échantillon soumise à l'essai était de 5000g au départ et à la fin de l'essai, la masse des refus au tamis 1.63mm était de 4147g.

Avec la formule ci-après, nous obtenons un coefficient Los Angeles de 17%

$$LA = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

$$LA = \frac{5000 - 4147}{5000} \times 100$$

$$LA = 17\%$$

Le concassé choisi pour notre étude, respecte les exigences du CCTP. Il a un coefficient de Micro Deval <20 et un coefficient Los Angeles <30. Il peut donc être utilisé pour l'amélioration de la GAL.

e. Poids spécifique

L'essai a permis de mesurer le volume propre des grains à l'exclusion des vides.

Après calcul, nous avons trouvé un poids spécifique de 2.70 g/m³ pour les deux classes de concassé 0/20 et 0/31.5

Synthèse des résultats des essais sur le concassé

Le tableau ci-dessous nous présente la synthèse des résultats des essais effectués sur le concassé

Tableau 9: synthèse des résultats des essais effectués sur le concassé

Classe de concassé	Analyse granulométrique (% de fines)	Coefficient d'aplatissement	Micro Deval	Los Angeles	Poids spécifique (g/m ³)
0/20	6,4	17,1	7,00%	17%	2,7
0/31,5	6,7	19,3			

Les exigences du CCTP

- coefficient de Los Angeles ≤ 30
- coefficient de Micro Deval ≤ 20
- coefficient d'aplatissement ≤ 20%
- % fines ≤ 18%

5.4.3. Graveleux latéritique amélioré à différentes classes granulaires de concassé et à différent pourcentage d'amélioration au concasse

a. Matériaux améliorés au concassé 0/20

La formulation s'est effectuée sur des échantillons représentatifs de la grave argileuse latéritique, additionnés avec des concassés de granite de la classe 0/20 à des taux de 20%, 25% et de 30% du poids de la GAL.



Figure 17: Mélange GAL avec les concassés de granite

Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique réalisée sur le mélange concassés 0/20 et GAL (Annexe 2.7.) a donné les pourcentages de fine suivant (Tableau 10).

Tableau 10 : L'analyse granulométrique sur le mélange concassé 0/20 et GAL

Analyse granulométrique (% de fines)	Classe 0/20			
	0%	20%	25%	30%
< 0.08 mm	16	15	14	13
< 2 mm	26	30	27	36
< 5 mm	48	50	50	58
< 20 mm	98	98	97	100

De l'exploitation des résultats présentés dans le tableau 10, nous pouvons dire que le traitement de la latérite avec du concassé de granite a une influence sur le pourcentage de fine. En effet, l'augmentation de matériaux rocheux dans la latérite, fait diminuer le pourcentage de fine dans le matériau GAL et fait augmenter le squelette du sol.

Limites d'Atterberg

L'essai a été réalisé suivant le principe de la norme NF P 94-051. Les résultats obtenus (Annexe 4.5 à 4.7) nous permettent de faire le récapitulatif suivant (figure 18)

Nous constatons après analyse que l'amélioration de la latérite par du concassé a un effet sur la plasticité de la latérite. L'augmentation des concassés de granite permet la réduction des

fines du matériau ; ceci fait réduire l'indice de plasticité de la Grave Argileuse Latéritique. La différence est représentée sur le graphique suivant. (Figure 18)

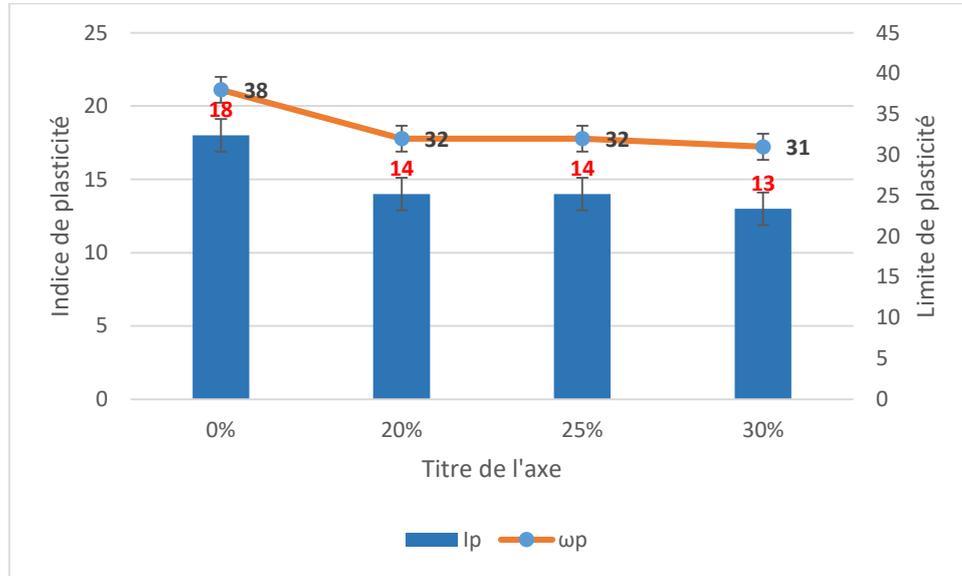


Figure 18: Variation de l'indice de plasticité et teneur en eau en fonction du pourcentage de concassé ajouté

✚ Proctor modifié

Les courbes Proctor des « lithostab » obtenus avec le concassé de granite 0/20 (annexe 5.5 à 5.7) nous ont permis de faire le récapitulatif suivant (figure 19) :

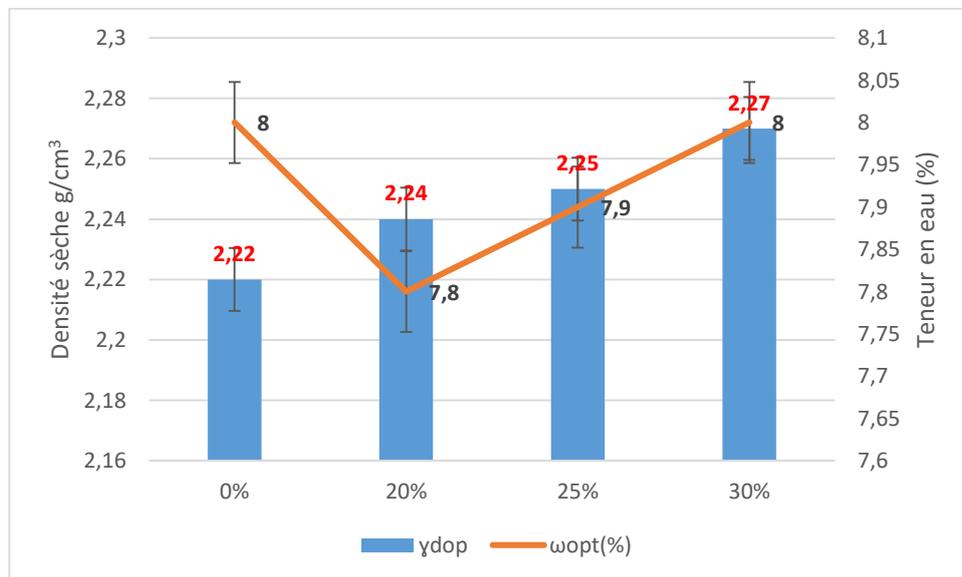


Figure 19: Variation de la densité sèche et teneur en eau en fonction du pourcentage de concassé ajouté

Comparativement aux valeurs de GAL crue, il y'a une augmentation des deux paramètres du Proctor modifié, notamment les valeurs de la densité sèche nettement visible sur le graphique (figure 19).

Ces valeurs optimales de teneur en eau et de densité sèche vont nous servir de références pour le conditionnement de nos « lithostab » afin de déterminer leur indice de portance CBR

Indice CBR

Après 4 jours d'imbibition, le poinçonnement des moules (Annexe 6.5 à 6.7) nous a permis d'avoir les portances CBR consignées sur la figure ci-après (figure 20)

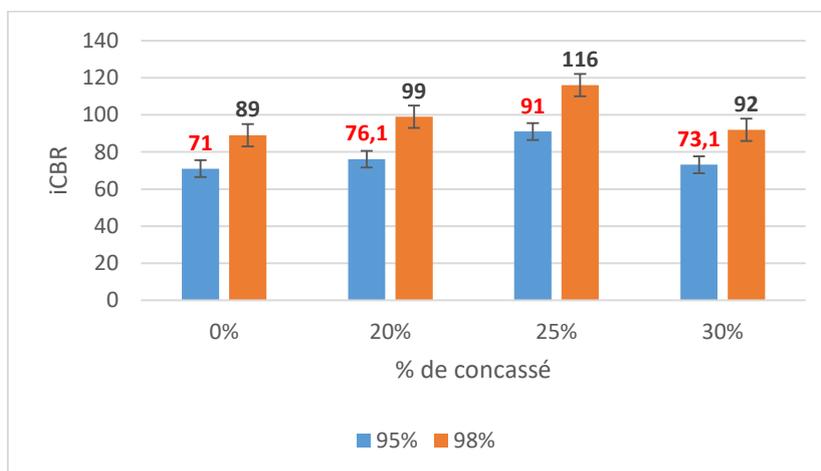


Figure 20: Variation de l'Indice CBR en fonction du pourcentage de concassé ajouté

En comparant l'indice CBR du matériau cru avec ceux du « lithostab », on remarque que l'adjonction de concassés dans du GAL fait augmenter la portance de celui-ci. Cependant au-delà de 25%, la portance diminue comme nous pouvons le constater sur le graphique (figure 20).

b. Résultat sur la litho stabilisation avec du concassé 0/31.5

En se conformant à la formulation précédente, les mêmes quantités de graves argileuses ont été prélevées pour les essais. Les taux d'amélioration restent les mêmes : 20%, 25%, 30% de la grave argileuse latéritique.

Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique réalisé sur le mélange concassés 0/31.5 et GAL (Annexe 2.2 à 2.4) a donné les pourcentages de fine consignés dans le tableau 14.

Tableau 11: L'analyse granulométrique sur le mélange concassé 0/31.5 et GAL

Analyse granulométrique (% de fines)	Classe 0/20			
	0%	20%	25%	30%
< 0,08mm	16	14	11	11
< 2mm	26	30	25	22
< 5mm	48	49	45	42
< 20mm	98	93	92	92

Limites d'Atterberg et indice de plasticité

Les résultats obtenus sont consignés sur la figure suivant (figure 21)

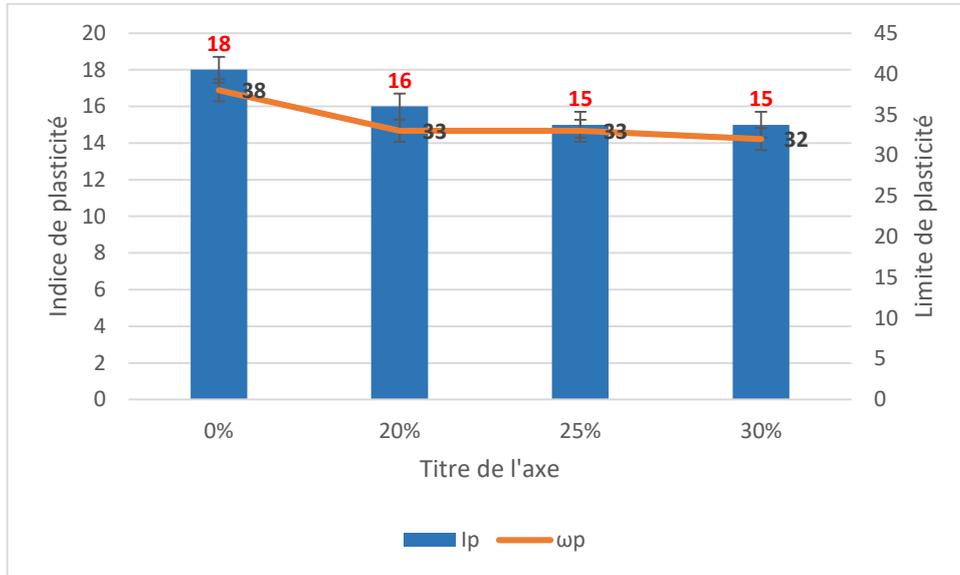


Figure 21: Variation de l'indice de plasticité en fonction du pourcentage de concassé 0/31.5 ajouté

Nous constatons après analyse de la figure 21 que l'amélioration de la latérite par du concassé a un effet sur la plasticité de la latérite. L'augmentation des concassés de granite fait réduire l'indice de plasticité et la teneur en eau de la Grave Argileuse latéritique. La différence est représentée sur le graphique (figure 21).

Proctor modifié

Les courbes Proctor des « lithostab » obtenus avec le concassé 0/31.5 figurent en annexes 5.2 à 5.4. Le récapitulatif des valeurs est représenté sur la figure 22 :

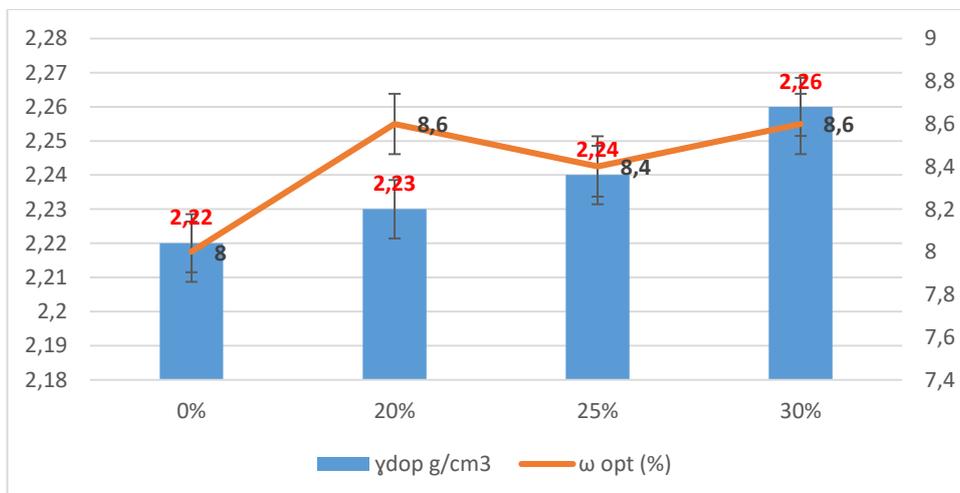


Figure 22: Variation de la densité sèche et teneur en eau en fonction du pourcentage de concassé 0/31.5 ajouté

On remarque une augmentation des deux paramètres du Proctor modifié, notamment les valeurs de la densité sèche et de teneur en eau nettement visible sur le graphique (figure 22).

Indice CBR

Après 4 jours d'imbibition, le poinçonnement des moules nous a permis d'avoir les portances CBR consignées sur la figure 23.

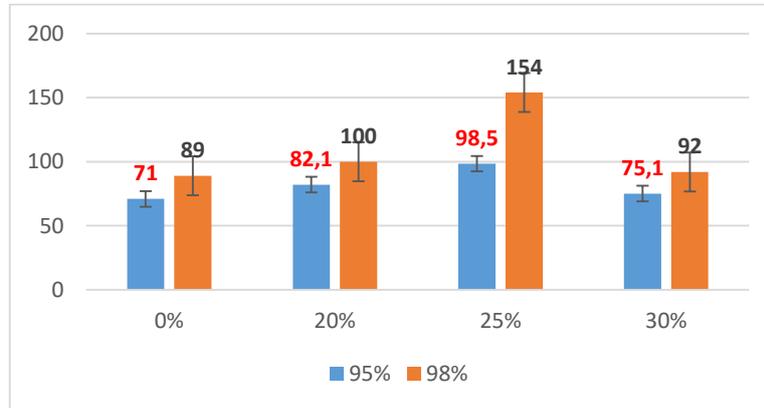


Figure 23: Variation de l'Indice CBR en fonction du pourcentage de concassé 0/31.5 ajouté

Nous remarquons que l'adjonction de concassés dans du GAL fait augmenter la portance de celui-ci. Cependant au-delà de 25%, la portance diminue comme nous pouvons le constater sur le graphique 23.

c. Récapitulatif des résultats et interprétation

Le tableau suivant donne une synthèse de tous les résultats obtenus lors de notre étude

Tableau 12: synthèse de tous les résultats obtenus

Essais / Pourcentage		Classe 0/20				Classe 0/31.5			
		0%	20%	25%	30%	0%	20%	25%	30%
Analyse granulométrique	<80µm	16	15	14	13	16	14	11	10
	<20mm	98	98	97	100	98	93	92	92
Limite d'atterberg	ωp (%)	38	32	32	31	38	33	33	32
	Ip (%)	18	14	14	13	18	16	15	15
Proctor	γdopt (g/cm³)	2,22	2,24	2,25	2,27	2,22	2,23	2,24	2,26
	ωopt (%)	8	7,8	7,9	8,3	8	8,6	8,4	8,6
CBR	95%	71	76,1	91	73,1	71	82,1	98,5	75,1
	98%	89	99	116	92	89	100	154	92

De l'exploitation des résultats présentés dans le tableau 18, nous pouvons dire que le traitement de la latérite avec du concassé de granite a une influence aussi bien sur les paramètres de compactage que sur la portance. En ce qui concerne les paramètres de compactage nous avons constaté une nette augmentation de la densité sèche à l'OPM du matériau litho-stabilisé par rapport à celle du matériau naturel. À ça nous pouvons ajouter la diminution de la teneur en eau à l'OPM du matériau litho-stabilisé par rapport au matériau naturel. Ceci pouvant se justifier par l'ajout du concassé de granite à la latérite ; dans la mesure où le granite est une roche acide et très dense avec une densité moyenne égale à 2,7. Cela a dû contribuer fortement à l'accroissement de la densité sèche du matériau litho stabilisé qui était initialement $2,22\text{g/cm}^3$.

