MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN MASTER II

THEME :

« Etudes techniques des différentes techniques d'amélioration d'une couche de base : Cas de l'amélioration au concassé à l'échangeur Nord de Ouagadougou »

Mémoire pour l'obtention du :

MASTER EN GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

OPTION : ROUTES ET OUVRAGES D'ARTS

Présenté et soutenu publiquement en Janvier 2018 par

SAWADOGO Maxime

Travaux dirigés par : Madame Marie Thérèse Marame MBENGUE

Promotion 2016-2017

Institut International d'Ingénierie Rue de la Science - 01 BP 594 - Ouagadougou 01 - BURKINA FASO
Tél. : (+226) 50. 49. 28. 00 - Fax : (+226) 50. 49. 28. 01 - Mail : 2ie@2ie-edu.org - **www.2ie-edu.org**

DEDICACE

- A mes parents SAWADOGO Jean-Pierre et OUEDRAOGO Cécile, pour le sacrifice énorme consenti à ma formation ;
- A mes frères Elie, Bernard et à ma sœur Evelyne pour les encouragements perpétuels, le soutien moral, et la joie qu'ils m'apportent ;
- A tous mes amis et camarades pour le soutien et la générosité indéfectible.

REMERCIEMENTS

Je voudrais tout d'abord adresser mes remerciements les plus sincères à :

- ✓ Monsieur Robin TESTOT-FERRY chef de l'agence SOGEA-SATOM Burkina pour m'avoir permis d'effectuer ce stage de fin de cycle dans l'entreprise.
- ✓ Monsieur M. Henri NEMARO, mon Maitre de stage pour sa disponibilité et son accueil.
- ✓ Madame Marie Thérèse Marame MBENGUE, ma Directrice de mémoire pour l'assistance de la rédaction et les directives de mon mémoire.
- ✓ Monsieur Edouard Ahmed BADO pour m'avoir offert cette opportunité de faire mon stage à SOGEA SATOM.

Enfin j'adresse mes remerciements à :

- ✓ Mes parents, frères, sœurs et toute la grande famille SAWADOGO.
- ✓ Tous mes amis et Camarades de 2IE pour l'ambiance et l'esprit de paix qu'ils ont su préserver au sein de l'Institut.

Que Dieu vous le rende au centuple et vous comble de sa grâce chaque jour de votre vie.

RESUME

La question de disponibilité de matériaux de viabilité se pose de plus en plus avec acuité dans les projets routiers de nos jours. Cet état de fait a conduit vers des techniques d'amélioration des performances de matériaux utilisables en couche de chaussée.

La lithostabilisation est l'une des techniques qui consiste à améliorer la portance des graveleux latéritiques utilisés en assise des chaussées par adjonction de quantité de concassé de granite déterminées en conséquence.

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 de la recherche. Les essais de compactages à savoir l'essai Proctor modifié et l'essai CBR ont été réalisés sur plusieurs mélanges de latérite et de concassé de granite.

Des analyses de l'évolution de la densité sèche de la latérite améliorée au concassé ont montré que la densité sèche maximale est atteinte pour une amélioration à 20% de concassé de granite. Des analyses de variation de portances de la latérite améliorée au concassé de granite ont montré que la portance est maximale pour une amélioration à 25% de concassé de granite.

L'application de cette technique au cas du projet d'étude a permis de montrer que l'utilisation de la latérite lithostabilisée en couche de base donne des résultats satisfaisants.

ABSTRAT

Sustainability materials availability question is more acute in road projects today. This fact led to technical improvements of materials usable performance in pavement layer.

Lithostabilization is a technique which is to improve the bearing lateritic gravel used in pavement base by adding the amounts of crushed granite determined accordingly.

Tests on the grave clay laterite and granite crushed one hand and on the serious lateritic clay have shown that the materials to study well satisfy the conditions set in the tender requirements technical research. Tests of compaction namely modified Proctor and CBR test has been made on several mixtures of laterite and granite crushed. Analyzes the evolution of the dry density of the improved crushed laterite showed that the maximum dry density is reached for an improvement of 25% of crushed granite. Analyzes bearing capacities variations respectively of the improved laterite crushed granite have shown that the lift is maximum for an improvement to 25% of crushed granite.

The application of techniques to the case of the research project has shown that the use of natural laterite base layer gives satisfactory results.

LISTEDESABREVIATIONS

SATOM : Société Anonyme des Travaux d'Outremer

AGEIM : Agence d'étude d'Ingénierie et de maitrise d'œuvre

CBR: California Bearing Ratio test;

Cc : Coefficient de courbure ;

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

CPT : Cahier des Prescriptions Techniques ;

Cu : Coefficient d'uniformité ;

ES : Equivalent de Sable ;

GAL : Grave Argileuse Latéritique ;

Ip : Indice de plasticité ;

LA : Los Angeles ;

LNBTP : Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics ;

OPM : Optimum Proctor Modifié ;

PK : Point Kilométrique ;

PTAC : Poids Total Autorisé en Charge ;

RN: Route Nationale ;

$\mathbf{W_L}$: Limite de Liquidité ;

Wp : Limite de Plasticité ;

TTC: Toutes Taxes Confondues.

AASHTO: Association State Highway and Transportation Official

OH : Ouvrage Hydraulique

DBA : Dispositif de Barrière Autoroutière

SOMMAIRE

DEDICACE I
REMERCIEMENTS II
RESUME III
ABSTRAT IV
LISTEDESABREVIATIONS V
Liste des figures VIII
Liste des tableaux VIII
INTRODUCTION 1
Chapitre 1 : Généralités sur le Projet de l'échangeur Nord de Ouagadougou : 3
I. Présentation du projet 4
1. Présentation 4
2. Description du projet d'étude 5
II. Présentation des acteurs du projet 6
1. Détails des intervenants 6
2. L'entreprise principale 6
Chapitre 2 : Généralité sur sur la construction routière : 9
I. Définition d'une chaussée 10
1. Les chaussées souples ou flexibles 10
2. Les chaussées semi-rigides 10
3. Les chaussées rigides 11
II. Les paramètres de conception routière 11
1. Le trafic 11
2) La portance du sol support : 12
3) Principe de dimensionnement des chaussées : 13
Chapitre 3 : Etudes et interpretations des résultats de la lithosatibilisation : 15
I. Etude technique 16
1. Historique de la lithostabilisation 16
2) Les techniques de mise en œuvre de la lithostabilisation : 16
II. Etude Expérimentale 18
1) Propriétés des matériaux à utiliser : 18
2) Essais sur le grave argileux latéritique (GAL) : 19

a) Définition :.....19
b) Essais d'identification.....19
c) Essais de compactage 21
3) Essais sur le concassé de granite :.....24
4) Essais sur la grave argileuse latéritique (GAL) améliorée au concassé de granite à plusieurs dosages : 25
III. Interprétations des résultats 27
1) Evolution de la densité sèche en fonction du taux d'amélioration : 27
2) Evolution de la portance CBR en fonction du taux d'amélioration :.....28
Chapitre 4 : Dimensionnement de la chaussée 30
I. Dimensionnement de la chaussée RN2 31
1) Structure de la chaussée: 31
2) Déroulement des calculs 32
a) Méthode CEBTP 32
Choix du type de sol et des différentes épaisseurs des couches de chaussée :.....32
b. Calcul de contraintes et de déformations admissibles 35
Cas du sol support.....35
Cas du grave bitume 36
c. Vérification par le logiciel Alizé III du LCPC.....38
CONCLUSION.....41
BIBLIOGRAPHIE 42

Liste des figures

Figure 1: Vue de l'échangeur....4
Figure 2: Gama Densimètre....17
Figure 3: Courbe granulométrique de la GAL....20
Figure 4: Courbe Proctor Modifié de la GAL....22
Figure 5:Courbe CBR GAL....24
Figure 6:Courbe granulometrique du concassé de granite....25
Figure 7 : Courbe proctor aux différents taux d'amélioration....26
Figure 8 : Evolution de la densité sèche optimale en fonction du taux d'amélioration....28
Figure 9: Evolution de la portance CBR en fonction du taux d'amélioration....29
Figure 10: Structure de la chaussée....38
Figure 11: Déformation admissible....39

Liste des tableaux

Tableau 1: Intervenants du projet....6
Tableau 2:Catégorie de trafic....12
Tableau 3: Classe de sol en fonction du CBR....13
Tableau 4:Valeurs de déflexions caractéristiques en fonction des couches de chaussées.....18
Tableau 5: Caractéristiques des matériaux selon le CPT....18
Tableau 6: Limite d'Atterberg de la GAL....21
Tableau 7: Résultats de l'essai Proctor modifié....22
Tableau 8:Résultats de l'essai de Portance CBR sur la GAL....23
Tableau 9: Récapitulatif du résultat de l'essai CBR sur la GAL....24
Tableau 10:Récapitulatifdes résultats des essais sur les mélanges....27
Tableau 11: Classe de sol et CBR....31
Tableau 12: Formules d'expression du trafic (source CEBTP, 1984)....32
Tableau 13: les différentes variantes et épaisseurs des différentes couches de chaussées.....33
Tableau 14: Variantes optimales et choix des épaisseurs des différentes couches.....34
Tableau 15: Variante retenue....35

INTRODUCTION

La route est un facteur de communication, de transport, de développement socio-économique et d'intégration sous régionale et régionale. Le dimensionnement d'une route intègre plusieurs paramètres parmi lesquels l'on peut citer : la portance du sol support et le trafic que la route est destinée à recevoir puis la disponibilité des matériaux de viabilité. La question de disponibilité de matériaux de viabilité est celle qui se pose de plus en plus avec acuité dans les projets routiers soit à cause de leur qualité, soit à cause de la distance d'exploitation.

Problématique :

Les graveleux latéritiques ont été largement utilisés pour l'exécution des assises de chaussées au Burkina-Faso 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.

Hypothèses:

La solution de graveleux latéritique amélioré au ciment est celle qui a longtemps prévalu en Afrique sub-saharienne. Cependant elle a montré ses 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 concassage. 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'amélioration au ciment.

Objectif général:

Trouver des matériaux reconstitués répondant aux caractéristiques des routes exigées dans les Cahiers des Prescriptions Techniques (CPT).

Objectifs spécifiques :

- ✓ Analyser les performances des chaussées dont l'assise est constituée de matériau latéritique amélioré par la technique de la litho-stabilisation;
- ✓ Déterminer le pourcentage de concassé qui donnerait une meilleure portance aux couches d'assise routière ;
- ✓ Appliquer les techniques par un dimensionnement.

Chapitre 1
• GENERALITES SUR LE PROJET DE L'ECHANGEUR NORD DE OUAGADOUGOU

I. Présentation du projet

1. Présentation

Le projet s'inscrit dans le cadre des stratégies développées par l'État burkinabè en vue d'assurer la fluidité du trafic urbain notamment à Ouagadougou dans le cadre de la SCADD (Stratégie de Croissance Accélérée et du Développement Durable).

Le projet concerné est l'échangeur du Nord de Ouagadougou dont l'aménagement vise d'une part, à permettre une bonne structuration du réseau de voiries urbaines de la ville de Ouagadougou et d'autre part, à décongestionner la circulation sur certains axes routiers dont notamment la RN02 (Av du Naam et Av NabaZidwende), la RN22 (Av PagaTenga) et le Boulevard des Tansoaba qui se rencontrent au niveau du pont de Baskuy.

Ce projet permettra :

- ✓ d'améliorer la circulation à l'intérieur de Ouagadougou par le prolongement du Boulevard, Circulaire à travers le quartier Tanghin et en direction de l'aéroport ;
- ✓ d'obtenir un gain de temps considérable pour les usagers ;
- ✓ d'accroître la sécurité routière ;
- ✓ de contribuer à améliorer le bien-être et la productivité des habitants de la capitale ;
- ✓ de faciliter le déplacement des populations des communes de Signoghin, Baskuy, Nongremassom et Kamboisin, etc. qui ont une population de plus de 800 000 habitants.
- ✓ le passage d'une voie à l'autre parmi celles qui sont sécantes entre elles ;
- ✓ d'assurer le même fonctionnement des barrages N°1 et N°2 que dans leur état actuel.

Figure 1: Vue de l'échangeur

Source : Dossiers de plans de l'avant-projet détaillé

2. Description du projet d'étude

- Situation de la zone du projet

La zone du projet est située au Nord-Ouest de la ville de Ouagadougou. Les quartiers concernés par le projet sont principalement :

- Les secteurs 8 (Hamdalaye,) et 9 (Kolog-Naba) dans le 2ème arrondissement,
- Les secteurs 14 (Nonsin) et 16 (Tampouy) dans le 3ème arrondissement,
- Le secteur 17 dans le 4ème arrondissement.

Les sites concernés par le projet sont :

- du carrefour central ;
- du carrefour Ouest ;
- du carrefour Est ;
- du carrefour Nord ;
- du passage à niveau Ouest ;
- du passage à niveau Nord ;
- de l'avenue du Larlé Naba Abga sur la Route Nationale N°02 ;
- de l'avenue Paga-Tenga sur la Route Nationale N°22 ;
- du Boulevard Tansoba Kanga ;
- de la voie de délestage ainsi que les voies de déviations ;
- des barrages N°1 et N°2 ;
- du déversoir du barrage N°1 ;
- de la voie ferrée Ouagadougou-Kaya.

II. Présentation des acteurs du projet

1. Détails des intervenants

Les intervenants principaux dans ce projet sont identifiés et synthétisés dans le tableau ci-après :

Tableau 1: Intervenants du projet

N°	Raison sociale	Responsabilités
1	Ministère des Infrastructures, du Désenclavement et des Transports	Maître d'Ouvrage
2	Direction Générale des Ouvrages d'Art (D.G.O.A)	Maître d'Ouvrage délégué
3	AGEIM Ingénieurs Conseils	Maître d'œuvre (contrôle et surveillance des travaux)
4	SOGEA SATOM	Entrepreneur
5	Bank of Africa – Burkina Faso	Banque

Source : Plan d'assurance qualité du projet de l'échangeur du Nord

La banque représente un acteur dans le partenariat public privé dans le cadre de ce projet.

2. L'entreprise principale

- **Situation internationale de l'entreprise SOGEA SATOM**

L'entreprise SOGEA SATOM fait partie du groupe VINCI et résulte de la fusion de deux entreprises : l'entreprise SOGEA et l'entreprise SATOM.

Le groupe VINCI est subdivisé en quatre (4) grands sous-groupes : VINCI concessions, VINCI Énergies, EUROVIA et VINCI constructions. L'entreprise SOGEA SATOM est la filiale internationale du sous-groupe VINCI constructions en Afrique.

Quelques chiffres clés du groupe VINCI sont :

- ✓ 127 000 salariés.
- ✓ 2 500 implantations.
- ✓ 100 000 chantiers par an dans plus de 80 pays.
- ✓ 17,6 milliards d'euros de chiffres d'affaires.
- ✓ 1067 millions d'euros de résultat d'exploitation.
- ✓ 478 millions d'euros de résultat net.
- ✓ 5 milliards d'euros de capitalisation boursière.
- ✓ L'action VINCI fait partie des indices CAC 40, Euronext 100, Dj Euro Stoxx et Next Prime.
- ✓ Historique de l'entreprise en Afrique

L'aventure africaine de SOGEA SATOM commence dès les années 1930, au Maroc, avec l'ouverture de l'usine Sidi Bouknadel et la fourniture des premiers tuyaux d'adduction d'eau de Rabat. Elle se poursuit en plein cœur du continent africain dès 1948, lorsque SOGEA s'implante au Gabon, puis en 1951, avec la signature des premiers contrats de travaux routiers de SATOM, au Niger et au Tchad.

En 1967, une fusion avec une autre filiale de SAINRAPT ET BRICE apporte de nouvelles implantations au Cameroun, au Tchad et en Algérie, et permet une orientation vers de grands chantiers.

Aujourd'hui, SOGEA SATOM confirme sa place parmi les chefs de file des entreprises internationales du BTP en Afrique. Elle est présente dans 26 pays du continent africain, divisé en 4 grandes zones : Maroc, Afrique de l'Ouest et Madagascar, Afrique centrale et de l'Est, Région Équateur.

- **Domaines d'activités**

Ses activités en Afrique embrassent des domaines divers du BTP et peuvent s'estimer comme suit, en termes de pourcentage des chiffres d'affaires :

- ✓ Part consacrée aux travaux Routiers et Terrassements : 50%
- ✓ Part consacrée aux travaux Hydrauliques et Environnement : 20%
- ✓ Part consacrée au Génie Civil : 20%
- ✓ Part consacrée au Bâtiment : 10%

- **Moyens humains**

A travers ses métiers traditionnels (travaux hydrauliques et routiers, génie civil et bâtiment), SOGEA SATOM emploie près de 10 000 personnes en Afrique dont 200 expatriés.

Moyens matériels

Avec un parc de matériel imposant dont la valeur est estimée à environ 250 000 M FCFA, SOGEA SATOM est sans doute devenue l'une des entreprises françaises les mieux connues en Afrique.

Quelques indicatifs de l'Entreprise :

- ✓ Vision Stratégique : Contribuer au développement des infrastructures du monde.
- ✓ Valeurs proclamées : Loyauté ; Professionnalisme ; Solidarité ; Ambition ; Responsabilité ; Sécurité ; Courage.

Agence SOGEA SATOM du Burkina Faso

L'agence du Burkina Faso compte actuellement 365 employés répartis suivant les corps de métiers suivants : topographe, maçon, manœuvre, menuisier, ferrailleur, poseur, magasinier, conducteur d'engin, de véhicule, plombier, gardien, cuisinier. Le personnel d'encadrement (locaux plus expatriés) compte une vingtaine d'agents. Ce personnel est variable suivant les chantiers et les besoins de l'entreprise.

Chapitre 2
• GENERALITES SUR LA CONSTRUCTION ROUTIERE

I. Définition d'une chaussée

Une chaussée est une surface spécialement aménagée, sur le sol ou sur un ouvrage pour le stationnement ou la circulation des personnes ou des véhicules. Son objet premier est d'assurer une viabilité et de permettre la circulation. Selon le mode de fonctionnement mécanique de la chaussée, nous avons des **chaussées souples**, des **chaussées semi rigides** et des **chaussées rigides.**

1. Les chaussées souples ou flexibles

Elles sont constituées d'une couche bitumineuse en surface au-dessus d'une couche de base et d'une couche de fondation en matériaux granulaires. La chaussée souple distribue les efforts de surface à travers les couches de base et de fondation. Cette distribution se fait de façon à ce que l'effort sur la plateforme soit compatible avec la résistance de l'infrastructure et du sol support. La caractéristique d'une chaussée flexible est son aptitude de se déformer sans se fissurer.

2. Les chaussées semi-rigides

Une chaussée semi rigide est une chaussée avec une couche de surface en béton bitumineux reposant sur une couche de base en matériaux stabilisés aux liants hydrauliques et une couche de fondation granulaire. La couche bitumineuse assure :

- ✓ La qualité d'uni de surface ;
- ✓ La limitation de la remontée des fissures transversales de la couche de matériaux traités en liants hydrauliques.

La couche de base diffuse et attenue les efforts transmis de par sa rigidité élevée offerte par le liant hydraulique.

3. Les chaussées rigides

Elles sont constituées d'une dalle de béton en ciment portland reposant directement sur la couche de fondation ou sur la couche de forme. La dalle de béton joue un double rôle : elle est à la fois la surface de roulement et la couche de base. Elle repartit les efforts de surface dus aux charges de cisaillement sur une large surface afin d'éviter une déformation sur la couche de fondation ou sur l'infrastructure.

II. Les paramètres de conception routière

La construction d'une route de qualité implique plusieurs paramètres. C'est pourquoi, bien que la mission de l'étude soit l'amélioration de l'assise de la chaussée, il est jugé indispensable de présenter brièvement les paramètres sans lesquels une route construite ne pourrait être pérenne :

- Le trafic ;
- La portance du sol support ;
- Le principe de dimensionnement de la chaussée.

1. Le trafic

Trafic est un facteur très déterminant dans le dimensionnement d'une route. Il peut être défini comme le nombre de véhicules qui passent dans une unité de temps sur une route. Le nombre de véhicules utilisés progresse continuellement et le trafic prend de proportions géantes entraînant ainsi de problèmes très complexes. Le trafic intervient dans la détermination des caractéristiques des profils en travers et de la résistance de la chaussée.

Selon le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (source CEBTP, 1984), il existe cinq classes de trafic qui figurent dans le tableau ci-après.

Tableau 2:Catégorie de trafic

Catégorie de trafic proposé	CLASSE DE TRAFIC		
	1	2	3
	Nombre journalier de véhicules (véh/j)	Nombre cumulé de poids lourds(P.L)	Nombre cumulé d'essieux équivalents de 13T (EE13T)
T1	$100 \leq T < 300$	$1x10^5 \leq T < 5x10^5$	$1x10^5 \leq T < 5x10^5$
T2	$300 \leq T < 1000$	$5x10^5 \leq T < 1,5x10^6$	$5x10^5 \leq T < 1,5x10^6$
T3	$1000 \leq T < 3000$	$1,5x10^6 < T < 4x10^6$	$1,5x10^6 < T < 4x10^6$
T4	$3000 \leq T < 6000$	$4x10^6 \leq T < 1,5x10^7$	$4x10^6 \leq T < 1,5x10^7$
T5	$6000 \leq T < 12000$	$1,5x10^7 \leq T < 2x10^7$	$1,5x10^7 \leq T < 2x10^7$

Ces classes de trafic retenues sont définies de plusieurs façons en fonction des degrés de précisions des données disponibles :

- Trafic journalier toutes catégories de véhicules confondues ;
- Trafic cumulé de poids lourds ;
- Trafic cumulé calculé selon les équivalences d'essieux tirées des essais Américain Association State Highway and Transportation Official (AASHTO) par LIEDDLE (1978).

Dans le guide pratique de dimensionnement des chaussées (CEBTP, 1980), le trafic et l'indice portant de la plate-forme sont les deux paramètres pour déterminer l'épaisseur à donner à la chaussée.

2) La portance du sol support :

La portance du sol support est un facteur très important dans la pérennité de la

route car quelle que soit la qualité des matériaux d'apport, le sol support constitue un vecteur de ruine de la route s'il est d'une très mauvaise qualité. L'étude du comportement de sols d'assise permet au niveau de matériaux de constructions de choisir le type de sol d'apport qui convient et éventuellement de prévoir un traitement du sol d'assise. Elle permet aussi le choix du type de fondations des ouvrages à réaliser.

Selon le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, il existe cinq classes de sols qui ont été retenues et correspondent à une répartition assez constante des diverses sols rencontrés en pays tropicaux (tableau 2 ci-dessous).

Tableau 3: Classe de sol en fonction du CBR

Classe de sol	CBR
S1	CBR≤5
S2	5<CBR≤10
S3	10<CBR≤15
S4	15<CBR≤30
S5	CBR≥30

3) Principe de dimensionnement des chaussées :

Une chaussée moderne est constituée par la superposition de couches de matériaux. Le schéma classique est le suivant :

- Couche de roulement ou de surface ;
- Couche de base ;
- Couche de fondation ;
- Couche de forme ;
- Sol support.

La détermination des matériaux constituant ces couches de la chaussée ainsi que leurs caractéristiques (épaisseurs, modules de YOUNG,…) pour que la route puisse tenir au niveau de trafic attendu pour la durée de vie projetée est ce que l'on appelle dimensionnement de la chaussée.

Le dimensionnement se fait usuellement par la méthode empirique en utilisant la

méthode CEBTP pour prédimensionner à l'aide des tableaux fournis par le *Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les pays tropicaux de 1984.* En effet, le but n'est pas de parler en détail des méthodes de dimensionnement mais de comprendre les paramètres pris en compte dans le dimensionnement de la chaussée.

Chapitre 3
• ETUDES ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS DE LA LITHOSTABILISATION

I. Etude technique

1. Historique de la lithostabilisation

La lithostabilisation 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 en conséquence.

Cette technique, utilisée de nos jours en Afrique subsaharienne est reconnue au Burkina-Faso. La technique a pour la première fois fait l'objet d'une étude au Laboratoire National de Bâtiment et de Travaux Publics (LNBTP) à l'occasion du projet d'aménagement de la route Ouagadougou/Yako (selon le livre *Les matériaux utilisés en construction routière en Haute- Volta – Un matériau non traditionnel « le Lithostab »* de **Pierre LOMPO,** Paris 1980).

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

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

2) Les techniques de mise en œuvre de la lithostabilisation :

La méthode de mise en œuvre adoptée est la suivante:

- Approvisionnement et épandage du graveleux latéritique à l'état naturel ; régalage ;
- 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 ;
- Malaxage de l'ensemble graveleux naturel et concassé, humidification et épandage du cordon par une recycleuse ;
- Compactage réalisé en grande partie au compacteur à pneu et parachevé au compacteur vibrant.

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

- **contrôle qualitatif des matériaux :**
  - ✓ sur le graveleux 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 sont réalisés. Les résultats doivent être conformes à ceux prescrits dans le CPT.

- **Contrôle de la mise en œuvre :**
  - ❖ **Granulométrie sur la lithostab:**

Au cours de la mise en œuvre, lorsque le mélange graveleux latéritique + concassé est jugé homogène et près à être répandu, régalé et compacté, des prélèvements sont effectués en plusieurs points ; des essais de granulométrie sont réalisés sur ces prélèvements afin d'une part de se rendre compte de l'homogénéité effective du mélange et d'autre part de tester le dosage en concassé. Le contrôle du compactage est réalisé à l'aide d'un Gama densimètre qui permet de mesurer la densité in situ de la couche testée.

Figure 2: Gama Densimètre

- ❖ Mesures de déflexions : Pour tester enfin la déformabilité des différentes structures, des mesures de déflexions à la poutre Benkelman sont réalisés sous essieu chargé à 13 tonnes. Les valeurs limites de déflexions acceptables au Burkina-Faso sont résumées dans le tableau 4 :

Tableau 4:Valeurs de déflexions caractéristiques en fonction des couches de chaussées.