Parlant maintenant de la portance, l'accroissement de la densité sèche à l'OPM du matériau litho-stabilisé entraîne un gain en portance, ce qui se fait nettement voir sur le graphique suivant (figure 24)

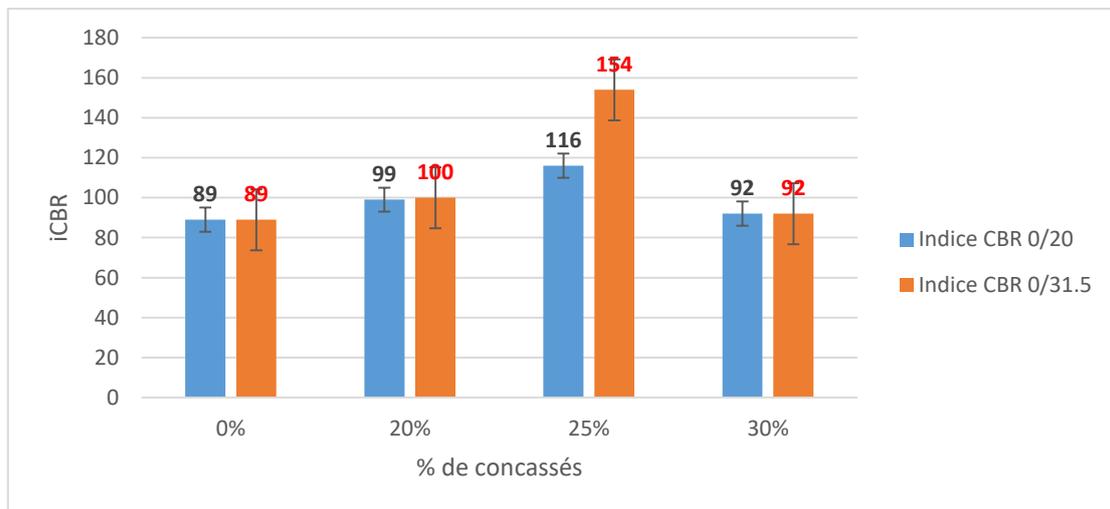


Figure 24: Indice CBR en fonction du pourcentage de concassé

Ces deux diagrammes montrent que la latérite restructurée atteint une portance maximale pour l'amélioration à 25% de concassé de granite.

Le graphique de l'évolution de la portance CBR en fonction du taux d'amélioration et le graphe de l'évolution de la densité sèche en fonction du taux d'amélioration laisse dire qu'il y a une relation étroite entre la portance d'un sol et sa densité sèche.

Par contre l'apport du concassé dans du GAL n'entraîne pas forcément une augmentation de portance du matériau litho-stabilisé ce qui est remarquable sur le matériau amélioré à 30%.

En ce qui concerne un matériau amélioré au concassé qui sera utilisé pour une couche de fondation amené à supporter un trafic de type T3, le CCTP exige un CBR à 98% de l'OPM d'au moins 110 et à 95% de l'OPM supérieur ou égal à 50. Nos différents résultats nous permettent

de constater que ces valeurs sont atteintes pour une amélioration à 25% quel que soit la classe granulaire de concassé utilisé.

En somme, les hypothèses émises au début de l'expérimentation semblent se confirmer, en ce sens que l'adjonction des concassés dans le matériau cru a une influence sur la densité sèche, la teneur en eau et les indices CBR du mélange. Les meilleurs résultats ont été observés en ce qui concerne la densité sèche avec l'amélioration au concassé 0/20 à un taux de 30% du poids de la latérite. Pour ce qui est de portance CBR, le meilleur résultat a été atteint pour une amélioration à 25% au concassé de classe granulaire 0/31.5 comme on peut le voir sur le graphique précédant (figure 24). Dans le cadre de notre étude le pourcentage d'amélioration de 25% au concassé de granite de classe granulaire 0/31.5 sera retenu, compte tenu du gain considérable de portance CBR observé.

5.5. Observations/ recommandations

La méthode de litho stabilisation est une technique qui nécessite plusieurs essais en laboratoire. Cependant, ces essais lorsqu'ils ne sont pas bien élaborés, peuvent présenter quelques inconvénients.

5.5.1. Insuffisances couramment rencontrées

- **Echantillonnage** : Une des principales insuffisances est le prélèvement de l'échantillon. Ce dernier doit être vraiment représentatif du stock général. Pour cela le quartage doit être réalisé de façon à en ressortir un échantillon homogène, afin de s'assurer que les résultats des essais pourront se rapporter à l'ensemble des tas gerbés.
- **Granulométrie** : La détermination de la granulométrie est un essai assez complexe car il exige une certaine délicatesse. Par grossièreté, l'on peut perdre des grains lors du lavage ou du tamisage.
- **Limites d'Atterberg** : Pour cet essai, une maîtrise parfaite du temps est souhaitée. Un temps trop long ou trop court entre deux points de prélèvement du matériau dans la coupelle peut jouer négativement sur les résultats.
- **CBR** : L'essai CBR se fait en fonction de la teneur en eau donnée par le Proctor. Cette teneur en eau représente d'une part la teneur en eau initiale du matériau. Étant donné que les deux essais ne sont pas souvent réalisés le même jour, la teneur en eau initial du matériau peut varier d'où la recommandation de déterminer la teneur en eau initiale avant chaque essai

5.5.2. Suggestions ou recommandations

La technique de la litho stabilisation est une technique qui requiert beaucoup de délicatesse dans la réalisation des essais ainsi que dans la mise en œuvre. Pour obtenir de bons résultats après formulation du « lithostab », il est recommandé de :

- Faire une bonne sélection du matériau à l'emprunt et réaliser un quartage assez strict pour obtenir un rendu bien homogène.
- Effectuer les essais géotechniques avec la plus grande des délicatesses possibles.
- Lors des essais Proctor et CBR, s'assurer de l'homogénéité du mélange.

CONCLUSION

Une grave argileuse latéritique pour être utilisée en couche de base ou de fondation doit avoir un Indice portant CBR respectant les recommandations et exigences du trafic de cette route. Mais la rareté de ce matériau répondant aux exigences, a conduit à la mise au point d'une technique d'amélioration des graves argileuses latéritiques naturelles qui est la méthode de la litho stabilisation. Les différents résultats des travaux présentés dans ce mémoire ont pour objectif général de présenter cette technique d'amélioration des performances géotechniques du graveleux latéritique naturel par adjonction d'un certain pourcentage de concassés de granulats de granites. Cette technique de traitement des matériaux pour les constructions routières mise sur pied par Mr Pierre LOMPO s'est avérée très efficace dans la mesure où elle donne des résultats géotechniques satisfaisants et est moins onéreuse que l'amélioration au ciment. Mais cette dernière reste encore très peu connue et est peu pratiquée de nos jours dans les projets routiers en Afrique.

Notre étude s'est basée sur cette méthode avec des concassés de granite de classe 0/20 et 0/31.5 sur la Grave Argileuse Latéritique de Nambe. L'étude a eu dès le départ comme ambitions d'aboutir à des résultats qui permettraient de confirmer ou d'infirmer le taux d'amélioration de 30% qui est généralement utilisé sur les chantiers de route, et de faire connaître la technique. Il a fallu étudier au préalable la latérite et le concassé de granite à l'état naturel pour s'assurer qu'ils satisfont les conditions du CPT avant de procéder à l'amélioration. L'Indice CBR à 98% de l'OPM avait donné une valeur satisfaisante de 90, ce qui a permis de procéder à l'amélioration. Les différents essais ont convergé en une seule conclusion : l'amélioration à 25% de concassé de granite de classe 0/31.5 est celle qui permet à la latérite d'avoir des meilleures caractéristiques.

En ce qui concerne notre étude, nous avons travaillé sur des pourcentages de concassés éloignés de 5%. Cependant, nous recommandons une étude plus approfondie sur les mêmes matériaux à des pourcentages rapprochés afin de déterminer le pourcentage exact qui donne les meilleures caractéristiques.

Au regard de tout ce qui a été fait, nous recommandons une étude in situ comme les résultats de déflexion pour mieux se prononcer. Il serait aussi bénéfique d'étendre cette étude à d'autres carrières du Burkina Faso et partout en Afrique, avec d'autres classes granulaires de concassé et à différents pourcentages d'amélioration au concassé, afin d'approfondir les travaux de Pierre LOMPO et parvenir un jour à mettre sur pieds des abaques ou formules qui permettront à base

des caractéristiques intrinsèques de la latérite et du concassé de granite, déterminer le taux correspondant pour chaque classe granulaire.

BIBLIOGRAPHIE

1. AFNOR. (1990). NF P 18-553 Echantillonnage. France.
2. AFNOR. (1990). NF P 18-573 Los Angeles. France.
3. AFNOR. (1990). NF P 18-576. France.
4. AFNOR. (1993). NF P 94 051 Limites d'Atterberg. France.
5. AFNOR. (1996). NF EN 932-1 Echantillonnage. France.
6. AFNOR. (1997). NF EN 933-1 Analyse granulométrique. France.
7. AFNOR. (1997). NF EN 933-3 Coefficient d'Aplatissement. France.
8. AFNOR. (1999). NF P 94-093 Essais Proctor. France.
9. AFNOR. (2011). NF P 18-598 Equivalent de sable. France.
10. BAGARRE, E. (1990). *Utilisation des graveleux latéritiques en technique routière*. ISTED.
11. CEBTP. (1984). *Guide pratique de dimensionnement des routes pour les pays tropicaux*. CEBTP.
12. JIKOLUM, E. (2011). *Utilisation de la technique de la litho stabilisation en assise de chaussée. Cas des travaux de renforcement du tronçon Ouagadougou-Pô-frontière du Ghana*. Mémoire de fin d'études, Institut 2iE, Ouagadougou.
13. KHEMAKHEM, M. (s.d.). Fascicule de travaux pratiques de matériaux de construction : Les granulats. 28.
14. KIKONE, W. D. (2016). *Etude technico-économique des différentes techniques d'amélioration des couches de chaussées*. Mémoire de fin d'études, Institut 2iE, Ouagadougou.
15. LCPC. (s.d.). *Guide technique de construction et de dimensionnement des structures de chaussées*. SETRA.
16. *Les essais de laboratoire de génie civil*. (2019). Récupéré sur essai-laboratoire.blogspot.com
17. LOMPO, P. (1980, janvier 20-25). Les matériaux utilisés en construction routière en Haute Volta. Un matériau non traditionnel "le lithostab". *IV^e conférence routière africaine*, 7-42.
18. Secrétariat d'état aux affaires étrangères. (1984). *Emploi des sols fins dans les travaux routiers*. Secrétariat d'état aux affaires étrangères.
19. SETRA; LCPC. (2000). *Réalisation des Remblais et des Couches de Forme*.

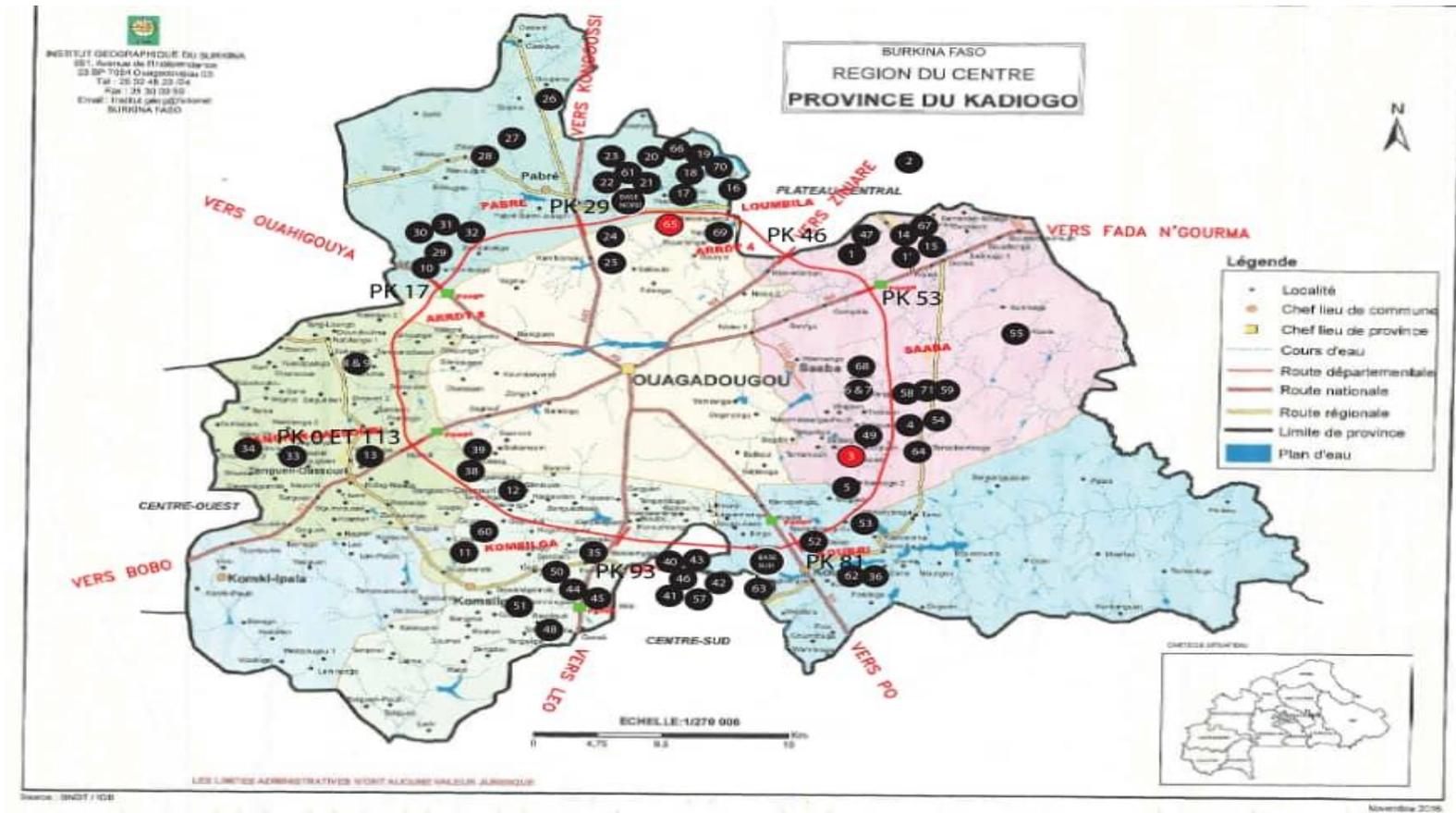
ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Plan de situation du projet.	xi
Annexe 2: Emprunt NAMBE	xii
Annexe 3: Emprunt de Kombissiri	xii
Annexe 4: Exigence des caractéristiques de la grave argileuse latéritique par le CCTP	xiii
Annexe 5 : Exigences des caractéristiques des concassés de granite par le CCTP	xiii
Annexe 6: Fiche d'Analyse granulométrique GAL crue	xiv
Annexe 7: Fiche d'Analyse granulométrique du concassé 0/31.5	xv
Annexe 8: Fiche d'Analyse granulométrique du concassé 0/20	xvi
Annexe 9: Fiche d'analyse granulométrique du "lithostab" avec 20% du poids de granite 0/31.5	xvii
Annexe 10: Fiche d'analyse granulométrique du "lithostab" avec 25% du poids de granite 0/31.5	xviii
Annexe 11: Fiche d'analyse granulométrique du "lithostab" avec 30% du poids de granite 0/31.5	xix
Annexe 12: Fiche d'analyse granulométrique du « lithostab » avec 20% du poids de granite 0/20	xx
Annexe 13: Fiche d'analyse granulométrique du « lithostab » avec 25% du poids de granite 0/20	xxi
Annexe 14: Fiche d'analyse granulométrique du "lithostab" avec 30% du poids de granite 0/20	xxii
Annexe 15: Courbes granulométrique GAL+ concassé 0/20	xxiii
Annexe 16: Courbes granulométrique GAL+ concassé 0/31.5	xxiii
Annexe 17: Fiche coefficient d'aplatissement du concassé 0/20	xxiv
Annexe 18: Fiche coefficient d'aplatissement du concassé 0/31.5	xxv
Annexe 19: Fiche de limites d'Atterberg GAL crue	xxvi
Annexe 20: Fiche de limites d'Atterberg GAL+20% du poids de concassés 0/31.5	xxvii
Annexe 21: Fiche de limites d'Atterberg GAL+25% du poids de concassés 0/31.5	xxviii
Annexe 22: Fiche de limites d'Atterberg GAL+30% du poids de concassés 0/31.5	xxix
Annexe 23: Fiche de limites d'Atterberg GAL+20% du poids de concassés 0/20	xxx
Annexe 24: Fiche de limites d'Atterberg GAL+25% du poids de concassés 0/20	xxxi
Annexe 25: Fiche de limites d'Atterberg GAL+30% du poids de concassés 0/20	xxxii
Annexe 26: Fiche de Proctor GAL crue	xxxiii
Annexe 27: Fiche Proctor GAL avec 20% du poids de concassés 0/31.5	xxxiv
Annexe 28: Fiche Proctor GAL avec 25% du poids de concassés 0/31.5	xxxv
Annexe 29: Fiche Proctor GAL avec 30% du poids de concassés 0/31.5	xxxvi
Annexe 30: Fiche Proctor GAL avec 20% du poids de concassés 0/20	xxxvii
Annexe 31: Fiche Proctor GAL avec 25% du poids de concassés 0/20	xxxviii
Annexe 32: Fiche Proctor GAL avec 30% du poids de concassés 0/20	xxxix
Annexe 33: Proctor Modifié GAL amélioré avec du concassé 0/20	xl
Annexe 34: Proctor Modifié GAL amélioré avec du concassé 0/31.5	xl

<i>Annexe 35:Fiche CBR, GAL crue</i>	<i>xli</i>
<i>Annexe 36: Fiche CBR du GAL avec 20% du poids de concassé 0/31.5</i>	<i>xlii</i>
<i>Annexe 37: Fiche CBR du GAL avec 25% du poids de concassé 0/31.5</i>	<i>xliii</i>
<i>Annexe 38: Fiche CBR du GAL avec 30% du poids de concassé 0/31.5</i>	<i>xliv</i>
<i>Annexe 39:Fiche CBR du GAL avec 20% du poids de concassé 0/20</i>	<i>xlv</i>
<i>Annexe 40:Fiche CBR du GAL avec 25% du poids de concassé 0/20</i>	<i>xlvi</i>
<i>Annexe 41:Fiche CBR du GAL avec 30% du poids de concassé 0/20</i>	<i>xlvii</i>
<i>Annexe 42:Courbe CBR, GAL +20% du poids de concassé de granite 0/31.5 marqué à 98% de l'OPM</i>	<i>xlviii</i>
<i>Annexe 43:Courbe CBR, GAL +25% du poids de concassé de granite 0/31.5 marqué à 98% de l'OPM</i>	<i>xlviii</i>
<i>Annexe 44:Courbe CBR, GAL +30% du poids de concassé de granite 0/31.5 marqué à 98% de l'OPM</i>	<i>xliv</i>
<i>Annexe 45:Courbe CBR, GAL +20% du poids de concassé de granite 0/20 marqué à 98% de l'OPM</i>	<i>xliv</i>
<i>Annexe 46:Courbe CBR, GAL +25% du poids de concassé de granite 0/20 marqué à 98% de l'OPM</i>	<i>l</i>
<i>Annexe 47:Courbe CBR, GAL +30% du poids de concassé de granite 0/20 marqué à 98% de l'OPM</i>	<i>l</i>

1. ANNEXE 1 : PRESENTATION DU PROJET



Annexe 1: Plan de situation du projet.