Couches de chaussée	Valeurs de la déflexion caractéristique (D= m + 1,3σ) 1/100mm
Couche de roulement en BB	D ≤ 45
Couche de base	D ≤ 60
Couche de fondation	D ≤ 80

II. Etude Expérimentale

1) Propriétés des matériaux à utiliser :

Il ressort du Cahier des Prescriptions Techniques (CPT) du projet de l'Echangeur Nord de Ouagadougou (ENO) que la Grave Argileuse Latéritique (GAL) et le concassé de granite doivent répondre aux caractéristiques suivantes résumés dans le tableau 5 et les figures 2 et 3.

Tableau 5: Caractéristiques des matériaux selon le CPT

Matériau	Nature des essais	Résultats exigés
Matériaux latéritiques	Limites d'Atterberg	Indice de plasticité ≤ 15
		Limite de liquidité<35
	Proctor modifié	Densité sèche à l'OPM : γd ≥ 2,05 t/m3
	CBR à 4jours d'immersion dans l'eau	CBR (98%OPM) ≥ 80
Grave concassé	Los Angeles	LA<40
	Granularité	0/31.5 ou 12/40

2) Essais sur le grave argileux latéritique (GAL) :

a) Définition :

Le mot « Latérite » dérive du latin later, qui signifie brique. Ce terme a pour la fois été suggéré par Buchamen en 1807.

La latérite constitue un produit commun de l'altération des roches sous les climats tropicaux. Elle est essentiellement constituée d'oxydes de fer.

Du point de vue de l'ingénieur routier, on parle de **Graveleux latéritique** ou de **Grave Argileuse Latéritique**. Il s'agit d'un sol meuble de granulométrie 0/20 à 0/40 mm comportant de 10 à 35% de fines passant au tamis de 80µm et un « squelette » de 20 à 60% (refus au tamis de 2mm).

b) Essais d'identification

Avant de chercher à améliorer les caractéristiques de la grave argileuse latéritique (GAL), il est d'abord plus judicieux de connaitre le matériau. A cet effet, il sera question dans cette partie d'effectuer les essais d'analyse granulométrique par tamisage et les limites d'Atterberg.

- **L'analyse granulométrique** :

L'analyse granulométrique est un essai qui consiste à étudier la granulométrie du sol, c'est à dire la distribution des grains suivant leur dimension en déterminant par pesée l'importance relative des classes de grains de dimensions bien définies. Elle se fait par tamisage pour la fraction de sol dont le diamètre des grains est supérieur à 0,08 mm et par sédimentometrie pour la fraction de sol dont le diamètre des grains est inférieur à 0,100 mm.

Dans le cadre de notre étude, nous nous limiterons à l'analyse granulométrique par

tamisage, quel que soit le % de fines.

L'opération de tamisage a été effectuée à travers une colonne de tamis dont l'ouverture intérieure des mailles des tamis varie de 12,5 mm et soumise à des vibrations. Par définition, le diamètre d'une particule est égal à l'ouverture intérieure des mailles du plus petit tamis la laissant passer.

Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage sont reportés sur un diagramme appelé courbe granulométrique.

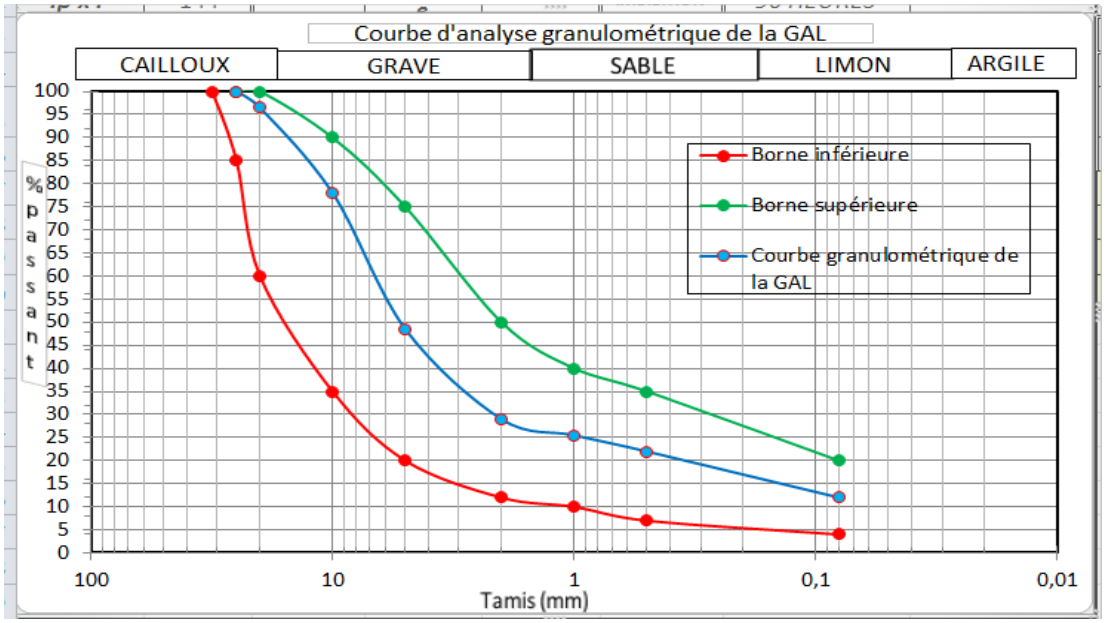


Figure 3: Courbe granulométrique de la GAL

Au regard de cette courbe, il ressort que la latérite naturelle a une répartition granulométrique qui est globalement comprise dans le fuseau granulométrique dicté par le CPT. Ce matériau peut donc être amélioré en vue d'être utilisé dans la couche d'assise de la chaussée.

- **Limites d'Atterberg**

L'essai a pour objet de déterminer les états de consistance d'un sol. La consistance

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

- **La limite de liquidité** :

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

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

- **Indice de plasticité** : il se déduit des limites par la différence.

Dans le cadre de cette étude, l'essai a donné les résultats qui figurent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6: Limite d'Atterberg de la GAL

Limites d'Atterberg	Valeurs obtenues	Valeurs maximales selon le CPT
Limite de liquidité WL en%	28	30
Limite de plasticité Wp en%	14.3	
Indice de plasticité : Ip=WL-Wp	13.7	15

c) Essais de compactage

- **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 permettent de tracer la courbe Proctor modifié du matériau. Il en ressort de cette courbe les valeurs de volumique apparente sèche ρ_{opt} et de la teneur en eau ω_{opt} à l'optimum Proctor.

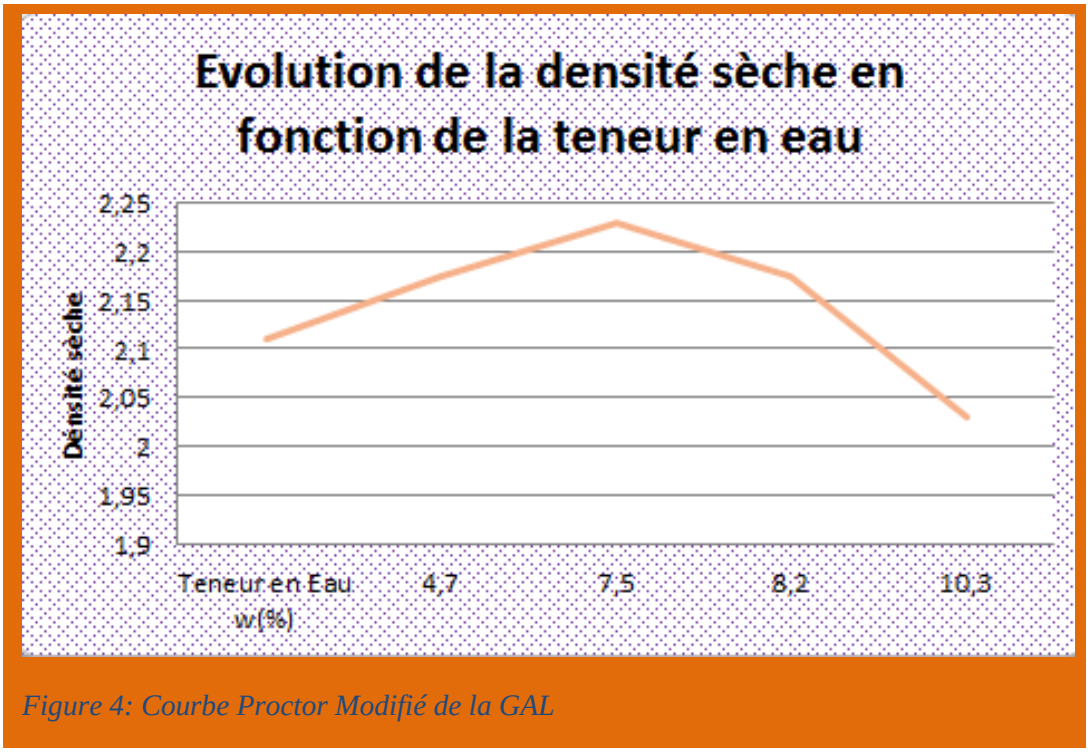


Figure 4: Courbe Proctor Modifié de la GAL

Les résultats obtenus pour cet essai sont résumés dans le tableau ci-dessus:

Tableau 7: Résultats de l'essai Proctor modifié

Essai Proctor modifié	Valeur obtenue	Valeur minimale selon le CPT
Teneur en eau à l'OPM (%)	7,6	
Densité sèche à l'OPM (g/cm3)	2,235	Supérieure ou égale à 2,05g/cm3

❖ Essai CBR (Californian Bearing Ratio test)

Faisant suite à l'essai Proctor, l'essai CBR est un essai de portance des remblais, du sol support, des couches de fondation et de bases compactées des ouvrages routiers. Il permet d'estimer la portance d'un sol en laboratoire. Il s'agit de déterminer expérimentalement des indices portants (IPI, CBR) qui permettent d'établir une classification des sols, d'évaluer la traficabilité des engins de terrassements (IPI) et de déterminer les épaisseurs des chaussées « si l'indice CBR augmente alors l'épaisseur

de la chaussée diminue » . Les résultats sont présentés sur une courbe montrant l'évolution de la force appliquée avec les déplacements ou déformations correspondantes; cette courbe d'essai est comparée à une courbe étalonnée (celle d'un sol de référence : tout venant de concassage). Trois paramètres sont mesurés en fonction des buts fixés :

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

Après le calcul des densités sèches des matériaux compactés à 56, 25 et 10 coups et le poinçonnement des trois moules imbibés pendant quatre jours, il a été déterminé la portance CBR à 95% de l'OPM résumé dans le tableau suivant :

Tableau 8:Résultats de l'essai de Portance CBR sur la GAL

Nombre de coups	Densité sèche (g/cm3)	Compacité	Teneur en eau (%)	
			Moulage	Essai
10 coups	2,025	90	7,1	14,1
25 coups	2,12	95	7,2	11,8
56 coups	2,23	98	7,1	9,6
	CBR (95%) =		61	

A partir de ces données, la courbe CBR ci-dessus a été tracée et elle illustre l'évolution de l'indice CBR du grave argileux latéritique (GAL) en fonction de la compacité (*figure5)* :

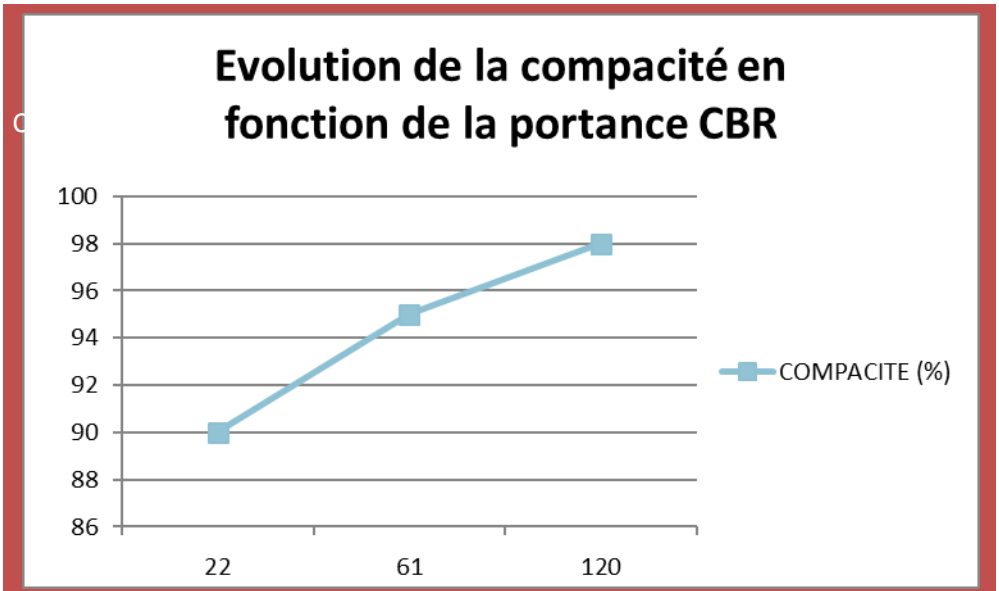


Figure 5:Courbe CBR GAL

La portance à 98% de l'OPM a été déterminée et figure dans le tableau suivant:

Tableau 9: Récapitulatif du résultat de l'essai CBR sur la GAL

Essais CBR	Valeur obtenue	Valeur minimale selon le CPT
CBR à 95% de l'OPM	61	50

La valeur de CBR trouvée à 95% de l'OPM vérifie la condition prescrite dans le CPT. Il y a donc nécessité d'améliorer ce matériau.