Annexe 4: Exigence des caractéristiques de la grave argileuse latéritique par le CCTP

Paramètres	Exigences
Passants au tamis 40mm	100%
Pourcentage de fines (éléments<0,08)	5%<f<35%
Indice de plasticité	≤20
Limite de liquidité	<35
Densité sèche à 100% de l'OPM	≥2,05
Indice portant CBR à 95% de l'OPM et après 96h d'imbibition	≥50

Annexe 5 : Exigences des caractéristiques des concassés de granite par le CCTP

Paramètres	Exigences
Coefficient de Los Angeles	≤30
Coefficient de Micro Deval	≤20
Coefficient d'aplatissement	≤20%
Pourcentage de fines	≤18%

2. ANNEXE 2 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Annexe 6: Fiche d'Analyse granulométrique GAL crue

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION				
ANALYSE GRANULOMETRIQUE						
Date de prélèvement			Nature	GAL crue		
Date de l'essai		10/11/2020	Localisation			
Poids initial		4426	Opérateur			
MODULE AFNOR	TAMIS (mm)	REFUS CUMULES	% REFUS	% PASSANTS	OSERVATION	
50	80					
49	63					
48	50					
47	40					
46	31,5	0	0,00	100,00		100
45	25	22,9	0,52	99,48		99
44	20	101,6	2,30	97,70		98
43	16	192,7	4,35	95,65		96
42	12,5	436,8	9,87	90,13		90
41	10	809,6	18,29	81,71		82
40	8	1252,6	28,30	71,70		72
39	6,3	1765,6	39,89	60,11		60
38	5	2306,8	52,12	47,88		48
37	4	2731	61,70	38,30		38
36	3,15	3037,4	68,63	31,37		31
35	2,5	3201,5	72,33	27,67		28
34	2	3283,9	74,20	25,80		26
33	1,6	3361,1	75,94	24,06		24
32	1,25	3397,9	76,77	23,23		23
31	1	3428,3	77,46	22,54		23
30	0,8	3458,5	78,14	21,86		22
29	0,63	3490,8	78,87	21,13		21
28	0,5	3522,4	79,58	20,42		20
27	0,4	3550,2	80,21	19,79		20
26	0,315	3581,9	80,93	19,07		19
25	0,25	3611,4	81,60	18,40		18
24	0,2	3637,5	82,18	17,82		18
23	0,16	3660,4	82,70	17,30		17
22	0,125	3689,9	83,37	16,63		17
21	0,1	3708,8	83,80	16,20		16
20	0,08	3725,3	84,17	15,83		16

Annexe 7: Fiche d'Analyse granulométrique du concassé 0/31,5

Date de prélèvement		Nature		Concassés de granite 0/31,5	
Date de l'essai		Localisation			
Poids initial		Opérateur			
MODULE AFNOR	TAMIS (mm)	REFUS CUMULES	% REFUS	% PASSANTS	OSERVATION
50	80				
49	63				
48	50				
47	40				
46	31,5	0	0,00	100,00	100
45	25	304,3	6,54	93,46	93
44	20	845,3	18,17	81,83	82
43	16	1368,9	29,42	70,58	71
42	12,5	1729,7	37,17	62,83	63
41	10	2013	43,26	56,74	57
40	8	2275,5	48,90	51,10	51
39	6,3	2529,6	54,36	45,64	46
38	5	2756	59,23	40,77	41
37	4	2926,8	62,90	37,10	37
36	3,15	3088,8	66,38	33,62	34
35	2,5	3224,7	69,30	30,70	31
34	2	3325,8	71,48	28,52	29
33	1,6	3452,2	74,19	25,81	26
32	1,25	3549,8	76,29	23,71	24
31	1	3618,4	77,76	22,24	22
30	0,8	3681,5	79,12	20,88	21
29	0,63	3743,7	80,46	19,54	20
28	0,5	3810,3	81,89	18,11	18
27	0,4	3878,8	83,36	16,64	17
26	0,315	3950,7	84,91	15,09	15
25	0,25	4036,4	86,75	13,25	13
24	0,2	4108,6	88,30	11,70	12
23	0,16	4159,2	89,39	10,61	11
22	0,125	4244,5	91,22	8,78	9
21	0,1	4287	92,13	7,87	8
20	0,08	4341,9	93,31	6,69	7

Annexe 8: Fiche d'Analyse granulométrique du concassé 0/20

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION			
ANALYSE GRANULOMETRIQUE					
Date de prélèvement		Nature	Concassés de granite 0/20		
Date de l'essai	10/11/2020	Localisation			
Poids initial (g)	4955	Opérateur			
MODULE AFNOR	TAMIS (mm)	REFUS CUMULES	% REFUS	% PASSANTS	OSERVATION
50	80				
49	63				
48	50				
47	40				
46	31,5	0,00	0,00	100,00	100
45	25	0,00	0,00	100,00	100
44	20	48,60	0,98	99,02	99
43	16	447,30	9,03	90,97	91
42	12,5	1294,90	26,13	73,87	74
41	10	1799,60	36,32	63,68	64
40	8	2241,20	45,23	54,77	55
39	6,3	2632,00	53,12	46,88	47
38	5	2932,30	59,18	40,82	41
37	4	3160,30	63,78	36,22	36
36	3,15	3362,80	67,87	32,13	32
35	2,5	3519,10	71,02	28,98	29
34	2	3635,10	73,36	26,64	27
33	1,6	3747,50	75,63	24,37	24
32	1,25	3848,00	77,66	22,34	22
31	1	3914,80	79,01	20,99	21
30	0,8	3993,30	80,59	19,41	19
29	0,63	4047,50	81,69	18,31	18
28	0,5	4111,90	82,98	17,02	17
27	0,4	4173,30	84,22	15,78	16
26	0,315	4246,10	85,69	14,31	14
25	0,25	4322,40	87,23	12,77	13
24	0,2	4391,30	88,62	11,38	11
23	0,16	4450,60	89,82	10,18	10
22	0,125	4539,80	91,62	8,38	8
21	0,1	4582,30	92,48	7,52	8
20	0,08	4636,30	93,57	6,43	6

Annexe 9: Fiche d'analyse granulométrique du "lithostab" avec 20% du poids de granite 0/31,5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION				
ANALYSE GRANULOMETRIQUE						
Date de prélèvement			Nature	GAL+20% concassées 0/31,5		
Date de l'essai		10/11/2020	Localisation			
Poids initial (g)		5105	Opérateur			
MODULE AFNOR	TAMIS (mm)	REFUS CUMULES	% REFUS	% PASSANTS	OSERVATION	
50	80					
49	63					
48	50					
47	40					
46	31,5	0	0,00	100,00		100
45	25	73	1,43	98,57		99
44	20	333	6,52	93,48		93
43	16	513	10,05	89,95		90
42	12,5	833,8	16,33	83,67		84
41	10	1221	23,92	76,08		76
40	8	1686,3	33,03	66,97		67
39	6,3	2109,4	41,32	58,68		59
38	5	2585	50,64	49,36		49
37	4	2967	58,12	41,88		42
36	3,15	3282,8	64,31	35,69		36
35	2,5	3467	67,91	32,09		32
34	2	3594,5	70,41	29,59		30
33	1,6	3677,6	72,04	27,96		28
32	1,25	3746,5	73,39	26,61		27
31	1	3802,6	74,49	25,51		26
30	0,8	3859,2	75,60	24,40		24
29	0,63	3921,5	76,82	23,18		23
28	0,5	3983,6	78,03	21,97		22
27	0,4	4041,9	79,18	20,82		21
26	0,315	4107,8	80,47	19,53		20
25	0,25	4171	81,70	18,30		18
24	0,2	4226	82,78	17,22		17
23	0,16	4270,8	83,66	16,34		16
22	0,125	4332,1	84,86	15,14		15
21	0,1	4362,7	85,46	14,54		15
20	0,08	4395,6	86,10	13,90		14

Annexe 10: Fiche d'analyse granulométrique du "lithostab" avec 25% du poids de granite 0/31,5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION				
ANALYSE GRANULOMETRIQUE						
Date de prélèvement			Nature	GAL+25% concassées 0/31,5		
Date de l'essai		10/11/2020	Localisation			
Poids initial (g)		5140	Opérateur			
MODULE AFNOR	TAMIS (mm)	REFUS CUMULES	% REFUS	% PASSANTS	OSERVATION	
50	80					
49	63					
48	50					
47	40					
46	31,5	0	0,00	100,00	100	
45	25	81,3	1,58	98,42	98	
44	20	413,1	8,04	91,96	92	
43	16	624	12,14	87,86	88	
42	12,5	956	18,60	81,40	81	
41	10	1366	26,58	73,42	73	
40	8	1851	36,01	63,99	64	
39	6,3	2330	45,33	54,67	55	
38	5	2838	55,21	44,79	45	
37	4	3234	62,92	37,08	37	
36	3,15	3552	69,11	30,89	31	
35	2,5	3741	72,78	27,22	27	
34	2	3875	75,39	24,61	25	
33	1,6	3953	76,91	23,09	23	
32	1,25	4019	78,19	21,81	22	
31	1	4069,5	79,17	20,83	21	
30	0,8	4121,3	80,18	19,82	20	
29	0,63	4174,8	81,22	18,78	19	
28	0,5	4227,6	82,25	17,75	18	
27	0,4	4279,7	83,26	16,74	17	
26	0,315	4335,5	84,35	15,65	16	
25	0,25	4389,4	85,40	14,60	15	
24	0,2	4436,9	86,32	13,68	14	
23	0,16	4476,3	87,09	12,91	13	
22	0,125	4529	88,11	11,89	12	
21	0,1	4558	88,68	11,32	11	
20	0,08	4589	89,28	10,72	11	

Annexe 11: Fiche d'analyse granulométrique du "lithostab" avec 30% du poids de granite 0/31,5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION				
ANALYSE GRANULOMETRIQUE						
Date de prélèvement			Nature	GAL+30% concassées 0/31,5		
Date de l'essai		10/11/2020	Localisation			
Poids initial (g)		5987	Opérateur			
MODULE AFNOR	TAMIS (mm)	REFUS CUMULES	% REFUS	% PASSANTS	OSERVATION	
50	80					
49	63					
48	50					
47	40	0				
46	31,5	51,9	0,87	99,13		99
45	25	132	2,20	97,80		98
44	20	494,9	8,27	91,73		92
43	16	731,2	12,21	87,79		88
42	12,5	1145,6	19,13	80,87		81
41	10	1638,4	27,37	72,63		73
40	8	2229,5	37,24	62,76		63
39	6,3	2844,5	47,51	52,49		52
38	5	3466,6	57,90	42,10		42
37	4	3935,9	65,74	34,26		34
36	3,15	4300,9	71,84	28,16		28
35	2,5	4502,7	75,21	24,79		25
34	2	4648,8	77,65	22,35		22
33	1,6	4733,9	79,07	20,93		21
32	1,25	4800,8	80,19	19,81		20
31	1	4852,7	81,05	18,95		19
30	0,8	4905	81,93	18,07		18
29	0,63	4958,8	82,83	17,17		17
28	0,5	5011	83,70	16,30		16
27	0,4	5060,4	84,52	15,48		15
26	0,315	5117,4	85,48	14,52		15
25	0,25	5171,4	86,38	13,62		14
24	0,2	5219,8	87,19	12,81		13
23	0,16	5258,6	87,83	12,17		12
22	0,125	5313,5	88,75	11,25		11
21	0,1	5342,1	89,23	10,77		11
20	0,08	5372,1	89,73	10,27		10

Annexe 12: Fiche d'analyse granulométrique du « lithostab » avec 20% du poids de granite 0/20

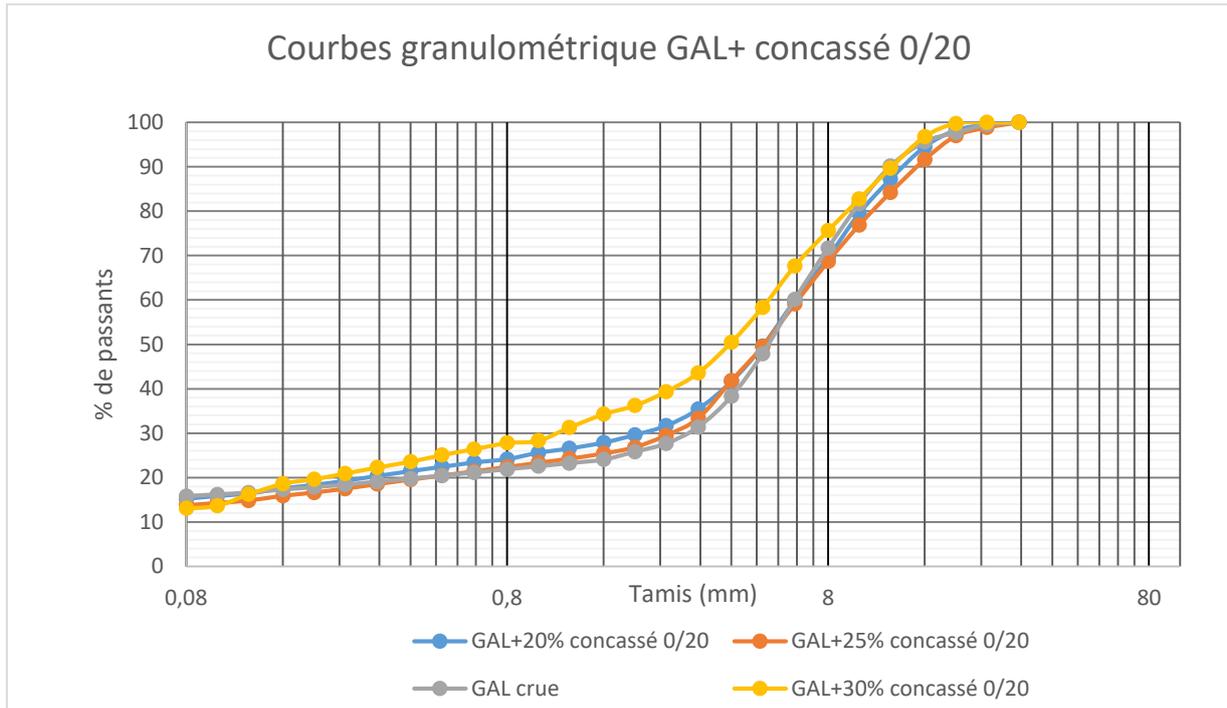
		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION			
ANALYSE GRANULOMETRIQUE					
Date de prélèvement			Nature		GAL+20% concassées 0/20
Date de l'essai		10/11/2020	Localisation		
Poids initial (g)		4404	Opérateur		
MODULE AFNOR	TAMIS (mm)	REFUS CUMULES	% REFUS	% PASSANTS	OSERVATION
50	80				
49	63				
48	50				
47	40				
46	31,5	0	0,00	100,00	100
45	25	22,2	0,50	99,50	99
44	20	78,5	1,78	98,22	98
43	16	241,9	5,49	94,51	95
42	12,5	564,4	12,82	87,18	87
41	10	903,1	20,51	79,49	79
40	8	1338,2	30,39	69,61	70
39	6,3	1766,4	40,11	59,89	60
38	5	2219,7	50,40	49,60	50
37	4	2569	58,33	41,67	42
36	3,15	2844	64,58	35,42	35
35	2,5	3008,7	68,32	31,68	32
34	2	3099	70,37	29,63	30
33	1,6	3175,6	72,11	27,89	28
32	1,25	3233,8	73,43	26,57	27
31	1	3276,7	74,40	25,60	26
30	0,8	3338,9	75,82	24,18	24
29	0,63	3373,2	76,59	23,41	23
28	0,5	3416,3	77,57	22,43	22
27	0,4	3458,9	78,54	21,46	21
26	0,315	3506,6	79,62	20,38	20
25	0,25	3554,6	80,71	19,29	19
24	0,2	3595,8	81,65	18,35	18
23	0,16	3629,7	82,42	17,58	18
22	0,125	3679,9	83,56	16,44	16
21	0,1	3704,5	84,12	15,88	16
20	0,08	3733,7	84,78	15,22	15

Annexe 13: Fiche d'analyse granulométrique du « lithostab » avec 25% du poids de granite 0/20