3) Essais sur le concassé de granite :

Le concassé de granite qui est destiné à être utilisé pour l'amélioration a été aussi soumis à plusieurs essais afin de connaitre ses différentes caractéristiques. Nous avons réalisé l'analyse granulométrique par tamisage sur la partie dont le diamètre des grains est supérieur à 0,08 mm, l'équivalent de sable sur les fines de ce concassé et l'essai Los Angeles.

- **L'analyse granulométrique par tamisage :**

Le concassé qui a été utilisé pour l'amélioration est de la classe 0/31,5. La répartition des proportions des grains en fonction des ouvertures de tamis est illustrée *figure 6* :

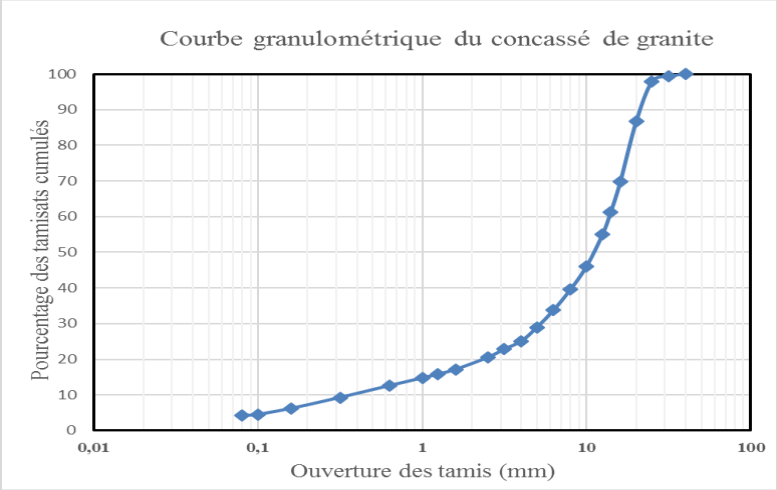


Figure 6: Courbe granulométrique du concassé de granite

- **Los Angeles :**

Le but de cet essai est de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs du concassé de granite qui servira à notre amélioration.

L'essai a consisté à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite par fragmentation, en soumettant le matériau à des chocs de boulets à l'intérieur d'un cylindre en rotation. L'essai a donné une masse sèche de 3760g ce qui nous donne un coefficient Los Angeles LA $= \frac{(5000-3760)}{5000} \times 100 \approx 25$ Équation 1:Los Angeles

LA < 40 : le matériau peut être utilisé pour la chaussée.

4) Essais sur la grave argileuse latéritique (GAL) améliorée au concassé de granite à plusieurs dosages :

Dans le souci d'améliorer de façon optimale les caractéristiques mécaniques des matériaux de moins bonne qualité utilisés dans la structure de chaussées, la stabilisation à différents dosages du concassé de granite de la grave argileuse latéritique a été effectuée ; car la qualité des matériaux a une influence non négligeable sur la qualité finale de la route. Notre souci est de densifier le matériau qui constituera l'assise de la chaussée. Les essais Proctor modifié et essai CBR ont été réalisés pour les dosages suivants : 15%, 20%, 25%, et 30% en masse totale de l'échantillon.

- **Essai Proctor modifié :**

Les matériaux prélevés sur le chantier passent d'abord par la section échantillonnage où les prises d'essais sont reparties d'une manière quasi équitable et représentative. Pour l'amélioration, les quantités de la grave argileuse latéritique et du concassé de granite sont pesées tout en tenant compte du taux d'amélioration. Les différents mélanges sont soumis à l'essai Proctor modifié et les différentes courbes Proctor de ces divers mélanges sont représentées ci-dessous :

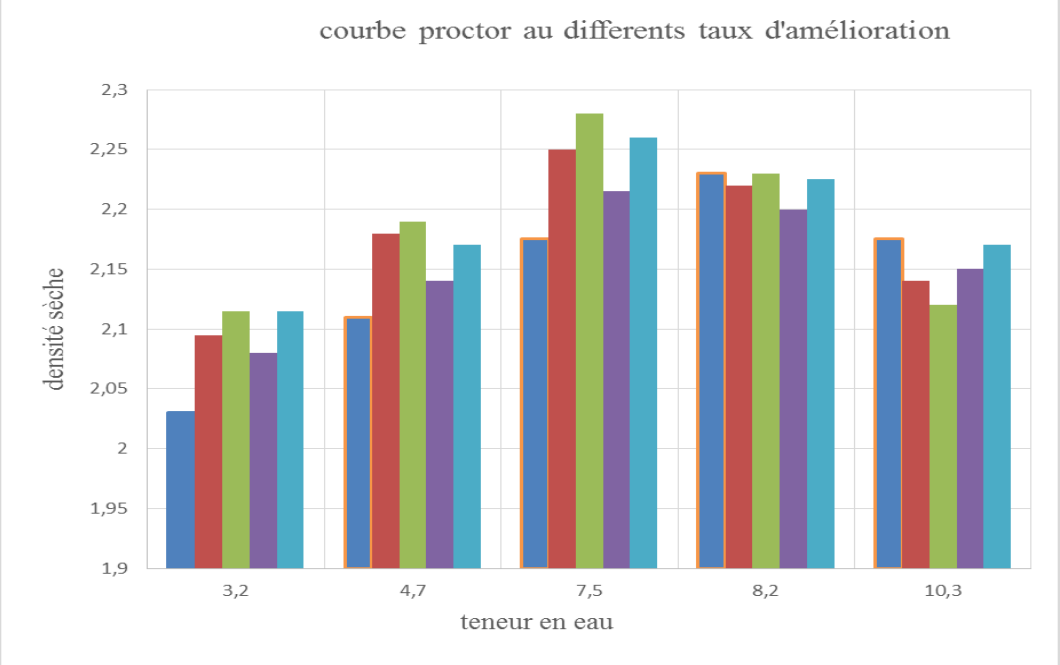
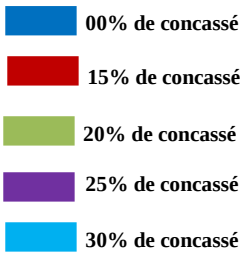


Figure 7 : Courbe proctor aux différents taux d'amélioration



- **Essai CBR :**

Comme pour l'essai Proctor modifié, les matériaux qui ont servi à l'essai CBR ont été pesés au préalable tout en respectant le taux d'amélioration**.** Après quatre jours d'immersion et poinçonnement des moules, les courbes CBR ont été tracées pour les différents échantillons de latérite améliorée à 15%, 20%, 25% et 30%.

Les indices CBR ont été déterminés à 95% et 98% de l'optimum Proctor modifié (OPM) et le tableau ci-dessous en donne un aperçu :

Tableau 10:Récapitulatifdes résultats des essais sur les mélanges

Matériau	CBR à 95% de l'OPM	CBR à 98% de l'OPM
GAL amélioré au concassé à 15%	73	140
GAL amélioré au concassé à 20%	92	155
GAL amélioré au concassé à 25%	74	170
GAL amélioré au concassé à 30%	90	160

III. Interprétations des résultats

1) Evolution de la densité sèche en fonction du taux d'amélioration :

L'essai Proctor modifié a été réalisé sur la GAL améliorée à plusieurs pourcentages de concassé de granite. Pour chaque mélange, la densité sèche à l'OPM a été déterminée. Le graphe ci-dessous donne l'évolution de la densité sèche en fonction du taux d'amélioration :

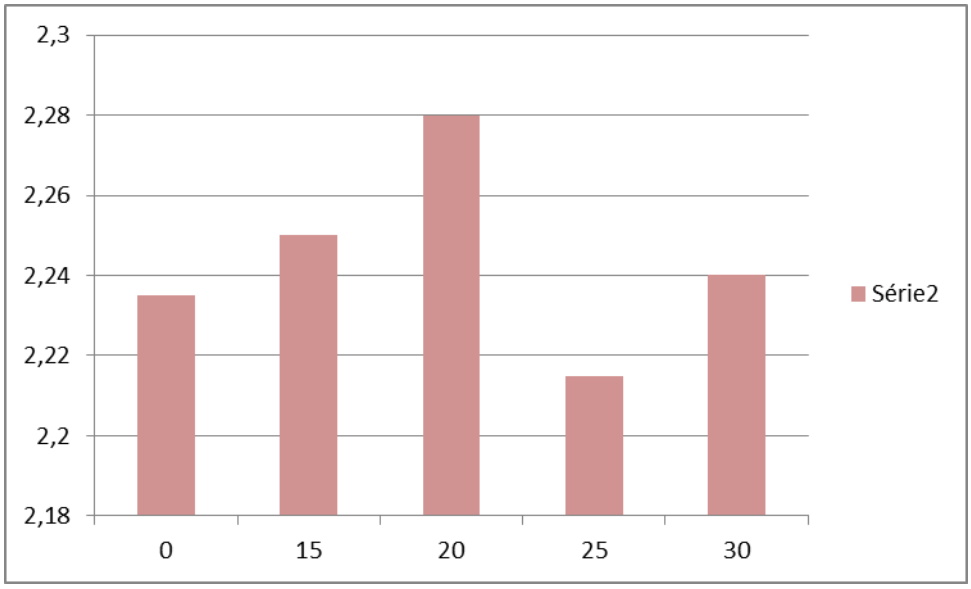


Figure 8: Evolution de la densité sèche optimale en fonction du taux d'amélioration

L'observation de cette courbe montre que la latérite une densité sèche maximale lorsqu'elle est améliorée avec 20% de concassé de granite.

L'amélioration de la latérite avec 20% de concassé de granite permet d'atteindre une densité sèche de 2,28 t/m^3. Ce résultat est supérieur à la densité sèche de la latérite naturelle qui est de 2,235 t/m^3 et donc plus favorable.

2) Evolution de la portance CBR en fonction du taux d'amélioration :

Le graphique ci-dessous donne l'évolution de la portance CBR à 95% et à 98% de l'OPM de la latérite améliorée à plusieurs pourcentages en fonction du taux d'amélioration:

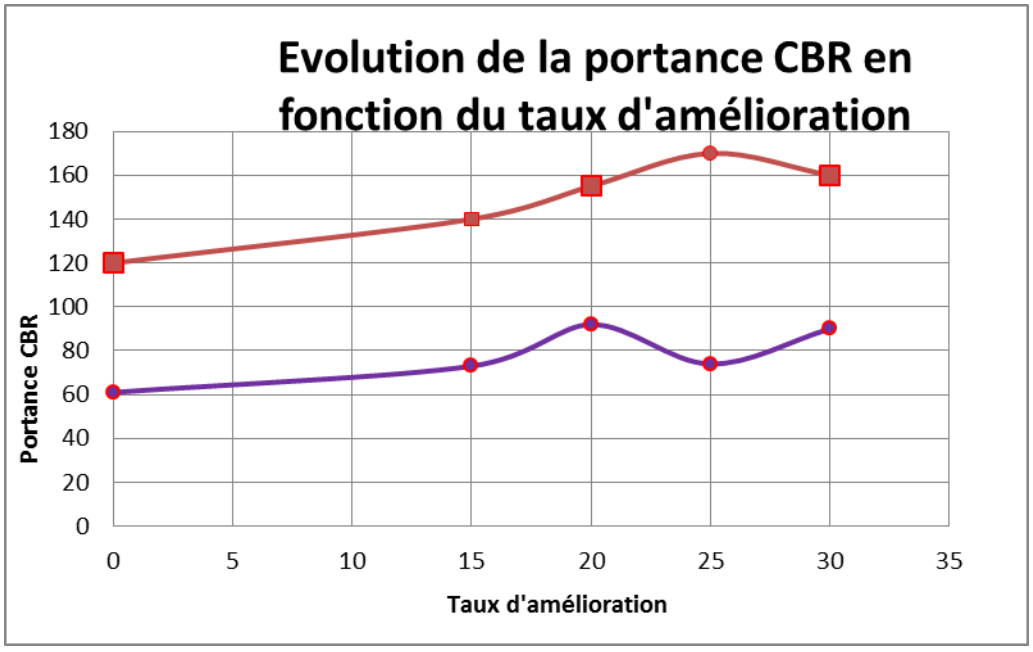


Figure 9: Evolution de la portance CBR en fonction du taux d'amélioration

Ces deux courbes montrent que la latérite restructurée atteint une portance maximale pour l'amélioration à 25% de concassé de granite à 98% de l'OPM et 20% de concassé de granite à 95% de l'OPM.

La latérite améliorée à 25% de concassé de granite atteint des indices CBR de 170 à 98% OPM et 74 à 95% OPM.

Conclusion :

L'amélioration de la latérite au concassé de granite à un taux de 25% avec une énergie de compactage à 98% de l'OPM est donc recommandée pour ce projet d'étude.

Chapitre 4
DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE ET ETUDE COMPARATIVE

I. Dimensionnement de la chaussée RN2

1) Structure de la chaussée:

Elle se présente de la manière suivante :

- Largeur de plate-forme 22 m ;
- Largeur de chaussée 14 m ;
- Pistes cyclables 4 x 2 m ;
- DBA de 60 cm

2) Portance du sol support :

Le sol support de la chaussée à étudier a un CBR de 22

Tableau 11: Classe de sol et CBR

Classe de sol	CBR
S1	CBR≤5
S2	5<CBR≤10
S3	10<CBR≤15
S4	15<CBR≤30
S5	CBR≥30

Le sol support est donc de classe **S4.**

3) Etude du trafic :

L'étude du trafic est une étape fondamentale pour le dimensionnement de la chaussée. Pour cette étude, il sera considéré, selon le CPT, un nombre d'essieux équivalent de 13 tonnes de 6.10^6 PL.