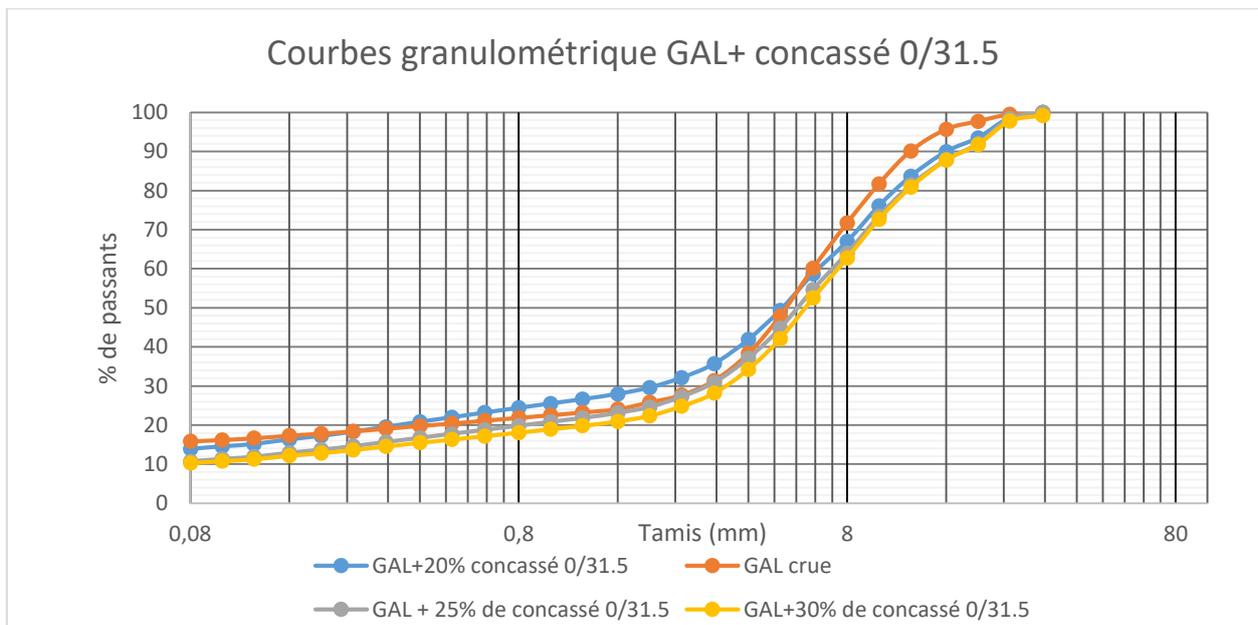
		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION				
ANALYSE GRANULOMETRIQUE						
Date de prélèvement			Nature	GAL+25% concassées 0/20		
Date de l'essai		10/11/2020	Localisation			
Poids initial (g)		4546	Opérateur			
MODULE AFNOR	TAMIS (mm)	REFUS CUMULES	% REFUS	% PASSANTS	OSERVATION	
50	80					
49	63					
48	50					
47	40					
46	31,5	0	0,00	100,00		100
45	25	52,4	1,15	98,85		99
44	20	138	3,04	96,96		97
43	16	381,6	8,39	91,61		92
42	12,5	719,1	15,82	84,18		84
41	10	1051,6	23,13	76,87		77
40	8	1424,3	31,33	68,67		69
39	6,3	1860,5	40,93	59,07		59
38	5	2293,4	50,45	49,55		50
37	4	2644,4	58,17	41,83		42
36	3,15	3030,1	66,65	33,35		33
35	2,5	3204,7	70,49	29,51		30
34	2	3325,3	73,15	26,85		27
33	1,6	3389,5	74,56	25,44		25
32	1,25	3442,7	75,73	24,27		24
31	1	3485,4	76,67	23,33		23
30	0,8	3527,8	77,60	22,40		22
29	0,63	3572,6	78,59	21,41		21
28	0,5	3616,2	79,55	20,45		20
27	0,4	3657,4	80,45	19,55		20
26	0,315	3703,4	81,47	18,53		19
25	0,25	3750,3	82,50	17,50		18
24	0,2	3789,7	83,36	16,64		17
23	0,16	3823,2	84,10	15,90		16
22	0,125	3871,4	85,16	14,84		15
21	0,1	3896	85,70	14,30		14
20	0,08	3920	86,23	13,77		14

Annexe 14: Fiche d'analyse granulométrique du "lithostab" avec 30% du poids de granite 0/20

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION				
ANALYSE GRANULOMETRIQUE						
Date de prélèvement			Nature	GAL+30% concassées 0/20		
Date de l'essai		10/11/2020	Localisation			
Poids initial (g)		4047	Opérateur			
MODULE AFNOR	TAMIS (mm)	REFUS CUMULES	% REFUS	% PASSANTS	OBSERVATION	
50	80					
49	63					
48	50					
47	40					
46	31,5	0	0,00	100,00	100	
45	25	0	0,00	100,00	100	
44	20	10,2	0,25	99,75	100	
43	16	130,3	3,22	96,78	97	
42	12,5	418,2	10,33	89,67	90	
41	10	699	17,27	82,73	83	
40	8	987	24,39	75,61	76	
39	6,3	1309	32,34	67,66	68	
38	5	1686,2	41,67	58,33	58	
37	4	2003,6	49,51	50,49	50	
36	3,15	2284,5	56,45	43,55	44	
35	2,5	2455,2	60,67	39,33	39	
34	2	2581,2	63,78	36,22	36	
33	1,6	2659,2	65,71	34,29	34	
32	1,25	2781,4	68,73	31,27	31	
31	1	2901,7	71,70	28,30	28	
30	0,8	2922,3	72,21	27,79	28	
29	0,63	2978,3	73,59	26,41	26	
28	0,5	3032,7	74,94	25,06	25	
27	0,4	3092,4	76,41	23,59	24	
26	0,315	3144,9	77,71	22,29	22	
25	0,25	3200,9	79,09	20,91	21	
24	0,2	3251,6	80,35	19,65	20	
23	0,16	3293,7	81,39	18,61	19	
22	0,125	3390,7	83,78	16,22	16	
21	0,1	3494,8	86,36	13,64	14	
20	0,08	3517,9	86,93	13,07	13	



Annexe 15: Courbes granulométrique GAL+ concassé 0/20



Annexe 16: Courbes granulométrique GAL+ concassé 0/31.5

3. ANNEXE 3 : COEFFICIENT D'APLATISSEMENT

Annexe 17: Fiche coefficient d'aplatissement du concassé 0/20

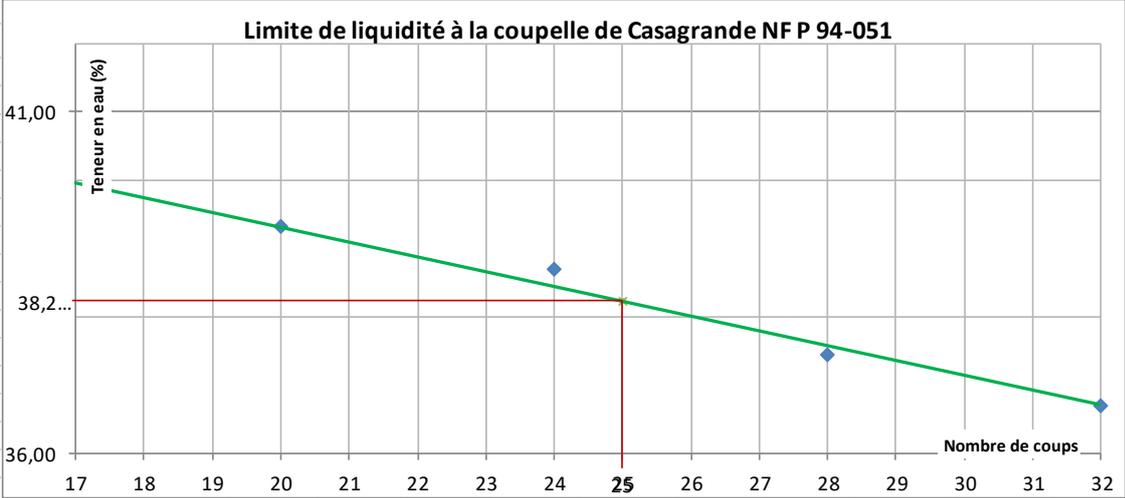
	INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION		
Dossier N°	-	Nature	Concassés de granite 0/20
Client	EBOMAF	Provenance	KOMBISSIRI
N° d'enregistrement	-	Localisation	
Date de prélèvement		Opérateur	
Date de l'essai			
Refus Tamis		Passant Grille	
# 31,5 mm	0	20 mm	0
# 25 mm	0	16 mm	0
‡ 20 mm	38,9	12,5 mm	3,1
‡ 16 mm	384,5	10 mm	55,1
‡ 12,5 mm	834,7	8 mm	200,5
‡ 10 mm	539,6	6,3 mm	111,5
‡ 8 mm	439,2	5 mm	60,9
‡ 6,3 mm	358,2	4 mm	68,7
‡ 5 mm	303,6	3,15 mm	7,04
‡ 4 mm	220,1	2,5 mm	26,5
Total	3118,8		533,34
	<u>Coefficient d'aplatissement</u>	17,1	
	<u>Coefficient de forme</u>	82,9	

Annexe 18: Fiche coefficient d'aplatissement du concassé 0/31,5

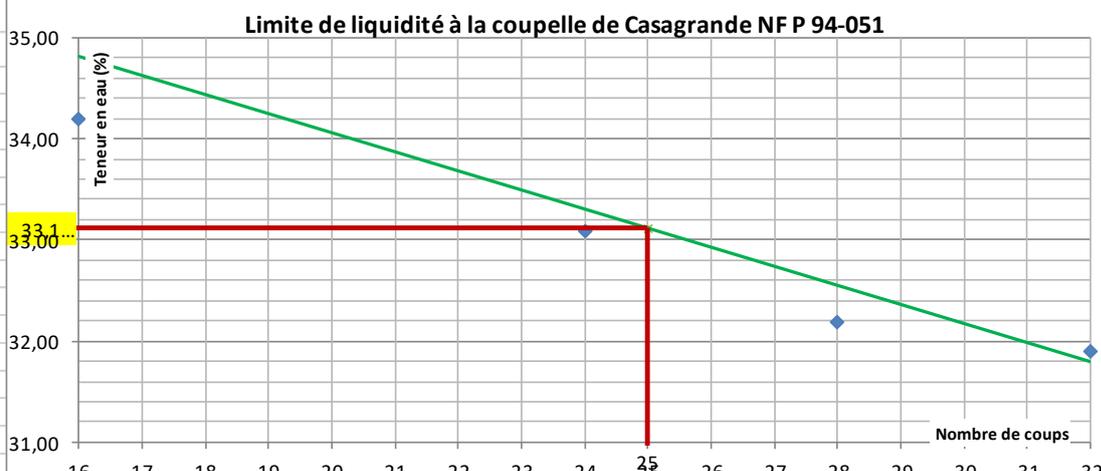
		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION			
Dossier N°	-	Nature	Concassés de granite 0/31,5		
Client	EBOMAF	Provenance	KOMBISSIRI		
N° d'enregistrement	-	Localisation			
Date de prélèvement		Opérateur			
Date de l'essai					
Refus Tamis			Passant Grille		
# 31,5 mm	0	20 mm	0		
# 25 mm	367,3	16 mm	83,2		
‡ 20 mm	501,3	12,5 mm	126		
‡ 16 mm	457,9	10 mm	96,2		
‡ 12,5 mm	416,9	8 mm	84,6		
‡ 10 mm	304,7	6,3 mm	69,3		
‡ 8 mm	284,9	5 mm	41		
‡ 6,3 mm	275,4	4 mm	32,3		
‡ 5 mm	228	3,15 mm	39,7		
‡ 4 mm	166,1	2,5 mm	7,9		
Total	3002,5		580,2		
	<u>Coefficient d'aplatissement</u>	19,3			
	<u>Coefficient de forme</u>	80,7			

4. ANNEXE 4 : LIMITES D'ATTERBERG

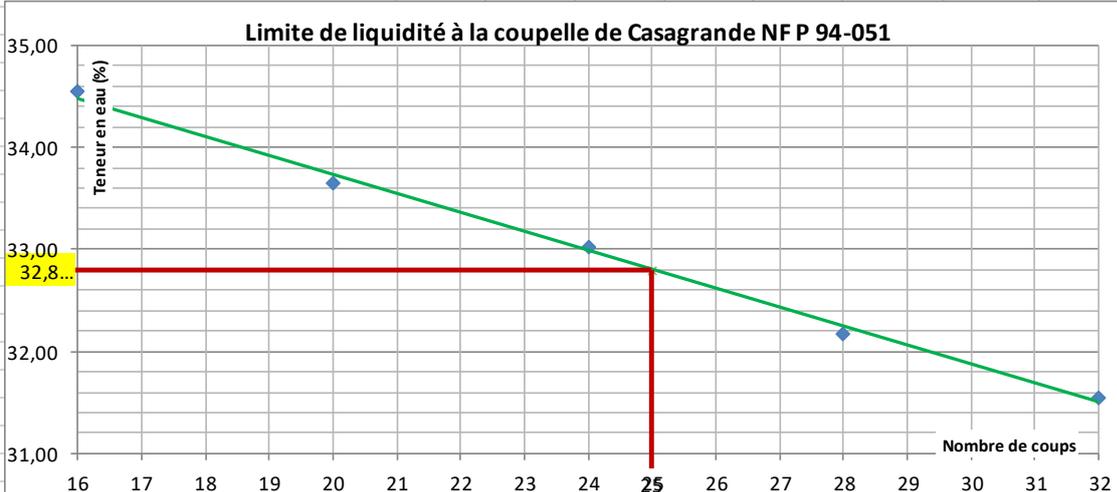
Annexe 19: Fiche de limites d'Atterberg GAL crue

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION							
LIMITES D'ATTERBERG									
(NF P 94-051)									
					Nature		GAL CRUE		
					Provenance				
					Localisation				
Date de prélèvement					Opérateur		ASSOULOU Mamouwa Bénédite		
Date de l'essai		28/11/2020							
					LIMITE DE LIQUIDITE			LIMITE DE PLASTICITE	
Tare N°	A	B	C	D	E	A6	A7	A2	
Nombre de coups	16	20	24	28	32				
Masse de la tare	17,08	12,37	21,85	9,64	10,32	10,76	6,75	9,38	
Masse humide + tare	23,58	21,51	31,85	17,09	16,69	13,09	8,87	11,66	
Masse sèche + tare	21,72	18,93	29,06	15,06	14,98	12,72	8,52	11,28	
Teneur en eau	40,09	39,33	38,70	37,45	36,70	18,88	19,77	20,00	
					Moyenne		19,55		
Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande NF P 94-051									
									
Résultats					Qualificatif du sol (selon LCPC)				
w	w _L	w _P	I _P	I _C					
	38	20	18		Sable argileux				

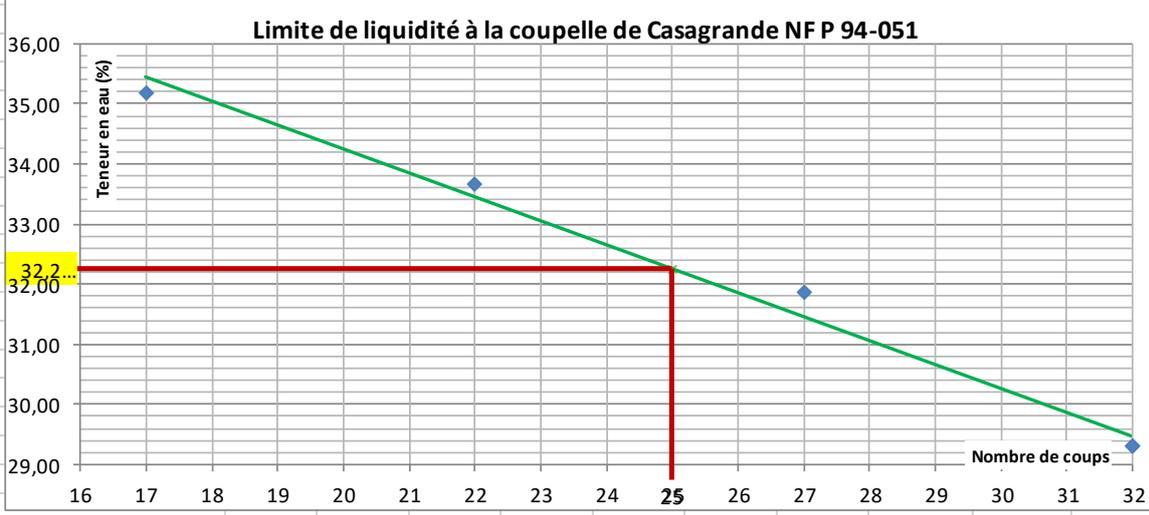
Annexe 20: Fiche de limites d'Atterberg GAL+20% du poids de concassés 0/31,5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION							
LIMITES D'ATTERBERG (NF P 94-051)									
					Nature		GAL +20%de concassés 0/31,5		
					Provenance				
					Localisation				
Date de prélèvement					Opérateur		ASSOLOU Mamouwa Bénédite		
Date de l'essai		02/12/2020							
		LIMITE DE LIQUIDITE					LIMITE DE PLASTICITE		
Tare N°		A	B	C	D	E	A6	A7	A2
Nombre de coups		16	20	24	28	32			
Masse de la tare		17,15	17,08	12,37	17,06	17,13	7,26	9,4	7,26
Masse humide + tare		25,94	25,5	19,37	24,33	24,16	12,5	15,2	12,5
Masse sèche + tare		23,7	23,31	17,63	22,56	22,46	11,74	14,35	11,74
Teneur en eau		34,20	35,15	33,08	32,18	31,89	16,96	17,17	16,96
		Moyenne					17,03		
Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande NF P 94-051									
									
Résultats					Qualificatif du sol (selon LCPC)				
w	w _L	w _P	I _P	I _C					
	33	17	16		Argile peu plastique				