Le « guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux ou CEBTP de 1984 » donne les classes de trafic comme suit :

Tableau 12: Formules d'expression du trafic (source CEBTP, 1984)

Classe de trafic	N équivalent PL CEBTP	Trafic équivalent en Véh/j	Classe de plateforme CEBTP	
T1	$< 5.10^5$	< 300	S1	CBR < 5
T2	de 5.10^5 a $1{,}5.10^6$	de 300 a 1 000	S2	5 < CBR < 10
T3	de $1{,}5.10^6$ a 4.10^6	de 1 000 a 3 000	S3	10 < CBR < 15
T4	de 4.10^6 a 10^7	de 3 000 a 6 000	S4	15 < CBR < 30
T5	de 10^7 a 2.10^7	de 6 000 a 120 000	S5	CBR > 30

La classe de trafic du projet d'étude est donc **T4**.

2) Déroulement des calculs

Les calculs se feront en deux étapes:

D'abord par **la méthode empirique en utilisant la méthode CEBTP** : pour pré dimensionner à l'aide des tableaux fournis par le *Manuel pour le Renforcement des Chaussées Neuves en pays tropicaux* et ensuite faire une vérification par **la méthode rationnelle en utilisant le logiciel Alizé III du LCPC.**

a) Méthode CEBTP

La méthode **CEBTP** permet de déterminer les épaisseurs des couches de chaussées.

Choix du type de sol et des différentes épaisseurs des couches de chaussée :

En nous référant aux différentes variantes fournies par le guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, nous retiendrons les variantes données par le tableau ci-dessous :

Tableau 13: les différentes variantes et épaisseurs des différentes couches de chaussées.

Variantes	Couche de Roulement (R) ou revêtement	Couche de base (B)	Couche de fondation (F).
Variante N° 1	7 cm de Béton bitumineux.	20 cm de graveleux latéritique ou grave naturelle améliorée au ciment.	20 cm de graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D
Variante N° 2	7 cm de Béton bitumineux.	25 cm de concassé O/D.	20 cm de graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D ou tout venant de concassage.
Variante N° 3	7 cm de Béton bitumineux.	35 cm de concassé O/D.	35 cm de concassé O/D.
Variante N° 4	7 cm de Béton bitumineux.	20 cm de grave ciment.	20 cm de grave latéritique ou grave naturelle ou concassé O/D.
Variante N° 5	7 cm de Béton bitumineux.	20 cm de grave ciment.	15 cm de sable argileux améliorée au ciment ou grave améliorée au ciment.
Variante N° 6	5 cm de Béton bitumineux.	15 cm de grave bitume.	20 cm de graveleux naturel ou concassé O/D.
Variante N° 7	5 cm de Béton bitumineux.	15 cm de grave bitume.	15 cm de sable argileux ciment ou grave améliorée au ciment ou sable améliorée au bitume.
Variante N° 8	7 cm de Béton bitumineux.	20 cm de grave ciment.	15 cm de sol chaux.
Variante N° 9	7 cm de Béton bitumineux.	20 cm de grave ciment.	20 cm de scories volcanique (pouzzolanes).

Variante N° 10	5 cm de Béton bitumineux.	15 cm de grave ciment.	20 cm de scories volcanique (pouzzolanes).
Variante N° 11	5 cm de Béton bitumineux.	12 cm de grave bitume.	10 cm de banco-coquillage améliorée au ciment.
Variante N° 12	7 cm de Béton bitumineux.	15 cm de corail concassé traité au ciment.	15 cm de soupe corallienne traitée au ciment.
Variante N° 13	5 cm de Béton bitumineux.	12 cm de corail concassé traité au bitume.	15 cm de soupe corallienne traitée au ciment.

NB : Dans le cadre du projet de l'échangeur Nord de Ouagadougou, ils ont opté d'utiliser des matériaux améliorés au concassé afin de pallier aux insuffisances de portance du sol support.

Le tableau qui suit résume le choix des différentes variantes optimales dans le cadre de ce projet.

Tableau 14: Variantes optimales et choix des épaisseurs des différentes couches.

Variantes	Couche de Roulement (R) ou revêtement	Couche de base (B)	Couche de fondation (F).
Variante N° 6	5 cm de Béton bitumineux.	15 cm de grave bitume.	20 cm de graveleux naturel ou concassé O/D.
Variante N° 7	5 cm de Béton bitumineux.	15 cm de grave bitume.	15 cm de sable argileux ciment ou grave améliorée au ciment ou sable améliorée au bitume.
Variante N° 11	5 cm de Béton bitumineux.	12 cm de grave bitume.	10 cm de banco-coquillage améliorée au ciment.

Cependant, plusieurs raisons peuvent justifier le choix de l'utilisation de la latérite

lithostabilisée au détriment de la latérite améliorée au ciment dans le cas du projet de l'ENO.

L'amélioration au ciment présente certains inconvénients qui constituent des sujétions, souvent sérieuses d'emploi :

- ✓ mise en œuvre délicate à cause du temps de prise du ciment ;
- ✓ sa susceptibilité à la fissuration par retrait ;
- ✓ la difficulté des réparations et des reprises éventuelles, une fois la prise du ciment terminée et le compactage effectué ;
- ✓ D'autre part au Burkina-Faso, le mètre cube (m^3) de la latérite lithostabilisée à un coût acceptable tandis que celui de la latérite stabilisée au ciment revient plus cher.

Toutes ces raisons très importantes font pencher la balance au choix de la variante N°6

Tableau 15: Variante retenue

Variantes	Couche de Roulement (R) ou revêtement	Couche de base (B)	Couche de fondation (F).
Variante N° 6	5 cm de Béton bitumineux.	15 cm de grave bitume.	20 cm de graveleux naturel ou concassé O/D.

Nous ferons une vérification sur le logiciel de dimensionnement des chaussées ALIZE-LCPC à la suite de laquelle nous choisirons les caractéristiques optimales.

b. Calcul de contraintes et de déformations admissibles

Cas du sol support

- **Contraintes admissibles :**

Les contraintes admissibles seront calculées à partir de la formule de KERKOVEN ET DORMON qui est donnée ci-dessous :

$$\sigma z, adm = \frac{0,3 \times CBR}{1 + 0,7 \times \log(NE)}$$

$$\sigma z, adm = \frac{0,3 \times 22}{1 + 0,7 \times \log(6.10^6)} = 1,1489 \text{ MPa}$$

- **Déformations admissibles** :

Les déformations admissibles seront calculées à partir de la loi de tassement de SHELL et est obtenue par l'expression qui suit :

Équation 2:déformation admissible

$$\varepsilon z, adm = 2,8.10^{-2} \times NE^{-0,25}$$

$$\varepsilon z, adm = 2,8.10^{-2} \times (6.10^6)^{-0,25} = \mathbf{565,74\ \mu déf}$$

Cas du grave bitume

- **Contraintes admissibles :**

Les contraintes admissibles seront calculées à partir de la formule de KERKOVEN ET DORMON qui est donnée ci-dessous :

Équation 3:contrainte admissible

$$\boldsymbol{\sigma z, adm = \frac{0,3 \times CBR}{1 + 0,7 \times \log(NE)}}$$

$$\sigma z, adm = \frac{0,3 \times 22}{1 + 0,7 \times \log(6.10^6)} = 1,1489 \text{ MPa}$$

- **Déformations admissibles :**

La relation donnant la déformation admissible à la base du grave bitume est la suivante :

$$\boldsymbol{\varepsilon t, adm = \varepsilon(NE, \theta éq, f) \times Kc \times Kr \times Ks}$$

Avec $\boldsymbol{Kr = 10^{-ub\delta}}$

- U : pour une chaussée en grave bitume, on adopte un risque de 5% pour un trafic T4, ce qui correspond à une valeur aléatoire centrée réduite, égale à -1,645.
- b : pente de la courbe de fatigue du matériau est de -0,2.
- δ : dispersion à retenir pour prendre en compte les écarts sur les épaisseurs et les variations sur les caractéristiques mécaniques des matériaux :

Équation 4: Formule de la dispersion

$$\delta = (SN^2 + \left(c.\frac{Sh}{b}\right)^2)^{1/2}$$

Sh dépend de l'épaisseur de mise en œuvre :

- $Sh = 0{,}01$ m si $h \leq 0{,}10$ m ;
- $Sh = 0{,}025$ m si $h \geq 0{,}15$ m ;
- $Sh = 0{,}01 + 0{,}3 \times (h - 0{,}10)$ si $0{,}10$ m $\leq h \leq 0{,}15$ m.

Dans notre cas Sh=0,025 m car l'épaisseur de la couche de graveleux latéritique amélioré au concassé est de 20cm et SN=0,4.

De ce qui précède on obtient finalement :

$$\delta = (0{,}4^2 + \left(2.\frac{0{,}025}{0{,}2}\right)^2)^{1/2} = 0{,}472$$

$$\delta = 0{,}472$$

Ce qui nous permettra d'obtenir le coefficient Kr comme suit :

Équation 5: Coefficient Kr

$$Kr = 10^{-((-1{,}645)\times(-0.2)\times 0{,}472)} = 0{,}699 \cong 0{,}70$$

On obtient finalement : $Kr = 0{,}70.$

Kc=1,3 c'est le coefficient de calage associé au graveleux latéritique.

Ks=1/1,2 car la couche de grave bitume repose sur un sol de type PF1.

La détermination de ces différents paramètres nous permettra de calculer finalement la déformation admissible à la base du grave bitume comme suit :

Équation 6:déformation admissible

$$\varepsilon(NE, \theta éq, f) = (NE/10^6)^b.(E(10°C)/E(\theta éq))^{0.5}.\varepsilon_\theta(10°C, 25\ Hz)$$

Avec :

- E (10°C)=12300 MPa
- $\theta éq = 15°\ C$
- E ($\theta éq$)=9300 Mpa
- $\varepsilon_\theta(10°C, 25\ Hz) = 80\ \mu déf$
- $NE = 0{,}5 \times 10^7 = 5.10^6$

On obtient :

$$\varepsilon t, adm = (5)^{-0.2}.(12300/9300)^{0.5}.80 = 66{,}682\ \mu déf$$

On retiendra finalement comme valeur de la contrainte admissible à la base du grave bitume :

$$\varepsilon t, adm = 66{,}682 \times 1.3 \times 0.70 \times 1/1.2 = 50{,}57\ \mu déf$$

$$\boldsymbol{\varepsilon t, adm = 50{,}57\ \mu déf.}$$

c. Vérification par le logiciel Alizé III du LCPC

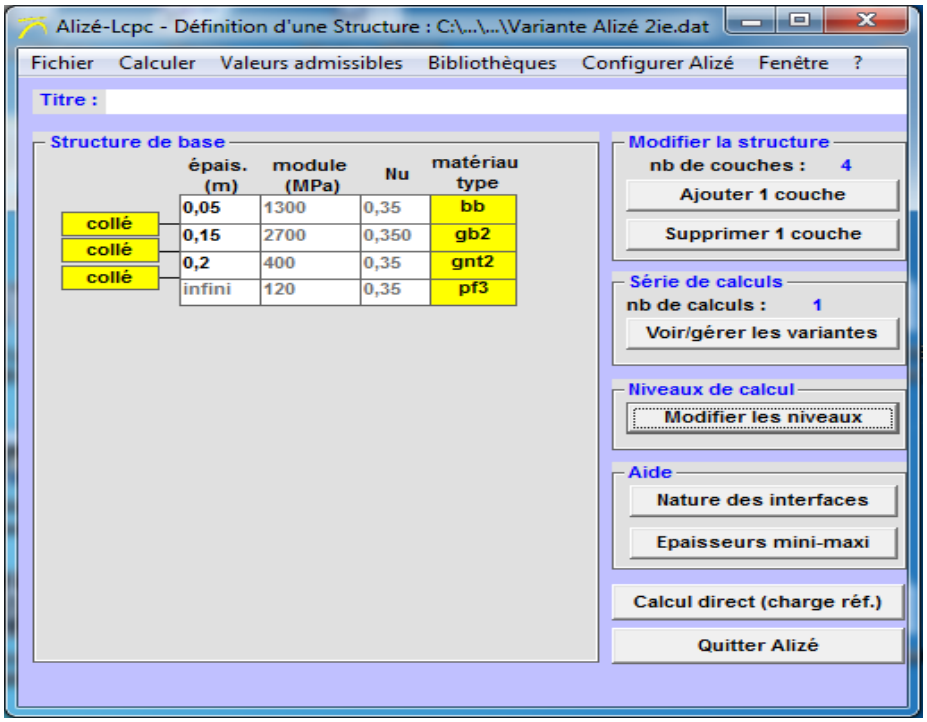


Figure10: Structure de la chaussée

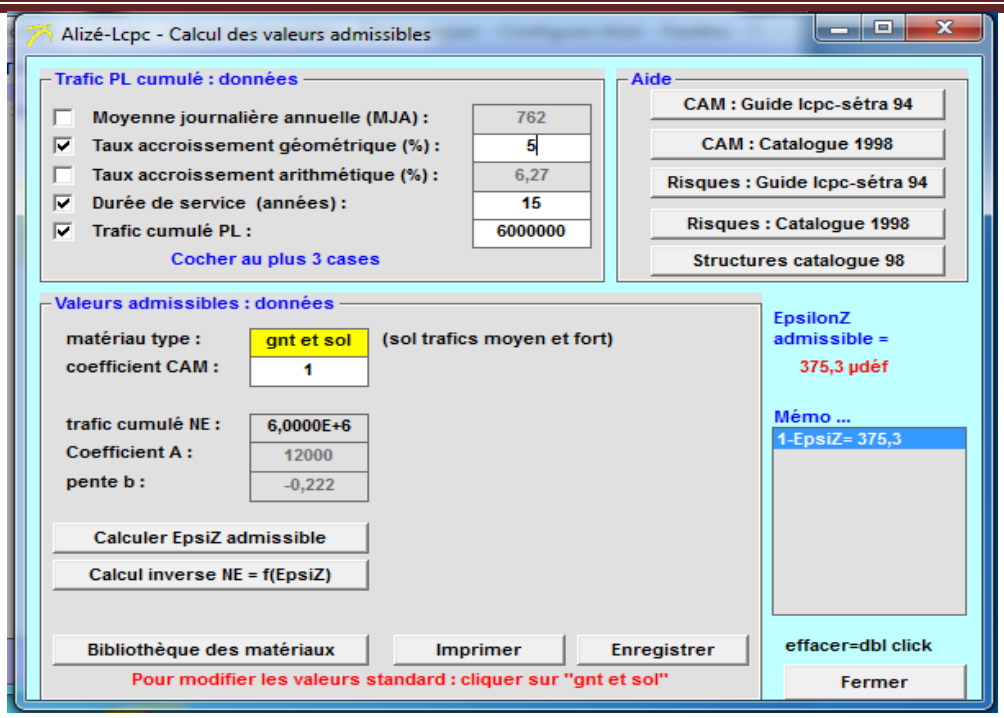


Figure 11: Déformation admissible

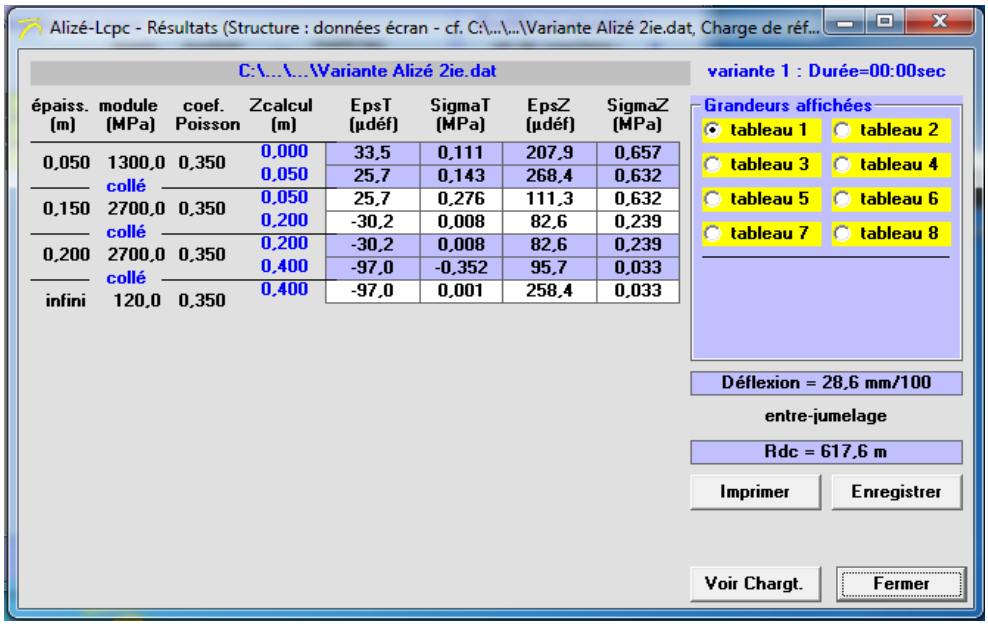


Figure 15 : Résultats des déformations

On retiendra comme structure optimale celle ayant les caractéristiques suivantes :

- 5 cm de Béton Bitumineux (BB).
- 15 cm de Grave Bitume (GB)
- 20 cm de graveleux latéritique naturel amélioré au concassé (lithostabilisation).

CONCLUSION

Les routes constituent le moteur de tout développement socio-économique notamment dans la production et l'échange des produits. Les études de construction de route sont au cœur des métiers de l'ingénieur Routes et Ouvrages d'Arts. Le développement du réseau routier a toujours constitué un problème social très crucial en Afrique subsaharienne. Pour remédier à cela, tout comme les autres pays dits en voie de développement, le Burkina Faso s'est inscrit dans la politique de bitumage de son réseau routier.

Pour cela il nous a fallu étudier au préalable la latérite et le concassé de granite à l'état naturel pour s'assurer qu'ils satisfassent les conditions du CPT avant de procéder à l'amélioration. Les différents essais ont convergé en une conclusion:

- l'amélioration à 25% de concassé de granite est celle qui permet à la latérite d'avoir des meilleures caractéristiques ;

Une étude comparative en dehors de ce projet d'étude a aussi permis de montrer que face à l'utilisation de la latérite améliorée au ciment, celle de la latérite lithostabilisée en assise de chaussée est la plus judicieuse car elle concilie bien les facteurs coût d'exécution et résistance dans le temps.

A la suite de cette étude, les recommandations suivantes sont nécessaires pour une meilleure connaissance de la technique de la lithostabilisation puis pour la conception des routes durables et de qualité :

- A l'endroit de SOGEA SATOM : encourager les étudiants à faire des travaux de recherche autour de ce thème afin d'arriver un jour à mettre sur pieds une formule empirique ou un abaque qui permettent à base des caractéristiques intrinsèques de la latérite et du concassé de granite de déterminer le taux d'amélioration ;

- A l'endroit des bureaux de contrôle: veiller à ce que les travaux soient réalisés conformément à la règle de l'art et tout en ayant en permanence un contrôleur à pied d'œuvre lors du déroulement des travaux sur le chantier.

BIBLIOGRAPHIE

1. **PIERRE LOMPO (**Paris 1980), Les matériaux utilisés en construction routière en Haute- Volta – Un matériau non traditionnel « le Lithostab ».
2. **MAIMOUNA SIDIBE (Juillet 1995),** Etude de l'utilisation des granulats de type silexite en géotechnique routière, projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception à l'école polytechnique de Thies département de Génie Civil.
3. **BCEOM-CEBTP (1984),** Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, Ministère de la coopération, France, 155p
4. **ROBITAILLE V, TREMBLAY D.** (1997), Mécanique des sols-Théorie et pratique, Modulo Éditeur, 652p.
5. **Guide de Dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux** de 1980 et de 1984 **CEBTP**

SITES INTERNET

http://www.cours-genie-civil.com/IMG/pdf/TP_CBR_laboratoire_materiaux

http://www.atms.org.tn/Documentation/Toe

http://www.beep.ird.fr/collect/thies/index/assoc/HASH01da/96b6c91a.dir/pfe.gc.0553

ANNEXES

Annexe1 : Los Angeles

ESSAI LOS ANGELES (NF P 18-573)	
Classe granulaire du matériau	Concassé 0/31.5
Poids du matériau avant essai (A)	5000g
Poids du refus au tamis 33 (1,6mm) (B)	3760g
Coefficient Los Angeles	25

Annexe 2 : Essai Proctor Modifié

C'est un essai dont l'énergie de compactage est plus importante. Il est utilisé pour l'étude des matériaux grenus notamment la latérite.

❖ **Matériel**

Pour la réalisation de cet essai, nous avons besoin d'instruments tels que :

- ✓ Des moules Proctor;
- ✓ Une lame pour raser le bord du moule ;
- ✓ Une éprouvette graduée pour mesurer l'eau ;
- ✓ Une dame;
- ✓ Des récipients pour contenir le matériau (plats, etc.) ;
- ✓ Une balance électronique.

❖ **Mode opératoire**

- ✓ Prélever l'échantillon de la couche de remblai latéritique ;
- ✓ l'étaler dans le but de le faire sécher pour qu'il ait une teneur en eau naturelle ambiante d'environ 0,5 à 1% ;
- ✓ tamiser le matériau latéritique au tamis 40;
- ✓ prendre les passants du tamis pour l'essai, de sorte que la quantité recueillie soit représentative ;
- ✓ procéder ensuite au quartage du matériau ;
- ✓ mettre la latérite dans 5 récipients, permettant d'obtenir les 5 points du Proctor

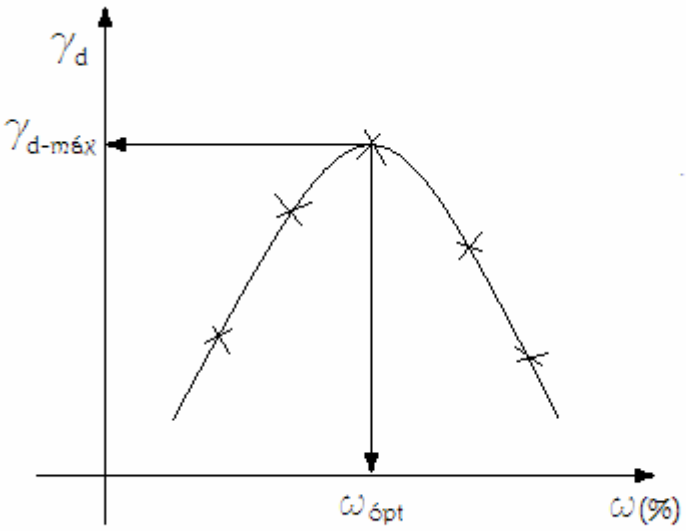
recommandé par la norme AFNOR ;

- ✓ peser la latérite contenue dans chaque récipient et relever les différents poids indiqués sur la balance ;
- ✓ mettre en place le moule et stabiliser l'ensemble à l'aide d'une clé;
- ✓ appliquer un lubrifiant sur les parois latérales intérieures du moule;
- ✓ renverser le récipient contenant le premier matériau dans une poêle, à laquelle on ajoute de l'eau, mesurer dans une éprouvette à une teneur en eau de départ et dont la quantité d'eau est fonction du poids du matériau relevé ;
- ✓ malaxer ensuite l'ensemble à la main de sorte à avoir un mélange homogène ;
- ✓ mettre la première couche de matériau mouillé dans le moule ;
- ✓ exercer 56 coups à la première couche et cela en se servant d'une dame ;
- ✓ mettre ensuite la deuxième couche dans le moule;
- ✓ nettoyer le bas de la dame et lui appliquer un lubrifiant dans le but d'éviter un accrochage entre le matériau et la dame ;
- ✓ appliquer aussi 56 coups à la deuxième couche, toujours en se servant de la dame ;
- ✓ faire la même opération pour les trois (3) couches restantes, tout en appliquant 56 coups à chacune d'elle ;
- ✓ enlever après la partie supérieure du moule et raser avec une lame, de sorte à avoir une surface plane et coïncidant avec les bords supérieurs du moule ;
- ✓ desserrer ensuite le moule et le poser sur la balance et relever le poids indiqué correspondant au poids du moule plus celui du matériau contenu dans le moule ;
- ✓ refaire la même opération, tout en apportant de l'eau au matériau et en évoluant d'une teneur en eau ;

exemple : pour un matériau donné on fera varier la teneur en eau comme suit : 2% pour le premier matériau, 4% pour le deuxième matériau, 6% pour le troisième matériau, 8% pour le quatrième matériau,10% pour le cinquième matériau.

❖ Interprétation des résultats

Tous ces résultats sont consignés sur une fiche et sur laquelle on trace la courbe Proctor qui se présente comme suit.



Courbe de compactation Proctor

Annexe 3 : Essai CBR

L'essai a pour but de déterminer un indice (indice CBR) permettant de calculer, grâce à des abaques.

❖ Appareillage

Il comprend des éléments suivants :

- moules CBR ;
- dame Proctor modifié ;
- disque d'espacement ;
- règle à raser ;
- bac d'homogénéisation pour préparation du matériau ;
- tamis 5 et 20 mm (contrôle et écrêtage le cas échéant du matériau) ;
- truelle, spatule, pinceau etc ;
- éprouvette graduée 150 ml environ ;
- petits récipients (mesure de teneur en eau) ;
- balance de portée 10 kg ;
- balance de précision 200 g (teneur en eau) ;
- étuve 105°C (teneur en eau) ;
- poinçonneuse CBR (force maximale 50KN) ;
- capteur de déplacement et support associé ;
- disque de surcharge ;

- disque de papier filtre

❖ **Mode opératoire**

- Préparation des échantillons

Le compactage devant être effectué dans les conditions de l'essai Proctor modifié, il faut réaliser au préalable cet essai pour connaître la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale. Connaissant donc la teneur en eau de l'optimum Proctor modifié et partant d'un matériau sec, on le pulvérise en brisant les mottes mais en prenant soin de ne pas briser les graviers et les pierres éventuelles. On ajoute une quantité d'eau nécessaire pour obtenir un matériau à une teneur en eau égale à W_{opm} (la teneur en eau optimale du Proctor modifié).