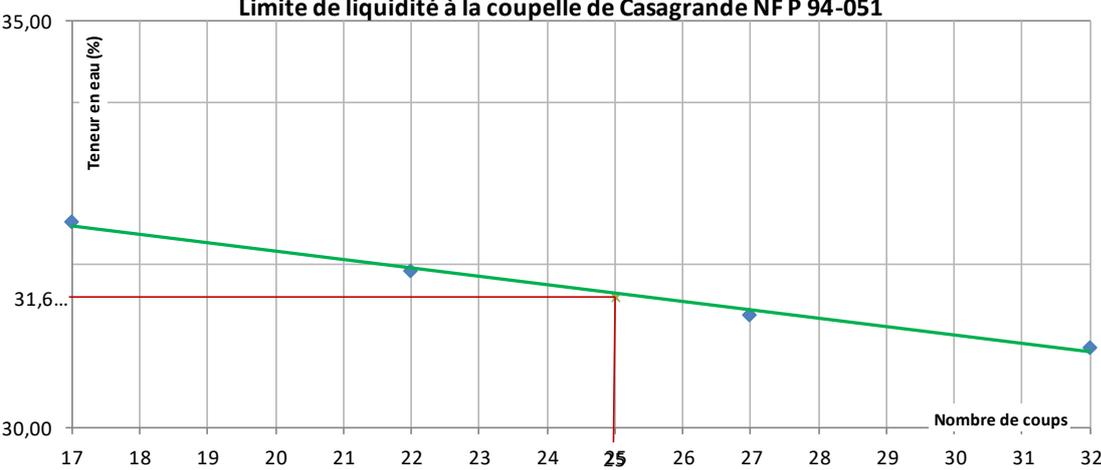
Annexe 21: Fiche de limites d'Atterberg GAL+25% du poids de concassés 0/31.5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION								
LIMITES D'ATTERBERG (NF P 94-051)										
					Nature	GAL +25%de concassés 0/31,5				
					Provenance					
					Localisation					
Date de prélèvement					Opérateur	ASSOLOU Mamouwa Bénédite				
Date de l'essai	26/12/2020									
			LIMITE DE LIQUIDITE					LIMITE DE PLASTICITE		
Tare N°	A	B	C	D	E		A6	A7	A2	
Nombre de coups	16	20	24	28	32					
Masse de la tare	6,25	10,44	24,62	23,79	10,34		6,25	6,71	6,25	
Masse humide + tare	14,78	20,09	31,83	33,69	15,51		11,45	11,17	11,48	
Masse sèche + tare	12,59	17,66	30,04	31,28	14,27		10,68	10,47	10,68	
Teneur en eau	34,54	33,66	33,03	32,18	31,55		17,38	18,62	18,06	
					Moyenne	18,02				
Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande NF P 94-051										
										
Résultats					Qualificatif du sol (selon LCPC)					
w	w _L	w _P	I _P	I _C						
	33	18	15		Argile peu plastique					

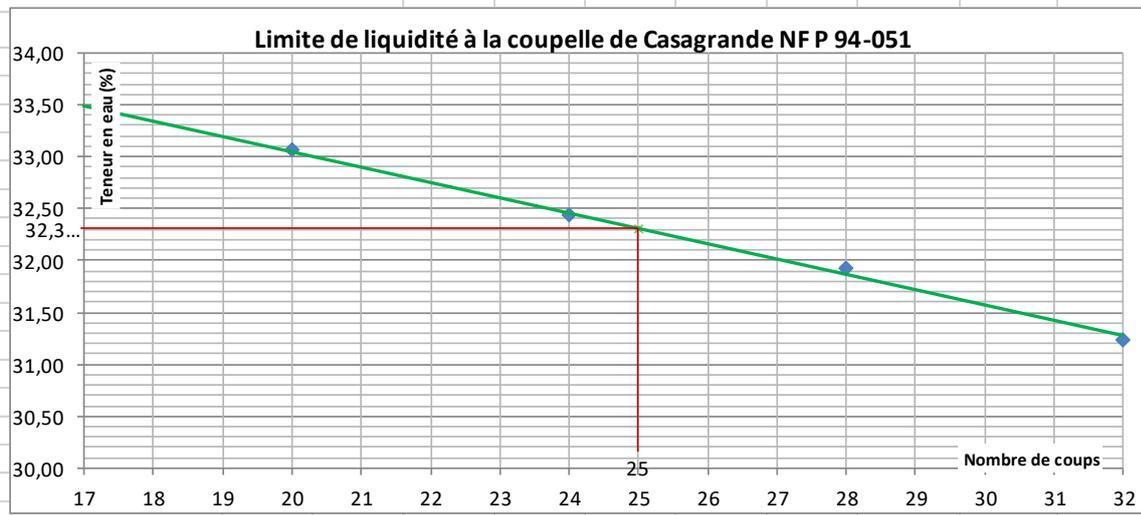
Annexe 22: Fiche de limites d'Atterberg GAL+30% du poids de concassés 0/31.5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION									
LIMITES D'ATTERBERG											
(NF P 94-051)											
						Nature		GAL +30%de concassés 0/31,5			
						Provenance					
						Localisation					
Date de prélèvement						Opérateur		ASSOLOU Mamouwa Bénédite			
Date de l'essai		26/12/2020									
						LIMITE DE LIQUIDITE			LIMITE DE PLASTICITE		
Tare N°		A	B	C	D	E	A6	A7	A2		
Nombre de coups		17	22	27	32	32					
Masse de la tare		14,27	16,65	16,3	13,9	13,9	9,38	9,38	9,38		
Masse humide + tare		23,11	26,18	24,12	22,02	22,02	15,45	15,48	15,57		
Masse sèche + tare		20,81	23,78	22,23	20,18	20,18	14,63	14,54	14,63		
Teneur en eau		35,17	33,66	31,87	29,30	29,30	15,62	18,22	17,90		
						Moyenne		17,25			
											
Résultats					Qualificatif du sol (selon LCPC)						
w	w _L	w _P	I _P	I _C							
	32	17	15		Argile peu plastique						

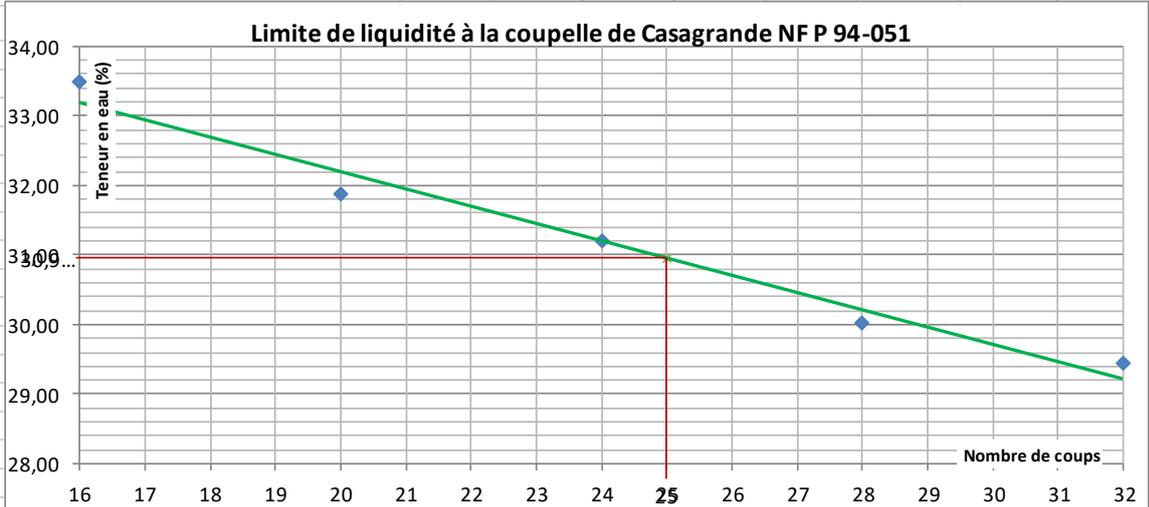
Annexe 23: Fiche de limites d'Atterberg GAL+20% du poids de concassés 0/20

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION							
LIMITES D'ATTERBERG (NF P 94-051)									
					Nature		GAL +20% de Concassés 0/20		
					Provenance				
					Localisation				
Date de prélèvement					Opérateur		ASSOLOU Mamouwa Bénédite		
Date de l'essai		28/11/2020							
		LIMITE DE LIQUIDITE				LIMITE DE PLASTICITE			
Tare N°		A	B	C	D		A6	A7	A2
Nombre de coups		17	22	27	32				
Masse de la tare		21,9	17,13	10,44	14,27		6,75	9,51	6,75
Masse humide + tare		33,92	27,09	22,62	25,94		13,71	16,32	13,69
Masse sèche + tare		30,97	24,68	19,71	23,18		12,66	15,27	12,66
Teneur en eau		32,52	31,92	31,39	30,98		17,77	18,23	17,43
					Moyenne		17,81		
Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande NF P 94-051									
									
Résultats					Qualificatif du sol (selon LCPC)				
w	w _L	w _p	I _p	I _c					
	32	18	14		Argile peu plastique				

Annexe 24: Fiche de limites d'Atterberg GAL+25% du poids de concassés 0/20

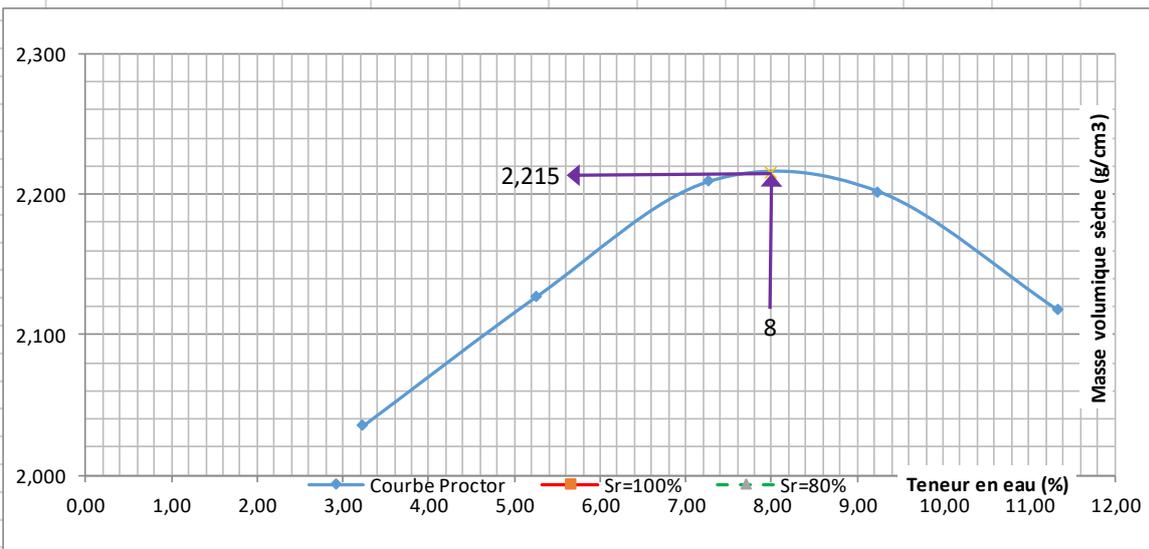
		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION									
LIMITES D'ATTERBERG (NF P 94-051)											
						Nature		GAL +25%de concassés 0/20			
						Provenance					
						Localisation					
Date de prélèvement						Opérateur		ASSOLOU Mamouwa Bénédite			
Date de l'essai		28/11/2020									
						LIMITE DE LIQUIDITE			LIMITE DE PLASTICITE		
Tare N°	A	B	C	D	E		A6	A7	A2		
Nombre de coups	16	20	24	28	32						
Masse de la tare	16,91	12,37	14,94	16,2	16,3		9,64	9,4	9,64		
Masse humide + tare	29,51	25,93	25,84	27,81	28,82		17,9	18,4	17,98		
Masse sèche + tare	26,34	22,56	23,17	25	25,84		16,68	17,01	16,68		
Teneur en eau	33,62	33,07	32,44	31,93	31,24		17,33	18,27	18,47		
						Moyenne		18,02			
											
Résultats					Qualificatif du sol (selon LCPC)						
w	w _L	w _P	I _P	I _C							
	32	18	14		Argile peu plastique						

Annexe 25: Fiche de limites d'Atterberg GAL+30% du poids de concassés 0/20

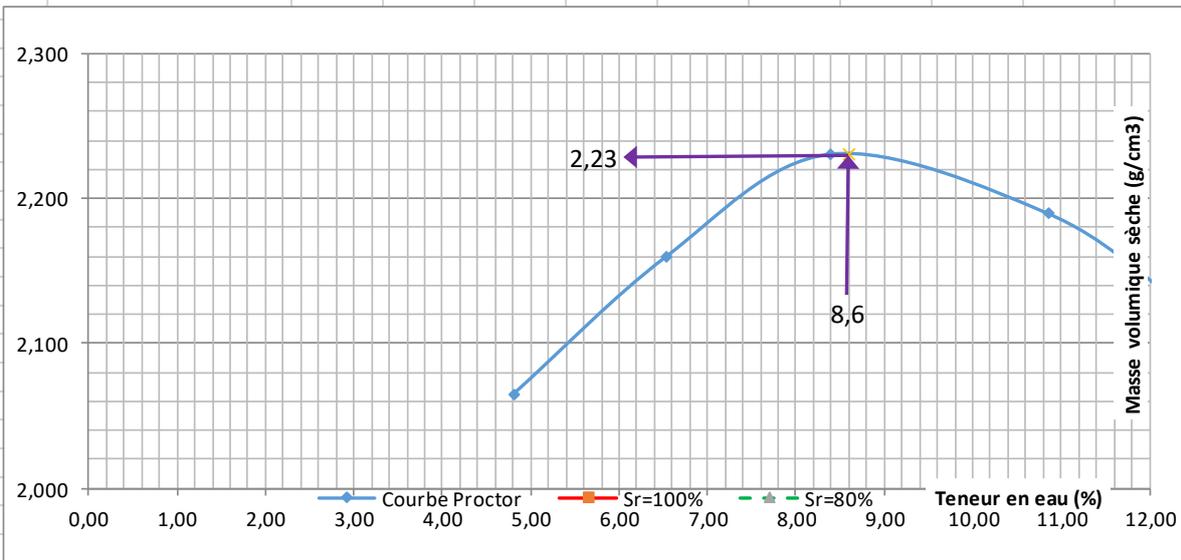
		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION									
LIMITES D'ATTERBERG											
(NF P 94-051)											
						Nature		GAL +30%de concassés 0/20			
						Provenance					
						Localisation					
Date de prélèvement						Opérateur		ASSOLOU Mamouwa Bénédite			
Date de l'essai		02/12/2020									
						LIMITE DE LIQUIDITE			LIMITE DE PLASTICITE		
Tare N°		A	B	C	D	E	A6	A7	A2		
Nombre de coups		16	20	24	28	32					
Masse de la tare		17,15	17,02	17,13	17,15	17,06	9,3	9,41	9,38		
Masse humide + tare		29,27	27,9	27,35	27,98	27,96	15,47	15,67	15,42		
Masse sèche + tare		26,23	25,27	24,92	25,48	25,48	14,54	14,68	14,52		
Teneur en eau		33,48	31,88	31,19	30,01	29,45	17,75	18,79	17,51		
						Moyenne		18,01			
											
Résultats					Qualificatif du sol (selon LCPC)						
w	w _L	w _P	I _P	I _C							
	31	18	13		Argile peu plastique						

5. ANNEXE 5 : PROCTOR MODIFIE

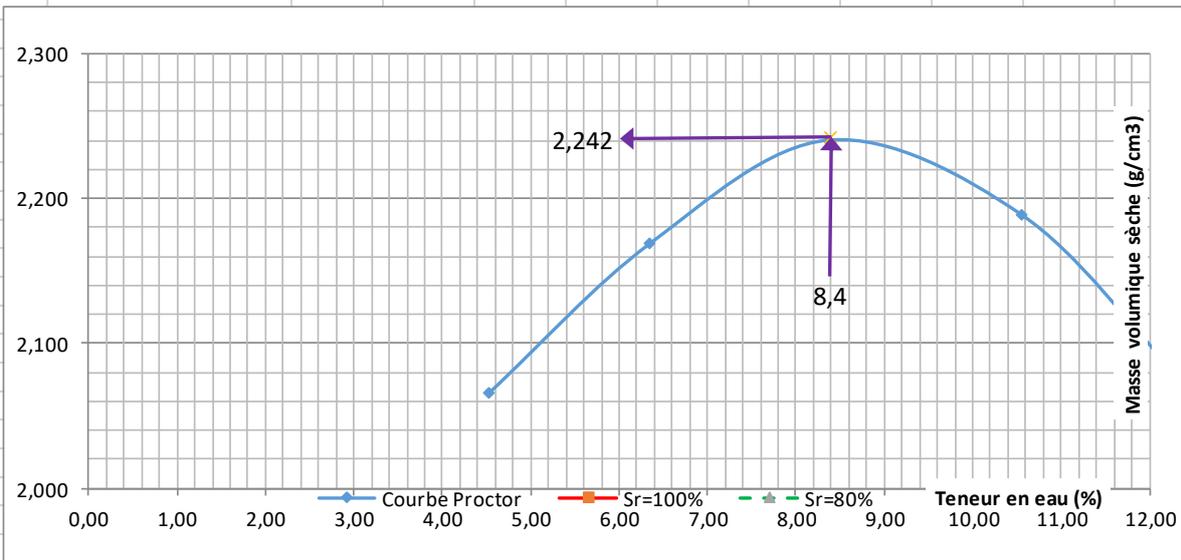
Annexe 26: Fiche de Proctor GAL crue

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION									
ESSAI PROCTOR (NF P 94-093)											
Dossier N°				Nature		GAL Crue					
N° d'enregistrement				Provenance							
				Localisation							
Date de prélèvement				Opérateurs		ASSOLOU					
Date de l'essai											
Energie de compactage			Normal <input type="checkbox"/>		Modifié <input checked="" type="checkbox"/>		Masse volum, part, solides rs				
Volume moule (cm ³)		2104	Moule	Proctor <input type="checkbox"/>	CBR <input checked="" type="checkbox"/>	Estimée <input checked="" type="checkbox"/>	Mésurée <input type="checkbox"/>				
Teneur en eau initiale		Essai effectué sur les éléments			Masse totale		30	Kg			
		≤ 5mm <input checked="" type="checkbox"/>	≤ 20mm <input checked="" type="checkbox"/>	Masse refus 20mm		0	Kg				
							0,00				
Teneur en eau	Teneur en eau estimée (%)	2		4		6		8		10	
	N° tare	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Masse de la tare (g)	79	62	54	51	60	78	71	45	45	48
	Masse hum, + tare (g)	434	432	417	448	449	384	375	452	454	396
	Masse sèche+tare (g)	423,00	420	399,00	428	423	363	349,00	418	413,00	360,00
	Masse de l'eau (g)	11,0	12,0	18,0	20,0	26,0	21,0	26,0	34,0	41,0	36,0
	Masse sol sec (g)	345,0	358,0	345,0	377,0	363,0	285,0	278,0	373,0	368,0	312,0
	Teneur en eau (%)	3,10	3,35	5,22	5,31	7,16	7,37	9,35	9,12	11,14	11,54
	Ten. Eau Moyenne (%)	3,23		5,26		7,27		9,23		11,34	
Masse volumique sèche	Masse du moule (g)	4218		4218		4218		4218		4218	
	Masse hum. + moule (g)	8639,0		8930,0		9203,0		9278,0		9178,0	
	Masse nette hum. (g)	4421,00		4712,00		4985,00		5060,00		4960,00	
	Volume (cm ³)	2104		2104		2104		2104		2104	
	Masse vol. humide (g/cm ³)	2,101		2,240		2,369		2,405		2,357	
	Masse vol. sèche (g/cm ³)	2,036		2,128		2,209		2,202		2,117	
 <p>The graph plots dry density (g/cm³) on the y-axis (ranging from 2,000 to 2,300) against water content (%) on the x-axis (ranging from 0,00 to 12,00). A blue curve represents the Proctor Modified test results. The maximum dry density is 2,215 g/cm³, achieved at an optimum water content of 8,0%. The graph also includes a legend for saturation levels: Sr=100% (red square), Sr=80% (green triangle), and the Proctor Modified curve (blue circle).</p>											
RESULTATS DE L'ESSAI		ρ_{dmax} (g/cm ³)		w_{opt} (%)		ρ'_{dmax} (g/cm ³)		w' (%)			
		2,22		8,0							