- Exécution de l'essai

Compacter le matériau dans les trois (3) moules CBR à la teneur en eau égale à W_{opm}. On choisit trois (3) énergies de compactage : énergie Proctor modifié (5x56 coups), énergie Proctor normal (5x25 coups), énergie faible (5x10). Araser, retourner le moule pour fixer sur la plaque de base l'extrémité qui était en haut (mettre une feuille de papier filtre). Enlever la plaque de base et ôter le disque d'espacement puis peser le moule plus la plaque de base plus le contenu à 1g près.

- Imbibition et mesure de gonflement

Le but de cette opération est de placer le sol dans les plus mauvaises conditions hydrométriques qu'il est susceptible de rencontrer dans la pratique. Trois cas peuvent être envisagés :

- Premier cas : pour un terrain sec ne risquant pas de subir des remontées d'eaux, ni de recevoir des eaux pluviales, on pourra se dispenser de cette immersion et faire l'essai à la teneur en eau W_{opm} qui est celle à laquelle l'échantillon a été préparé.
- Deuxième cas : pour un terrain pouvant subir de forte remontées d'eaux, des inondations ou recevoir des pluies d'un climat très humide, on procède à

une immersion complète.

- Troisième cas : dans les autres cas qui sont les plus fréquents, on immerge l'échantillon pendant 4 jours (96 heures ±1 heure).

Après avoir pesé l'ensemble moule + plaque de base + échantillon compacté, on place alors successivement un disque de papier filtre, un disque perforé de mesure de gonflement et une charge constituée par des disques de 2265 kg représentant l'équivalant de la contrainte imposée par la chaussée sur la plate-forme.

On met le tout dans un bac rempli d'eau, la plaque de base étant un peu écartée du fond pour permettre le passage de l'eau. Un comparateur tenu par un trépied placé sur le moule mesure les variations de la hauteur de l'échantillon.

- Le poinçonnement

On utilise une presse qui est munie d'un piston de poinçonnement de diamètre 4,96 cm pourvu d'un contrôleur de cadence ainsi que d'un comparateur permettant de suivre des enfoncements au centième de millimètre près. On place l'échantillon sur le plateau, bien axé sur le piston de poinçonnement. Les charges annulaires sont remises en place (leur trou central laisse le passage au piston de poinçonnement). On amène la tige au contact du sol et quand l'aiguille dynamométrique de la presse commence à bouger, on arrête le mouvement et on met le comparateur à zéro. Puis, la presse est actionnée à une vitesse constante d'enfoncement égale à 1,27 mm/min, le mouvement étant régulé suivant le cadencemètre de la machine. On note simultanément les mesures de l'enfoncement de la force exercée (sans arrêter le poinçonnement) et les forces qui correspondent aux enfoncements 2,5 et 5 mm

- Mesure de la teneur en eau après poinçonnement

Cette détermination se fait à partir de 6 prélèvements que l'on fait de part et d'autre de l'emprunt, dans la région qui a été soumise au poinçonnement. La mesure de la teneur en eau doit suivre immédiatement l'opération de poinçonnement. Cette mesure permet de savoir si le matériau absorbe l'eau ou pas.

Annexe4:Essai à l'état brut

SOGEA SATOM — Burkina Faso — AGEIM Ingénieurs Conseils

Service Technique Laboratoire

Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou

PHASE DE PREPARATION MATERIAUX

IDENTIFICATION Grave Naturelle Analyse granulométrique selon norme NF P 94-056

REFERENCE MATERIEL	
N° serie tamis	T1
Balance N°	B009
Etuve N°	ET002

DOSSIER N°

CHANTIER ENO

I - ECHANTILLON

N° ECHANTILLON	1562
DATE PRELEVEMENT	03/04/17
NATURE	GAL / Tas N°1
PROVENANCE	EMPE N° 18
DATE DE RECEPTION	

0%

II - ESSAI

DATE ESSAI	07/04/17
TECHNICIEN	D. Lankoandé

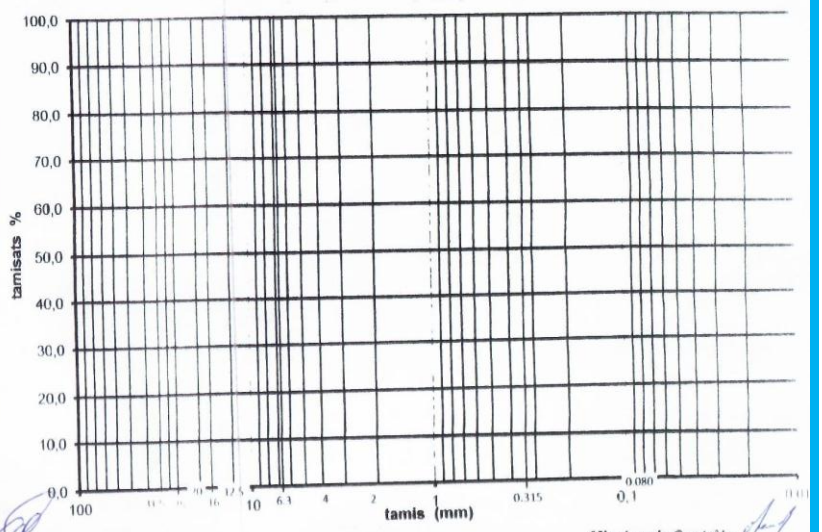
FORMULATION

Nature	N° ENR	Dosage

Tare	E4
Poids total sec (P1)	5153
Poids total sec après lavage (P2)	4708
Vérification (Fond tamis/P2) < 0.01	

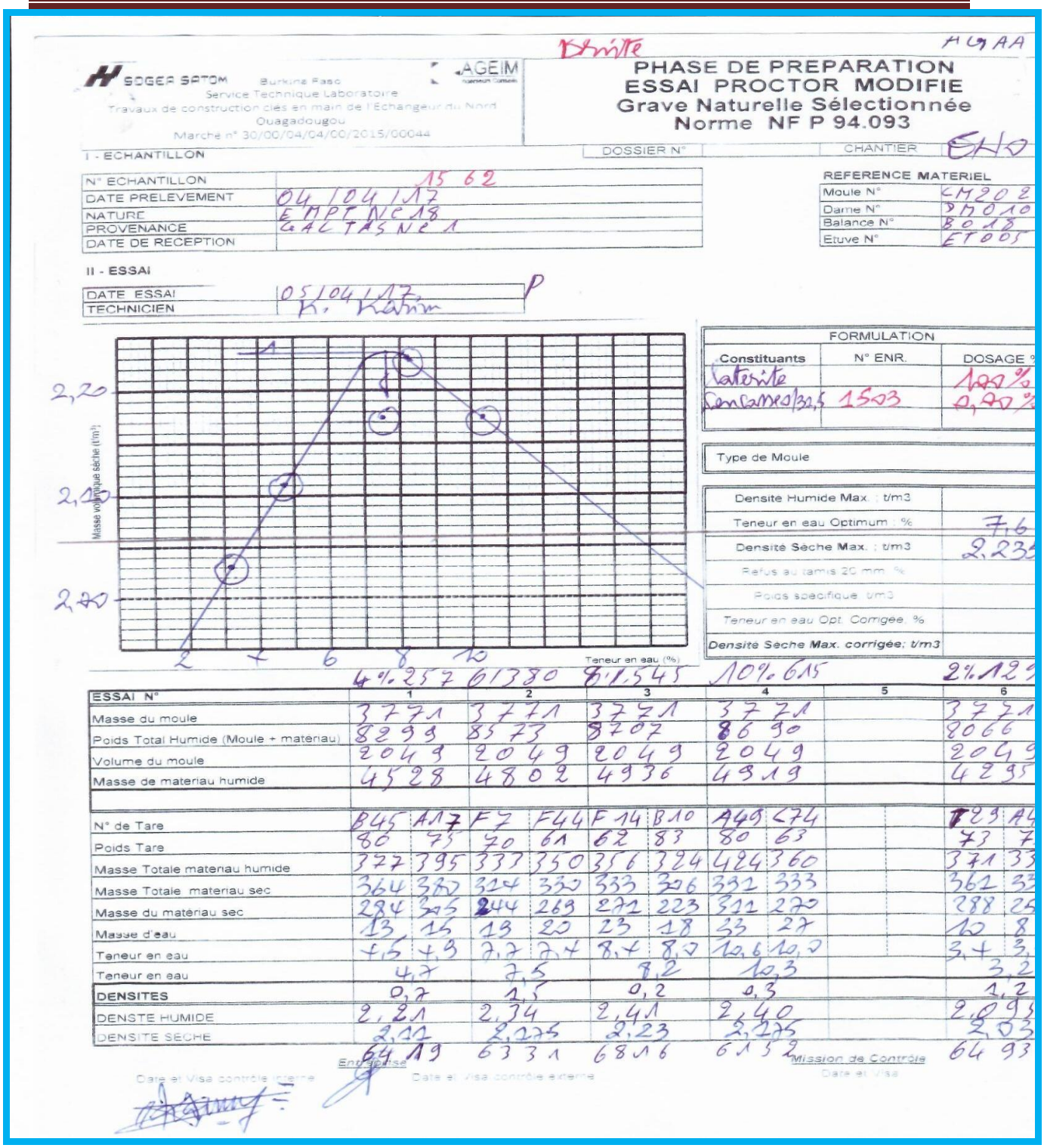
Classification GTR	
CU (D60/D10)	
CC (D30)²/CU	

Module AFNOR	Tamis (mm)	Poids cumulés des refus	% Refus cumulés	% Passants cumulés
48	50	00	0,0	100
47	40	334	6,5	93,5
46	31,5	386	7,5	92,5
45	25	507	10,0	90,0
44	20	726	14,0	86,0
43	16	851	16,5	83,5
42	12,5	1140	22,0	78,0
41	10	1478	28,5	71,5
40	8,0	1913	37,0	63,0
39	6,3	2389	46,5	53,5
38	5	2875	56,0	44,0
37	4,0	3297	64,0	36,0
34	2,0	3978	77,0	23,0
31	1,0	4178	81,0	19,0
28	0,500	4329	84,0	16,0
27	0,400	4382	85,0	15,0
26	0,315	4443	86,0	14,0
24	0,200	4570	88,5	11,5
21	0,100	4686	91,0	9,0
20	0,080	4698	91,0	9,0
Fond Tamis (FT)		6		



Entreprise

Mission de Contrôle



latérite

SOGEA SATOM Burkina Faso — AGEIM
Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou
Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

PHASE DE PREPARATION
ESSAI PROCTOR MODIFIE
Grave Naturelle Sélectionnée
Norme NF P 94.093