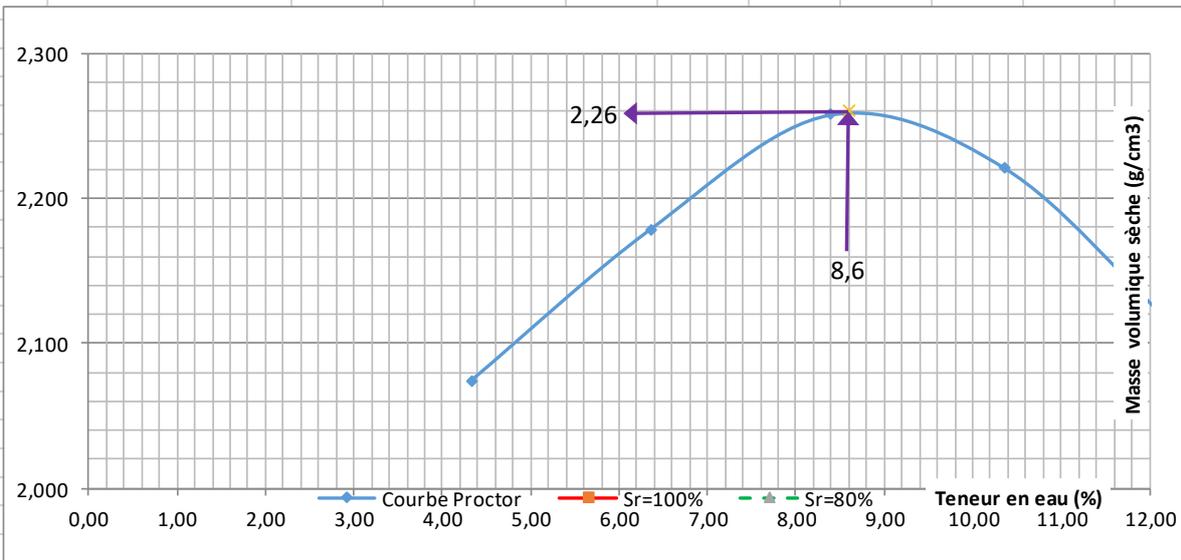
Annexe 27: Fiche Proctor GAL avec 20% du poids de concassés 0/31.5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION									
ESSAI PROCTOR (NF P 94-093)											
Dossier N°				Nature	GAL+20% concassées 0/31,5						
N° d'enregistrement				Provenance							
				Localisation							
Date de prélèvement				Opérateurs	En/se						
Date de l'essai					MDC						
Energie de compactage		Normal	<input type="checkbox"/>	Modifié	<input checked="" type="checkbox"/>	Masse volum, part, solides rs					
Volume moule (cm³)	2104	Moule	Proctor	<input type="checkbox"/>	CBR	<input checked="" type="checkbox"/>	Estimée <input checked="" type="checkbox"/> Mésurée <input type="checkbox"/>				
Teneur en eau initiale	Essai effectué sur les éléments			Masse totale	30	Kg	% de refus à 20mm				
	≤ 5mm	<input checked="" type="checkbox"/>	≤ 20mm	<input checked="" type="checkbox"/>	Masse refus 20mm	0	Kg				
							0,00				
Teneur en eau	Teneur en eau estimée (%)	2		4		6		8		10	
	N° tare	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Masse de la tare (g)	57	53	50	47	69	65	58	60	51	51
	Masse hum. + tare (g)	445	428	314	337	360	330	472	433	403	416
	Masse sèche+tare (g)	428,00	410	298,00	319	338	309	432,00	396	364,00	376,00
	Masse de l'eau (g)	17,0	18,0	16,0	18,0	22,0	21,0	40,0	37,0	39,0	40,0
	Masse sol sec (g)	371,0	357,0	248,0	272,0	269,0	244,0	374,0	336,0	313,0	325,0
	Teneur en eau (%)	4,58	5,04	6,45	6,62	8,18	8,61	10,70	11,01	12,46	12,31
Ten. Eau Moyenne (%)	4,81		6,53		8,39		10,85		12,38		
Masse volumique sèche	Masse du moule (g)	4240		4240		4240		4240		4240	
	Masse hum. + moule (g)	8764,0		9080,0		9326,0		9346,0		9270,0	
	Masse nette hum. (g)	4553,00		4840,00		5086,00		5106,00		5030,00	
	Volume (cm³)	2104		2104		2104		2104		2105	
	Masse vol. humide (g/cm³)	2,164		2,300		2,417		2,427		2,390	
	Masse vol. sèche (g/cm³)	2,065		2,159		2,230		2,189		2,126	
 <p>The graph plots dry density (g/cm³) on the y-axis (ranging from 2,000 to 2,300) against water content (%) on the x-axis (ranging from 0,00 to 12,00). A blue curve represents the Proctor test results. The maximum dry density is 2,23 g/cm³ at an optimum water content of 8,6%. Vertical dashed lines indicate the 80% saturation (Sr=80%) and 100% saturation (Sr=100%) levels. A legend at the bottom identifies the blue line as the 'Courbe Proctor', the red line as 'Sr=100%', and the green line as 'Sr=80%'.</p>											
RESULTATS DE L'ESSAI		ρ_{dmax} (g/cm³)		w_{opt} (%)		ρ'_{dmax} (g/cm³)		w' (%)			
		2,23		8,6							

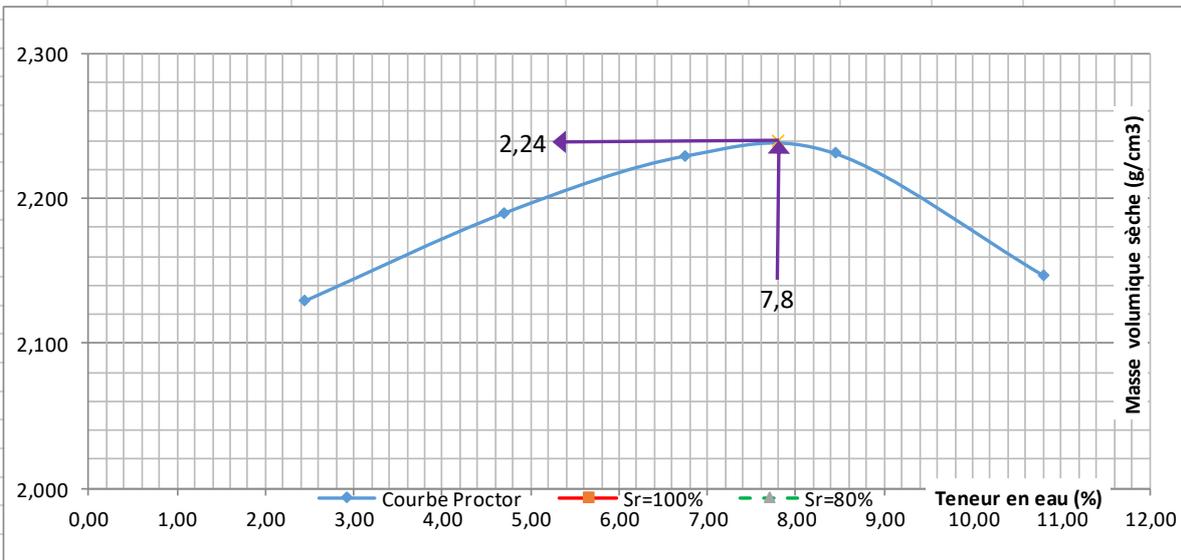
Annexe 28: Fiche Proctor GAL avec 25% du poids de concassés 0/31,5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION										
ESSAI PROCTOR (NF P 94-093)												
Dossier N°				Nature		GAL+25% concassées 0/31,5						
N° d'enregistrement				Provenance								
				Localisation								
Date de prélèvement				Opérateurs		En/se						
Date de l'essai						MDC						
Energie de compactage		Normal <input type="checkbox"/>		Modifié <input checked="" type="checkbox"/>		Masse volum, part, solides rs						
Volume moule (cm³)		2104		Moule		Proctor <input type="checkbox"/>						
						CBR <input checked="" type="checkbox"/>						
						Estimée <input checked="" type="checkbox"/>						
						Mésurée <input type="checkbox"/>						
Teneur en eau initiale		Essai effectué sur les éléments		Masse totale		30 Kg						
		≤5mm <input checked="" type="checkbox"/>		≤20mm <input checked="" type="checkbox"/>		% de refus à 20mm						
				Masse refus 20mm		0 Kg						
						0,00						
Teneur en eau	Teneur en eau estimée (%)		2		4		6		8		10	
	N° tare		A		B		C		D		E	
	Masse de la tare (g)		45		48		53		49		45	
	Masse hum. + tare (g)		414		349		458		393		397	
	Masse sèche+tare (g)		398,00		336		432,00		374		370	
	Masse de l'eau (g)		16,0		13,0		26,0		19,0		27,0	
	Masse sol sec (g)		353,0		288,0		379,0		325,0		325,0	
	Teneur en eau (%)		4,53		4,51		6,86		5,85		8,31	
Ten. Eau Moyenne (%)		4,52		6,35		8,38		10,55		12,36		
Masse volumique sèche	Masse du moule (g)		4240		4240		4240		4240		4240	
	Masse hum. + moule (g)		8782,0		9093,0		9348,0		9331,0		9146,0	
	Masse nette hum. (g)		4542,00		4853,00		5108,00		5091,00		4906,00	
	Volume (cm³)		2104		2104		2104		2104		2104	
	Masse vol. humide (g/cm³)		2,159		2,307		2,428		2,420		2,332	
	Masse vol. sèche (g/cm³)		2,065		2,169		2,240		2,189		2,075	
												
RESULTATS DE L'ESSAI			ρ_{dmax} (g/cm³)		w_{opt} (%)		ρ'_{dmax} (g/cm³)		w' (%)			
			2,24		8,4							

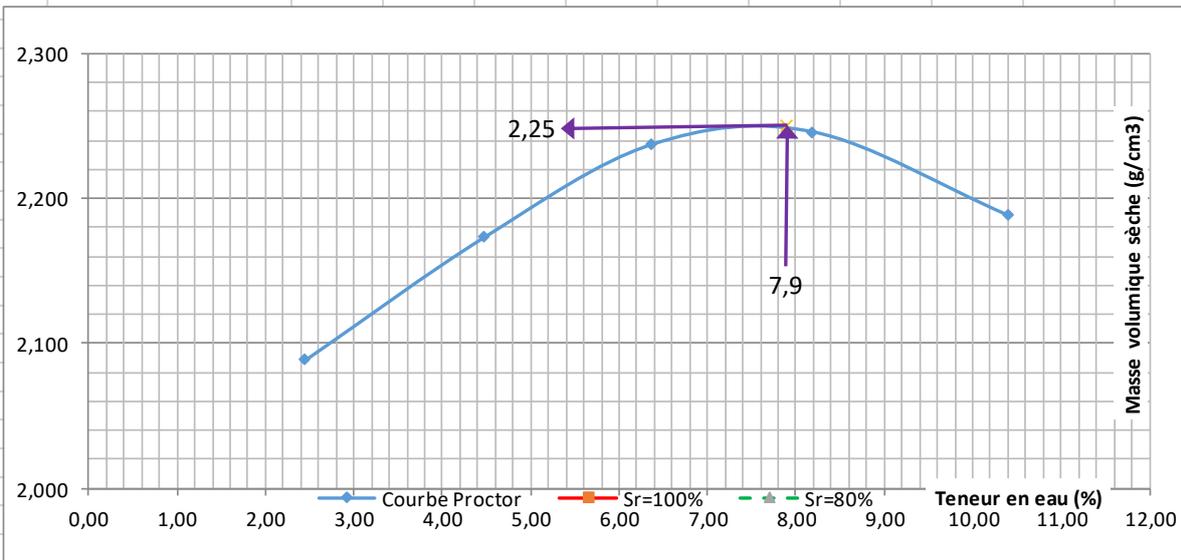
Annexe 29: Fiche Proctor GAL avec 30% du poids de concassés 0/31,5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION									
ESSAI PROCTOR (NF P 94-093)											
Dossier N°				Nature		GAL+30% concassées 0/31,5					
N° d'enregistrement				Provenance							
				Localisation							
Date de prélèvement				Opérateurs		En/se					
Date de l'essai						MDC					
Energie de compactage		Normal <input type="checkbox"/>		Modifié <input checked="" type="checkbox"/>		Masse volum, part, solides rs					
Volume moule (cm³)		2104		Moule		Proctor <input type="checkbox"/>					
						CBR <input checked="" type="checkbox"/>					
						Estimée <input checked="" type="checkbox"/>					
						Mésurée <input type="checkbox"/>					
Teneur en eau initiale		Essai effectué sur les éléments		Masse totale		30 Kg					
		≤ 5mm <input checked="" type="checkbox"/>		≤ 20mm <input checked="" type="checkbox"/>		% de refus à 20mm					
				Masse refus 20mm		0 Kg					
						0,00					
Teneur en eau	Teneur en eau estimée (%)	2		4		6		8		10	
	N° tare	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Masse de la tare (g)	58	56	65	47	69	62	63	49	51	54
	Masse hum. + tare (g)	455	431	399	416	473	498	497	477	465	434
	Masse sèche+tare (g)	439,00	415	379,00	394	441	465	455,00	438	420,00	392,00
	Masse de l'eau (g)	16,0	16,0	20,0	22,0	32,0	33,0	42,0	39,0	45,0	42,0
	Masse sol sec (g)	381,0	359,0	314,0	347,0	372,0	403,0	392,0	389,0	369,0	338,0
	Teneur en eau (%)	4,20	4,46	6,37	6,34	8,60	8,19	10,71	10,03	12,20	12,43
Ten. Eau Moyenne (%)	4,33		6,35		8,40		10,37		12,31		
Masse volumique sèche	Masse du moule (g)	4240		4240		4240		4240		4240	
	Masse hum. + moule (g)	8793,0		9115,0		9389,0		9397,0		9398,0	
	Masse nette hum. (g)	4553,00		4875,00		5149,00		5157,00		5158,00	
	Volume (cm³)	2104		2104		2104		2104		2105	
	Masse vol. humide (g/cm³)	2,164		2,317		2,447		2,451		2,450	
	Masse vol. sèche (g/cm³)	2,074		2,179		2,258		2,221		2,110	
 <p>The graph displays the Proctor curve for the soil sample. The y-axis represents the dry density (Masse volumique sèche) in g/cm³, ranging from 2,000 to 2,300. The x-axis represents the water content (Teneur en eau) in %, ranging from 0,00 to 12,00. The curve is a downward-opening parabola. The maximum dry density (ρ_{dmax}) is 2,26 g/cm³, which occurs at an optimum water content (w_{opt}) of 8,6%. The graph also includes horizontal lines for saturation levels: Sr=100% (red) and Sr=80% (green).</p>											
RESULTATS DE L'ESSAI		ρ _{dmax} (g/cm³)		w _{opt} (%)		ρ' _{dmax} (g/cm³)		w' (%)			
		2,26		8,6							

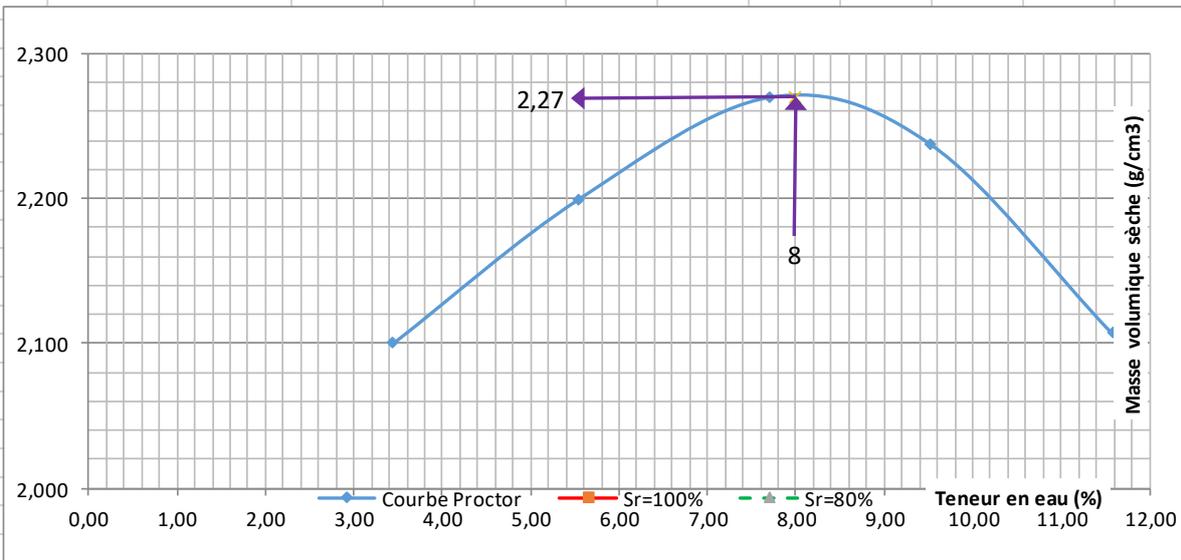
Annexe 30: Fiche Proctor GAL avec 20% du poids de concassés 0/20

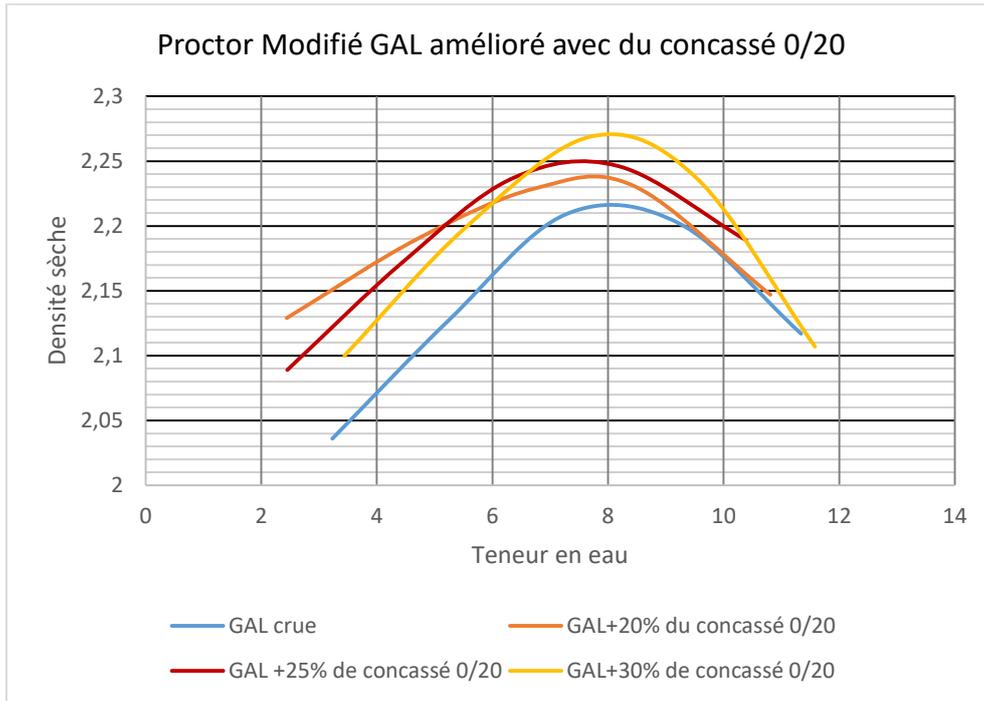
		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION										
ESSAI PROCTOR (NF P 94-093)												
Dossier N°				Nature		GAL+20% concassées 0/20						
N° d'enregistrement				Provenance								
				Localisation								
Date de prélèvement				Opérateurs		En/se						
Date de l'essai						MDC						
Energie de compactage		Normal <input type="checkbox"/>		Modifié <input checked="" type="checkbox"/>		Masse volum, part, solides rs						
Volume moule (cm³)		2104		Moule		Proctor <input type="checkbox"/>						
						CBR <input checked="" type="checkbox"/>						
						Estimée <input checked="" type="checkbox"/>						
						Mésurée <input type="checkbox"/>						
Teneur en eau initiale		Essai effectué sur les éléments		Masse totale		30 Kg						
		≤ 5mm <input checked="" type="checkbox"/>		≤ 20mm <input checked="" type="checkbox"/>		% de refus à 20mm						
				Masse refus 20mm		0 Kg						
						0,00						
Teneur en eau	Teneur en eau estimée (%)		2		4		6		8		10	
	N° tare		A		B		C		D		E	
	Masse de la tare (g)		51		62		65		50		36	
	Masse hum. + tare (g)		441		470		450		352		392	
	Masse sèche+tare (g)		432,00		460		432,00		339		369	
	Masse de l'eau (g)		9,0		10,0		18,0		13,0		23,0	
	Masse sol sec (g)		381,0		398,0		367,0		289,0		333,0	
	Teneur en eau (%)		2,36		2,51		4,90		4,50		6,91	
Ten. Eau Moyenne (%)		2,44		4,70		6,74		8,44		10,81		
Masse volumique sèche	Masse du moule (g)		4240		4240		4240		4240		4240	
	Masse hum. + moule (g)		8829,0		9064,0		9246,0		9330,0		9247,0	
	Masse nette hum. (g)		4589,00		4824,00		5006,00		5090,00		5007,00	
	Volume (cm³)		2104		2104		2104		2104		2105	
	Masse vol. humide (g/cm³)		2,181		2,293		2,379		2,419		2,379	
	Masse vol. sèche (g/cm³)		2,129		2,190		2,229		2,231		2,147	
 <p>The graph plots the dry density (Masse volumique sèche) in g/cm³ on the y-axis (ranging from 2,000 to 2,300) against the water content (Teneur en eau) in % on the x-axis (ranging from 0,00 to 12,00). A blue curve represents the Proctor test results. The maximum dry density is indicated as 2,24 g/cm³ at an optimum water content of 7,8%. The graph also shows curves for saturation (Sr=100% in red) and 80% saturation (Sr=80% in green).</p>												
RESULTATS DE L'ESSAI			ρ_{dmax} (g/cm³)		w_{opt} (%)		ρ'_{dmax} (g/cm³)		w' (%)			
			2,24		7,8							

Annexe 31: Fiche Proctor GAL avec 25% du poids de concassés 0/20

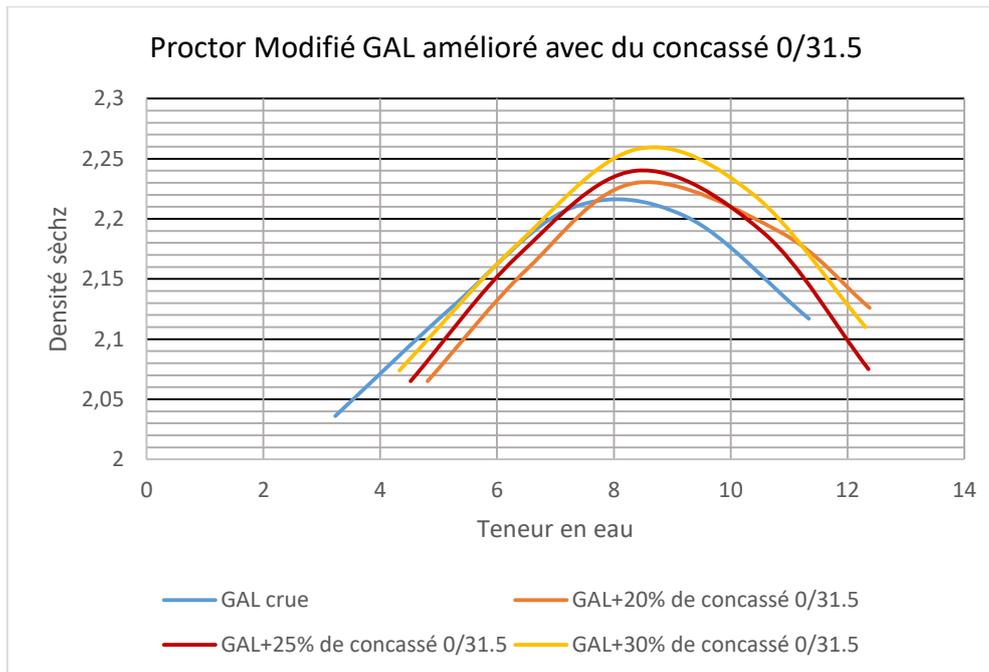
		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION										
ESSAI PROCTOR (NF P 94-093)												
Dossier N°				Nature		GAL+25% concassées 0/20						
N° d'enregistrement				Provenance								
				Localisation								
Date de prélèvement				Opérateurs		En/se						
Date de l'essai						MDC						
Energie de compactage		Normal <input type="checkbox"/>		Modifié <input checked="" type="checkbox"/>		Masse volum, part, solides rs						
Volume moule (cm³)		2104		Moule		Proctor <input type="checkbox"/>						
						CBR <input checked="" type="checkbox"/>						
						Estimée <input checked="" type="checkbox"/>						
						Mésurée <input type="checkbox"/>						
Teneur en eau initiale		Essai effectué sur les éléments		Masse totale		30 Kg						
		≤ 5mm <input checked="" type="checkbox"/>		≤ 20mm <input checked="" type="checkbox"/>		% de refus à 20mm						
				Masse refus 20mm		0 Kg						
						0,00						
Teneur en eau	Teneur en eau estimée (%)		2		4		6		8		10	
	N° tare		A		B		C		D		E	
	Masse de la tare (g)		51		38		56		49		47	
	Masse hum. + tare (g)		424		461		414		441		415	
	Masse sèche+tare (g)		415,00		451		398,00		425		393	
	Masse de l'eau (g)		9,0		10,0		16,0		16,0		22,0	
	Masse sol sec (g)		364,0		413,0		342,0		376,0		346,0	
	Teneur en eau (%)		2,47		2,42		4,68		4,26		6,36	
Ten. Eau Moyenne (%)		2,45		4,47		6,36		8,19		10,39		
Masse volumique sèche	Masse du moule (g)		4240		4240		4240		4240		4240	
	Masse hum. + moule (g)		8742,0		9016,0		9246,0		9352,0		9326,0	
	Masse nette hum. (g)		4502,00		4776,00		5006,00		5112,00		5086,00	
	Volume (cm³)		2104		2104		2104		2104		2105	
	Masse vol. humide (g/cm³)		2,140		2,270		2,379		2,430		2,416	
	Masse vol. sèche (g/cm³)		2,089		2,173		2,237		2,246		2,189	
												
RESULTATS DE L'ESSAI			ρ_{dmax} (g/cm³)		w_{opt} (%)		ρ'_{dmax} (g/cm³)		w' (%)			
			2,25		7,9							

Annexe 32: Fiche Proctor GAL avec 30% du poids de concassés 0/20

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION									
ESSAI PROCTOR (NF P 94-093)											
Dossier N°				Nature		GAL+30% concassées 0/20					
N° d'enregistrement				Provenance							
Date de prélèvement				Localisation							
Date de l'essai				Opérateurs		En/se MDC					
Energie de compactage				Normal <input type="checkbox"/>	Modifié <input checked="" type="checkbox"/>	Masse volum, part, solides rs					
Volume moule (cm³)		2104	Moule	Proctor <input type="checkbox"/>	CBR <input checked="" type="checkbox"/>	Estimée <input checked="" type="checkbox"/>	Mésurée <input type="checkbox"/>				
Teneur en eau initiale		Essai effectué sur les éléments		Masse totale		30	Kg	% de refus à 20mm			
		≤ 5mm <input checked="" type="checkbox"/>	≤ 20mm <input checked="" type="checkbox"/>	Masse refus 20mm		0	Kg	0,00			
Teneur en eau	Teneur en eau estimée (%)	2		4		6		8		10	
	N° tare	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Masse de la tare (g)	79	49	65	38	52	47	51	62	51	52
	Masse hum. + tare (g)	480	459	412	415	463	432	452	477	457	484
	Masse sèche+tare (g)	467,00	445	394,00	395	433	405	417,00	441	415,00	439,00
	Masse de l'eau (g)	13,0	14,0	18,0	20,0	30,0	27,0	35,0	36,0	42,0	45,0
	Masse sol sec (g)	388,0	396,0	329,0	357,0	381,0	358,0	366,0	379,0	364,0	387,0
	Teneur en eau (%)	3,35	3,54	5,47	5,60	7,87	7,54	9,56	9,50	11,54	11,63
Ten. Eau Moyenne (%)	3,44		5,54		7,71		9,53		11,58		
Masse volumique sèche	Masse du moule (g)	4240		4240		4240		4240		4240	
	Masse hum. + moule (g)	8811,0		9123,0		9383,0		9395,0		9189,0	
	Masse nette hum. (g)	4571,00		4883,00		5143,00		5155,00		4949,00	
	Volume (cm³)	2104		2104		2104		2104		2105	
	Masse vol. humide (g/cm³)	2,173		2,321		2,444		2,450		2,351	
	Masse vol. sèche (g/cm³)	2,100		2,199		2,269		2,237		2,107	
 <p>The graph plots dry density (Masse volumique sèche) in g/cm³ on the y-axis (ranging from 2,000 to 2,300) against water content (Teneur en eau) in % on the x-axis (ranging from 0,00 to 12,00). A blue curve represents the Proctor test results. A vertical purple line marks the peak at 8% water content, and a horizontal purple line marks the maximum dry density of 2,27 g/cm³. A legend at the bottom indicates Sr=100% (red line) and Sr=80% (green line).</p>											
RESULTATS DE L'ESSAI			ρ_{dmax} (g/cm³)	w_{opt} (%)	ρ'_{dmax} (g/cm³)	w' (%)					
			2,27	8,0							



Annexe 33: Proctor Modifié GAL amélioré avec du concassé 0/20



Annexe 34: Proctor Modifié GAL amélioré avec du concassé 0/31.5

6. ANNEXE 6 : ESSAI CBR

Annexe 35: Fiche CBR, GAL crue

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION					
ESSAI CBR							
Date de prélèvement		Nature		GAL			
Date de l'essai	01/12/2020	Localisation					
		Opérateur		ASSOLOU			
Etat initial de l'échantillon							
Masse sol humide (g)		491		429	8,05		
Masse sol sec (g)		460		401			
Teneur en eau de compactag (%)		8,1		8			
Etat de l'échantillon avant et après imbibition							
Durée d'immersion							
Numéro du moule		A		B		C	
Nombre de coups		56 COUPS		25 COUPS		10 COUPS	
Masse totale humide (g)		8817		8541		8328	
Masse du moule (g)		3768		3744		3784	
Masse du sol humide (g)		5049		4797		4544	
Volume du moule (cm ³)		2104		2104		2104	
Densité humide		2,40		2,28		2,16	
Densité sèche (g/cm ³)		2,22		2,11		2,00	
PONÇONNEMENT							
		56 COUPS		25 COUPS		10 COUPS	
Enfoncement (mm)		Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN
	0	0		0		0	
1,25		0,43		0,3		0,12	
2		0,65		0,41		0,15	
2,5		0,8	16,17	0,55	11,14	0,17	3,5
5		1,01	20,39	0,7	14,16	0,23	4,71
7,5							
10							
Calcul de l'indice portant		2,5mm:Icbr =	121,124	2,5 mm:Icbr=	83,4	2,5 mm:Icbr=	26,2
		5mm:Icbr =	102,3	5mm:Icbr =	71,0	5mm:Icbr =	23,6
		Icbr Max =	102	Icbr Max =	71,4	Icbr Max =	26,2

Annexe 36: Fiche CBR du GAL avec 20% du poids de concassé 0/31.5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION					
ESSAI CBR							
Date de prélèvement		Nature		GAL+20% de concassé 0/31,5			
Date de l'essai	04/12/2020	Localisation					
		Opérateur		ASSOLOU			
Etat initial de l'échantillon							
Masse sol humide (g)		416		479	8,6		
Masse sol sec (g)		386		446			
Teneur en eau de compactag (%)		8,6		8,6			
Etat de l'échantillon avant et après imbibition							
Durée d'immersion							
Numéro du moule		A		B		C	
Nombre de coups		56 COUPS		25 COUPS		10 COUPS	
Masse totale humide (g)		8947		8756		8570	
Masse du moule (g)		3762		3756		3800	
Masse du sol humide (g)		5091		4839		4586	
Volume du moule (cm ³)		2104		2104		2104	
Densité humide		2,42		2,30		2,18	
Densité sèche (g/cm ³)		2,23		2,12		2,01	
PONÇONNEMENT							
		56 COUPS		25 COUPS		10 COUPS	
Enfoncement (mm)		Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN
	0	0		0		0	
1,25		0,36		0,32		0,18	
2		0,52		0,45		0,22	
2,5		0,74	14,96	0,52	10,14	0,25	5,11
5		1,09	22	0,81	16,37	0,35	7,12
7,5							
10							
Calcul de l'indice portant	2,5mm:Icbr =	112,06		2,5 mm:Icbr=	76,0	2,5 mm:Icbr=	38,3
	5mm:Icbr =	110,4		5mm:Icbr =	82,1	5mm:Icbr =	35,7
	Icbr Max =	112,06		Icbr Max =	82,1	Icbr Max =	38,3

Annexe 37: Fiche CBR du GAL avec 25% du poids de concassé 0/31.5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION					
ESSAI CBR							
Date de prélèvement		Nature		GAL+25% de concassé 0/31,5			
Date de l'essai	01/12/2020	Localisation					
		Opérateur		ASSOLOU			
Etat initial de l'échantillon							
Masse sol humide (g)	489	469	8,45				
Masse sol sec (g)	455	438					
Teneur en eau de compactag (%)	8,4	8,5					
Etat de l'échantillon avant et après imbibition							
Durée d'immersion							
Numéro du moule	A	B	C				
Nombre de coups	56 COUPS	25 COUPS	10 COUPS				
Masse totale humide (g)	8911	8815	8575				
Masse du moule (g)	3743	3810	3844				
Masse du sol humide (g)	5112	4860	4607				
Volume du moule (cm ³)	2104	2104	2104				
Densité humide	2,43	2,31	2,19				
Densité sèche (g/cm ³)	2,24	2,13	2,02				
PONÇONNEMENT							
	56 COUPS		25 COUPS		10 COUPS		
Enfoncement (mm)	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	
	0	0	0		0		
1,25	0,69		0,4		0,15		
2	0,99		0,53		0,21		
2,5	1,11	22,4	0,65	13,15	0,24	4,91	
5	1,9	38,29	0,97	19,59	0,35	7,12	
7,5							
10							
Calcul de l'indice portant	2,5mm:Icbr =	167,79	2,5 mm:Icbr=	98,5	2,5 mm:Icbr=	36,8	
	5mm:Icbr =	192,1	5mm:Icbr =	98,3	5mm:Icbr =	35,7	
	Icbr Max =	192	Icbr Max =	98,5	Icbr Max =	36,8	

Annexe 38: Fiche CBR du GAL avec 30% du poids de concassé 0/31.5

		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION					
ESSAI CBR							
Date de prélèvement		Nature		GAL+30% de concassé 0/31,5			
Date de l'essai	01/12/2020	Localisation					
		Opérateur		ASSOLOU			
Etat initial de l'échantillon							
Masse sol humide (g)	457	484	8,65				
Masse sol sec (g)	423	449					
Teneur en eau de compactag (%)	8,5	8,8					
Etat de l'échantillon avant et après imbibition							
Durée d'immersion							
Numéro du moule	A	B	C				
Nombre de coups	56 COUPS	25 COUPS	10 COUPS				
Masse totale humide (g)	9062	8892	8458				
Masse du moule (g)	3851	3881	3810				
Masse du sol humide (g)	5154	4897	4639				
Volume du moule (cm ³)	2104	2104	2104				
Densité humide	2,45	2,33	2,20				
Densité sèche (g/cm ³)	2,25	2,14	2,03				
PONÇONNEMENT							
		56 COUPS		25 COUPS		10 COUPS	
Enfoncement (mm)	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	
	0	0	0	0	0		
1,25	0,3		0,22		0,09		
2	0,45		0,34		0,12		
2,5	0,56	11,34	0,42	8,53	0,14	2,9	
5	0,99	19,99	0,74	14,96	0,21	4,3	
7,5							
10							
Calcul de l'indice portant	2,5mm:Icbr =	84,9438	2,5 mm:Icbr=	63,9	2,5 mm:Icbr=	21,7	
	5mm:Icbr =	100,3	5mm:Icbr =	75,1	5mm:Icbr =	21,6	
	Icbr Max =	100,3	Icbr Max =	75,1	Icbr Max =	21,7	

Annexe 39: Fiche CBR du GAL avec 20% du poids de concassé 0/20

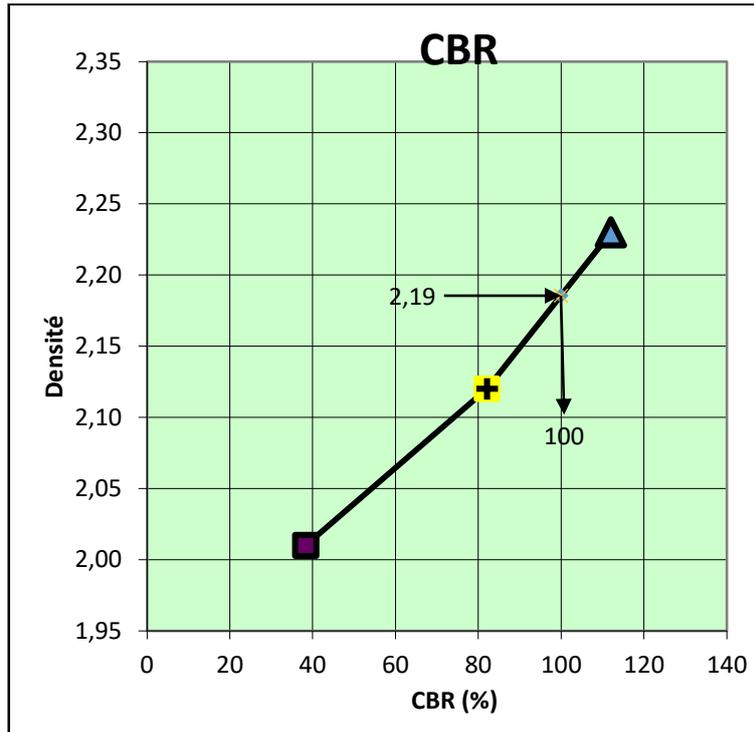
		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION					
ESSAI CBR							
Date de prélèvement		Nature		GAL+20% de concassé 0/20			
Date de l'essai	04/12/2020	Localisation					
		Opérateur		ASSOLOU			
Etat initial de l'échantillon							
Masse sol humide (g)	476	458	7,85				
Masse sol sec (g)	445	429					
Teneur en eau de compactag (%)	7,9	7,8					
Etat de l'échantillon avant et après imbibition							
Durée d'immersion							
Numéro du moule	A	B	C				
Nombre de coups	56 COUPS	25 COUPS	10 COUPS				
Masse totale humide (g)	8862	8755	8355				
Masse du moule (g)	3734	3726	3784				
Masse du sol humide (g)	5080	4817	4571				
Volume du moule (cm ³)	2104	2104	2104				
Densité humide	2,41	2,29	2,17				
Densité sèche (g/cm ³)	2,24	2,12	2,01				
PONÇONNEMENT							
	56 COUPS		25 COUPS		10 COUPS		
Enfoncement (mm)	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	
0	0		0		0		
1,25	0,3		0,18		0,11		
2	0,53		0,36		0,18		
2,5	0,65	13,15	0,5	10,14	0,22	4,51	
5	1,11	22,4	0,75	15,16	0,31	6,32	
7,5							
10							
Calcul de l'indice portant	2,5mm:Icbr =	98,5019	2,5 mm:Icbr=	76,0	2,5 mm:Icbr=	33,8	
	5mm:Icbr =	112,4	5mm:Icbr =	76,1	5mm:Icbr =	31,7	
	Icbr Max =	112,4	Icbr Max =	76,1	Icbr Max =	31,7	

Annexe 40: Fiche CBR du GAL avec 25% du poids de concassé 0/20

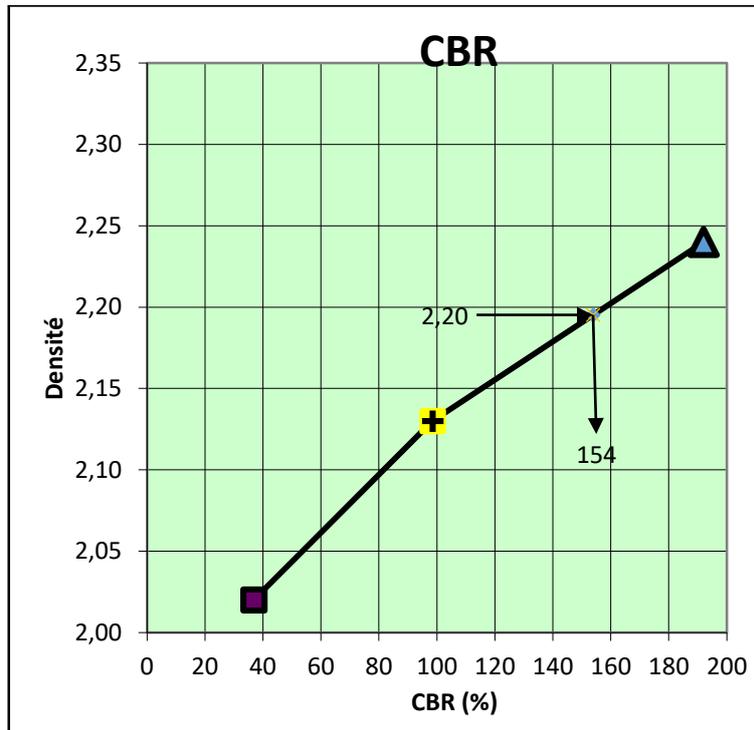
		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION					
ESSAI CBR							
Date de prélèvement				Nature		GAL+25% de concassé 0/20	
Date de l'essai		04/12/2020		Localisation			
				Opérateur		ASSOLOU	
Etat initial de l'échantillon							
Masse sol humide (g)		452		477		7,9	
Masse sol sec (g)		423		447			
Teneur en eau de compactag (%)		7,9		7,9			
Etat de l'échantillon avant et après imbibition							
Durée d'immersion							
Numéro du moule		A		B		C	
Nombre de coups		56 COUPS		25 COUPS		10 COUPS	
Masse totale humide (g)		8911		8757		8255	
Masse du moule (g)		3736		3738		3784	
Masse du sol humide (g)		5107		4857		4471	
Volume du moule (cm ³)		2104		2104		2104	
Densité humide		2,43		2,31		2,13	
Densité sèche (g/cm ³)		2,25		2,14		1,97	
PONÇONNEMENT							
		56 COUPS		25 COUPS		10 COUPS	
Enfoncement (mm)		Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN
0		0		0		0	
1,25		0,48		0,29		0,15	
2		0,75		0,48		0,22	
2,5		0,88	17,78	0,6	12,15	0,32	6,52
5		1,32	26,62	0,81	16,37	0,45	9,13
7,5							
10							
Calcul de l'indice portant		2,5mm:Icbr =	133,184	2,5 mm:Icbr=	91,0	2,5 mm:Icbr=	48,8
		5mm:Icbr =	133,6	5mm:Icbr =	82,1	5mm:Icbr =	45,8
		Icbr Max =	133,6	Icbr Max =	91	Icbr Max =	48,8

Annexe 41: Fiche CBR du GAL avec 30% du poids de concassé 0/20

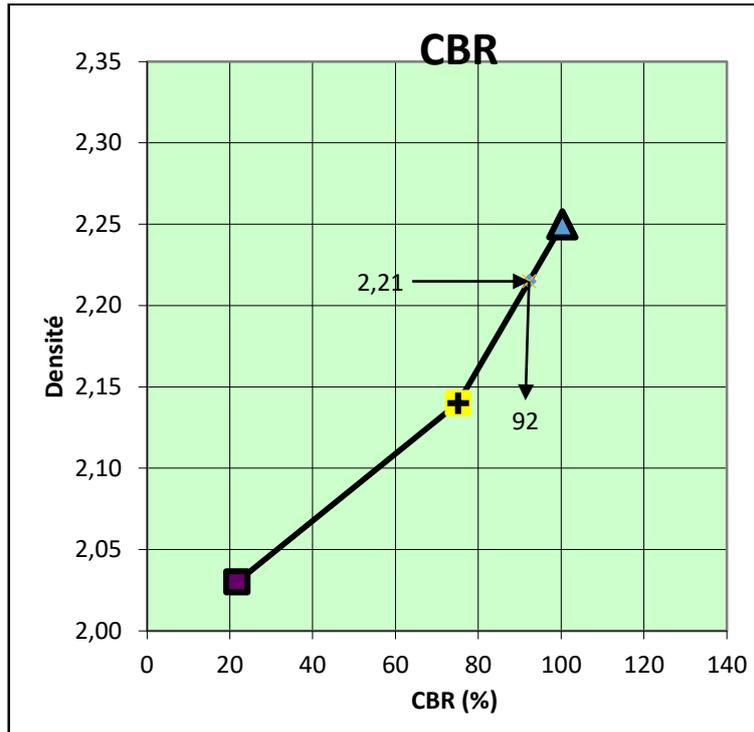
		INFLUENCE DU TAUX ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES CONCASSES DANS LA LITHO STABILISATION					
ESSAI CBR							
Date de prélèvement		Nature		GAL+30% de concassé 0/20			
Date de l'essai	04/12/2020	Localisation					
		Opérateur		ASSOLOU			
Etat initial de l'échantillon							
Masse sol humide (g)		492		436	7,95		
Masse sol sec (g)		460		409			
Teneur en eau de compactag (%)		7,9		8			
Etat de l'échantillon avant et après imbibition							
Durée d'immersion							
Numéro du moule		A		B		C	
Nombre de coups		56 COUPS		25 COUPS		10 COUPS	
Masse totale humide (g)		8969		8781		8589	
Masse du moule (g)		3758		3738		3801	
Masse du sol humide (g)		5158		4897		4639	
Volume du moule (cm ³)		2104		2104		2104	
Densité humide		2,45		2,33		2,20	
Densité sèche (g/cm ³)		2,27		2,16		2,04	
PONÇONNEMENT							
		56 COUPS		25 COUPS		10 COUPS	
Enfoncement (mm)		Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN	Lecture dynam. (mm)	Effort kN
	0	0		0		0	
1,25		0,36		0,19		0,09	
2		0,52		0,32		0,18	
2,5		0,69	13,96	0,45	9,13	0,22	4,51
5		0,89	17,98	0,72	14,56	0,31	6,32
7,5							
10							
Calcul de l'indice portant		2,5mm:Icbr =	104,569	2,5 mm:Icbr=	68,4	2,5 mm:Icbr=	33,8
		5mm:Icbr =	90,2	5mm:Icbr =	73,1	5mm:Icbr =	31,7
		Icbr Max =	104,5	Icbr Max =	73,1	Icbr Max =	33,8



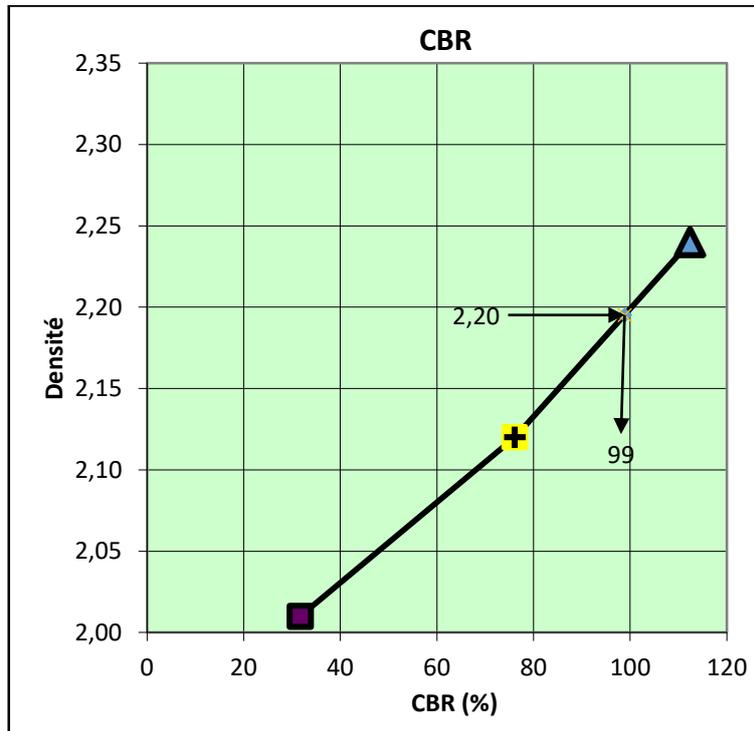
Annexe 42: Courbe CBR, GAL +20% du poids de concassé de granite 0/31.5 marqué à 98% de l'OPM



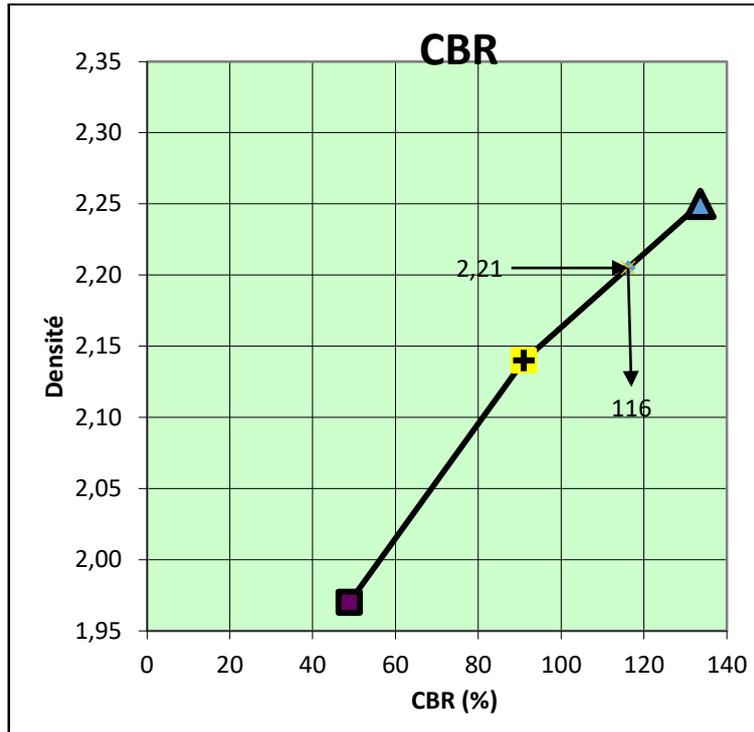
Annexe 43: Courbe CBR, GAL +25% du poids de concassé de granite 0/31.5 marqué à 98% de l'OPM



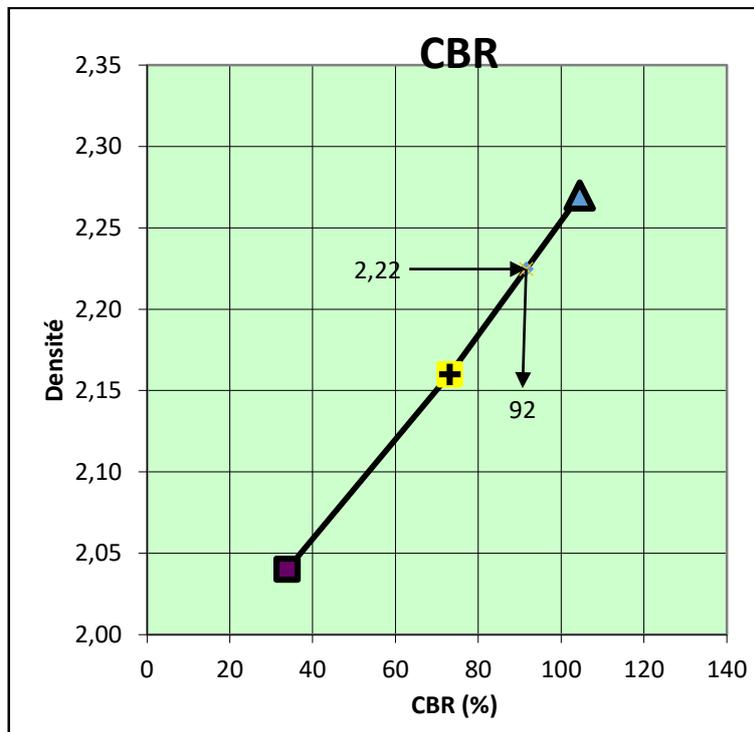
Annexe 44: Courbe CBR, GAL +30% du poids de concassé de granite 0/31.5 marqué à 98% de l'OPM



Annexe 45: Courbe CBR, GAL +20% du poids de concassé de granite 0/20 marqué à 98% de l'OPM



Annexe 46: Courbe CBR, GAL +25% du poids de concassé de granite 0/20 marqué à 98% de l'OPM



Annexe 47: Courbe CBR, GAL +30% du poids de concassé de granite 0/20 marqué à 98% de l'OPM