DOSSIER N° — CHANTIER ENO

I - ECHANTILLON

N° ECHANTILLON	15 62
DATE PRELEVEMENT	04/04/17
NATURE	EMPRUNT N°18
PROVENANCE	GALTAS N°1
DATE DE RECEPTION	

REFERENCE MATERIEL

Moule N°	CM202
Dame N°	DM010
Balance N°	BO18
Etuve N°	ET005

II - ESSAI

DATE ESSAI	05/04/17
TECHNICIEN	K. Karim

FORMULATION

Constituants	N° ENR.	DOSAGE %
latérite		100 %
concassé 0/31,5	1503	0,00 %

Type de Moule

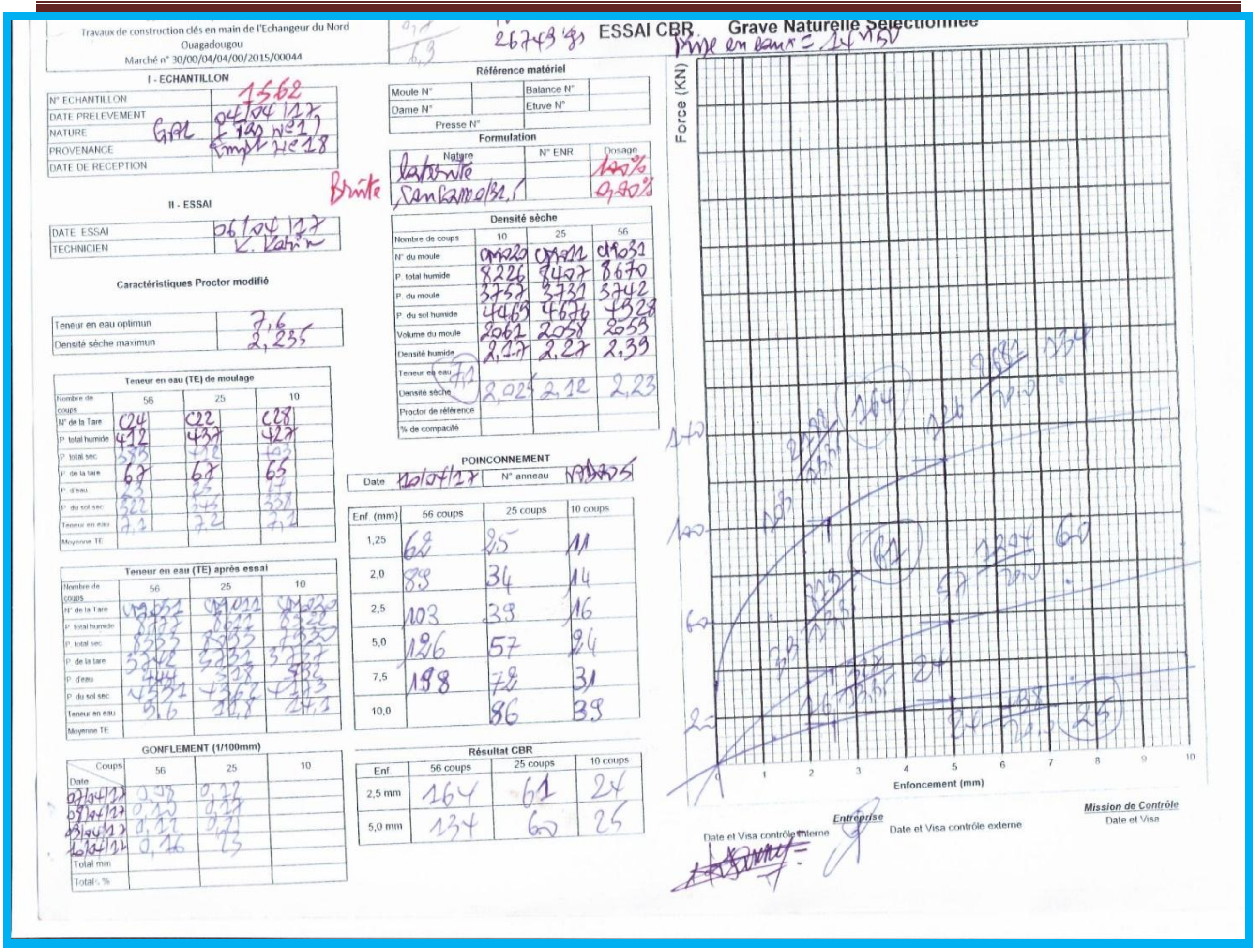
Densité Humide Max. : t/m3	
Teneur en eau Optimum : %	7,6
Densité Sèche Max. : t/m3	2,23
Refus au tamis 20 mm %	
Poids spécifique t/m3	
Teneur en eau Opt. Corrigée %	
Densité Sèche Max. corrigée: t/m3	

Masse volumique sèche (t/m³) : 2,20 ; 2,10 ; 2,00
Teneur en eau (%) : 2 ; 4 ; 6 ; 8 ; 10

4%.257 61380 8%.545 10%.615 2%.129

ESSAI N°	1		2		3		4		5		6	
Masse du moule	3771		3771		3721		3721				3721	
Poids Total Humide (Moule + materiau)	8299		8573		8707		8690				8066	
Volume du moule	2049		2049		2049		2049				2049	
Masse de materiau humide	4528		4802		4936		4919				4295	
N° de Tare	B45	A17	F7	F44	F14	B10	A49	C74			T23	A4
Poids Tare	80	75	70	61	62	83	80	63			73	7
Masse Totale materiau humide	377	395	337	350	356	324	424	360			371	33
Masse Totale materiau sec	364	380	324	330	333	306	392	333			361	32
Masse du materiau sec	284	305	244	269	271	223	311	270			288	25
Masse d'eau	13	15	13	20	23	18	33	27			10	8
Teneur en eau	4,5	4,9	7,7	7,4	8,4	8,7	10,6	10,7			3,4	3,
Teneur en eau	4,7		7,5		8,2		10,3				3,2	
DENSITES	0,7		1,5		0,2		0,3				1,2	
DENSTE HUMIDE	2,21		2,34		2,41		2,40				2,09	
DENSITE SECHE	2,11		2,275		2,23		2,225				2,03	
	64 19		63 31		68 16		61 52				64 93	

Entreprise — Mission de Contrôle
Date et Visa contrôle interne — Date et Visa contrôle externe — Date et Visa


Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou
Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

ESSAI CBR — Grave Naturelle Sélectionnée

I - ECHANTILLON

N° ECHANTILLON	1562
DATE PRELEVEMENT	04/04/17
NATURE	GAL (lot n°1)
PROVENANCE	Empt PK 18
DATE DE RECEPTION	

II - ESSAI

DATE ESSAI	06/04/17
TECHNICIEN	

Caractéristiques Proctor modifié

Teneur en eau optimum	7,6
Densité sèche maximum	2,235

Teneur en eau (TE) de moulage

Nombre de coups	56	25	10
N° de la Tare	C24	C22	C28
P. total humide	412	437	427
P. total sec			
P. de la tare	67	67	65
P. d'eau			
P. du sol sec			
Teneur en eau		7,2	
Moyenne TE			

Teneur en eau (TE) après essai

Nombre de coups	56	25	10
N° de la Tare			
P. total humide			
P. total sec			
P. de la tare			
P. d'eau			
P. du sol sec			
Teneur en eau			
Moyenne TE			

GONFLEMENT (1/100mm)

Date \ Coups	56	25	10
07/04/17			
08/04/17			
09/04/17			
10/04/17	0,16		
Total mm			
Total %			

Référence matériel

Moule N°		Balance N°	
Dame N°		Etuve N°	
Presse N°			

Formulation

Nature	N° ENR	Dosage
Latérite		100%
Brute Sankamo		

Densité sèche

Nombre de coups	10	25	56
N° du moule			
P. total humide	8226		8670
P. du moule		3731	3742
P. du sol humide	4469	4636	4928
Volume du moule	2062	2058	2059
Densité humide	2,17	2,27	2,39
Teneur en eau			
Densité sèche	2,02	2,12	2,23
Proctor de référence			
% de compacité			

POINCONNEMENT

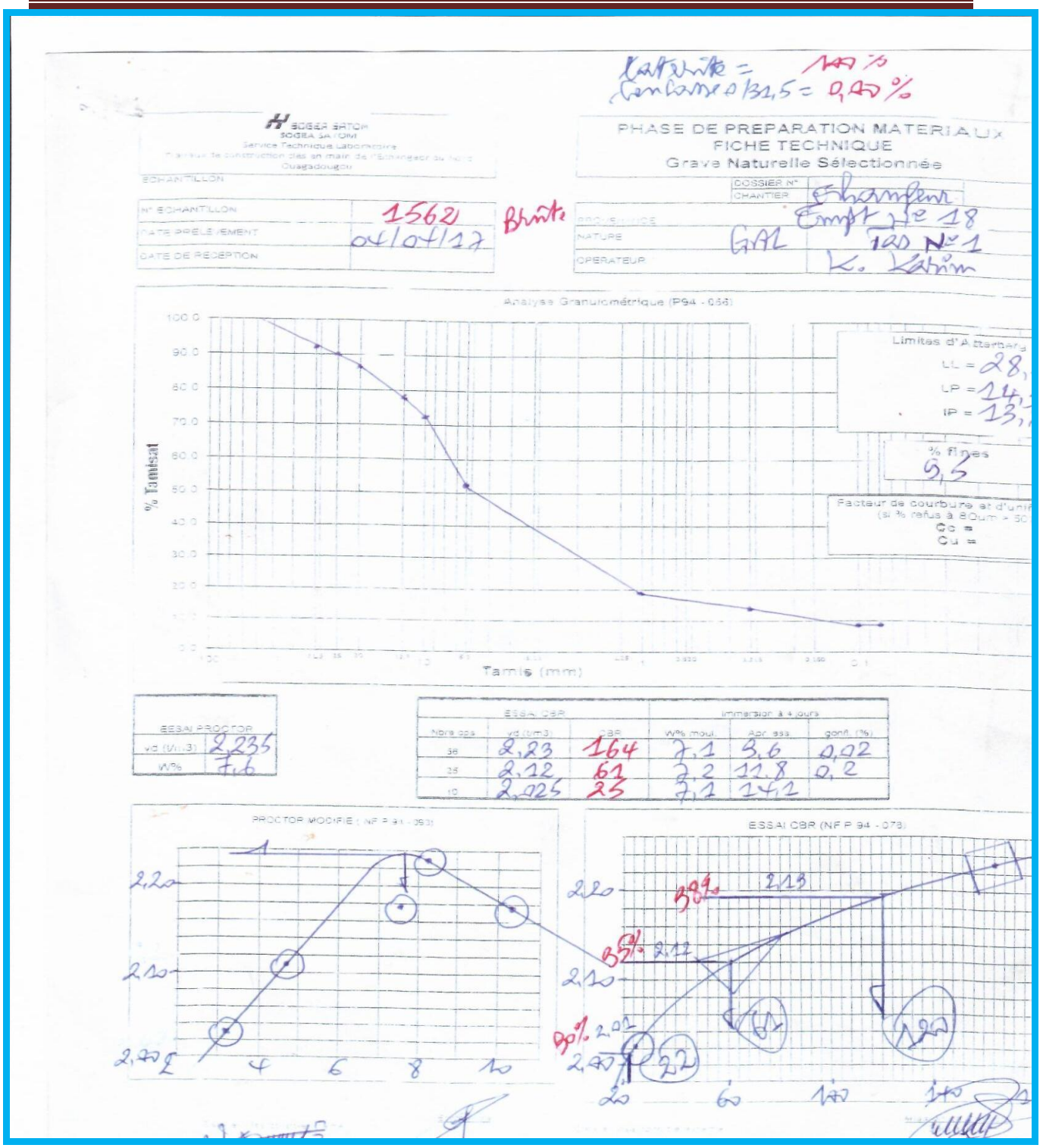
Date	10/04/17	N° anneau	

Enf (mm)	56 coups	25 coups	10 coups
1,25	62	25	11
2,0	89	34	14
2,5	103	39	16
5,0	126	57	24
7,5	148	72	31
10,0		86	39

Résultat CBR

Enf	56 coups	25 coups	10 coups
2,5 mm	164	61	24
5,0 mm	134	60	25

Date et Visa contrôle interne — Entreprise — Date et Visa contrôle externe — Mission de Contrôle Date et Visa


PHASE DE PREPARATION MATERIAUX
FICHE TECHNIQUE
Grave Naturelle Sélectionnée
Analyse Granulométrique (P94 - 056)
% Tamisat
Tamis (mm)
ESSAI PROCTOR
ESSAI CBR
PROCTOR MODIFIE
ESSAI CBR (NF P 94 - 078)

SOGEA SATOM Burkina Faso — AGEIM
Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou
Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

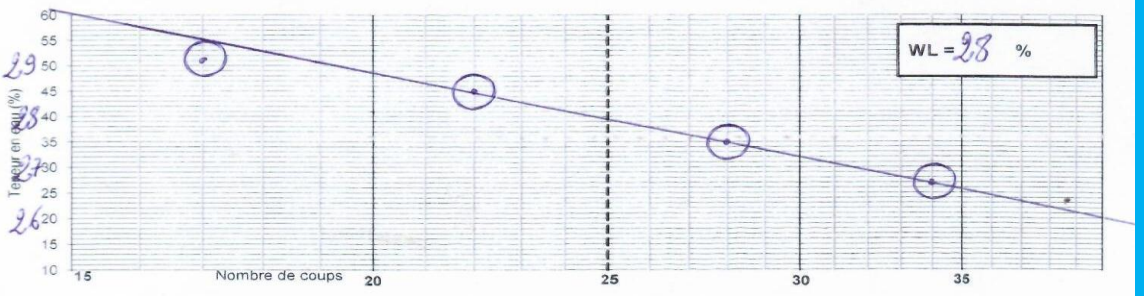
PHASE DE PREPARATION
LIMITES D'ATTERBERG
Grave Naturelle Sélectionnée
NF P 94-051

N° ECHANTILLON : 1562/TASN°1
PROVENANCE : Empl. N°13
NATURE MATERIAU : G.A.L
DATE DE PRELEVEMENT : 03/04/17
DATE DE RECEPTION :
OPERATEUR : Constant N'maro
DATE D'ESSAI : 06/04/2017

Référence Matériel	
Casagrande N°	CASA1
Balance N°	BASA1
Etuve N°	ETUV4

LIMITE DE LIQUIDITE

Nombres de coups		17		22		28		34	
Tare N°		81	82	83	84	85	86	87	88
Masse totale humide	g	11,78	12,27	11,35	10,57	11,37	11,58	11,03	10,75
Masse totale sèche	g	9,26	9,65	8,98	8,36	9,05	9,22	8,84	8,61
Masse tare	g	0,68	0,62	0,63	0,63	0,64	0,63	0,63	0,63
Masse eau	g	2,52	2,62	2,37	2,21	2,32	2,36	2,19	2,14
Masse sèche nette	g	8,63	9,03	8,35	7,73	8,41	8,59	8,21	7,98
Teneur en eau	%	29,2	29,0	28,4	28,6	27,6	27,4	26,6	26,8
Teneur en eau moyenne	%	29,1		28,5		27,5		26,7	



LIMITE DE PLASTICITE

Tare N°		89	90
Masse totale humide	g	8,41	8,36
Masse totale sèche	g	7,44	7,38
Masse tare	g	0,63	0,63
Masse eau	g	0,97	0,98
Masse sèche nette	g	6,81	6,75
Teneur en eau	%	14,2	14,5

WP = 14,3 %

Essai d'information

INDICE DE PLASTICITE : IP = 13,7 % (WL-WP)

INDICE DE CONSISTANCE (Pour Wn = %) : IC = (WL-Wn/IP)

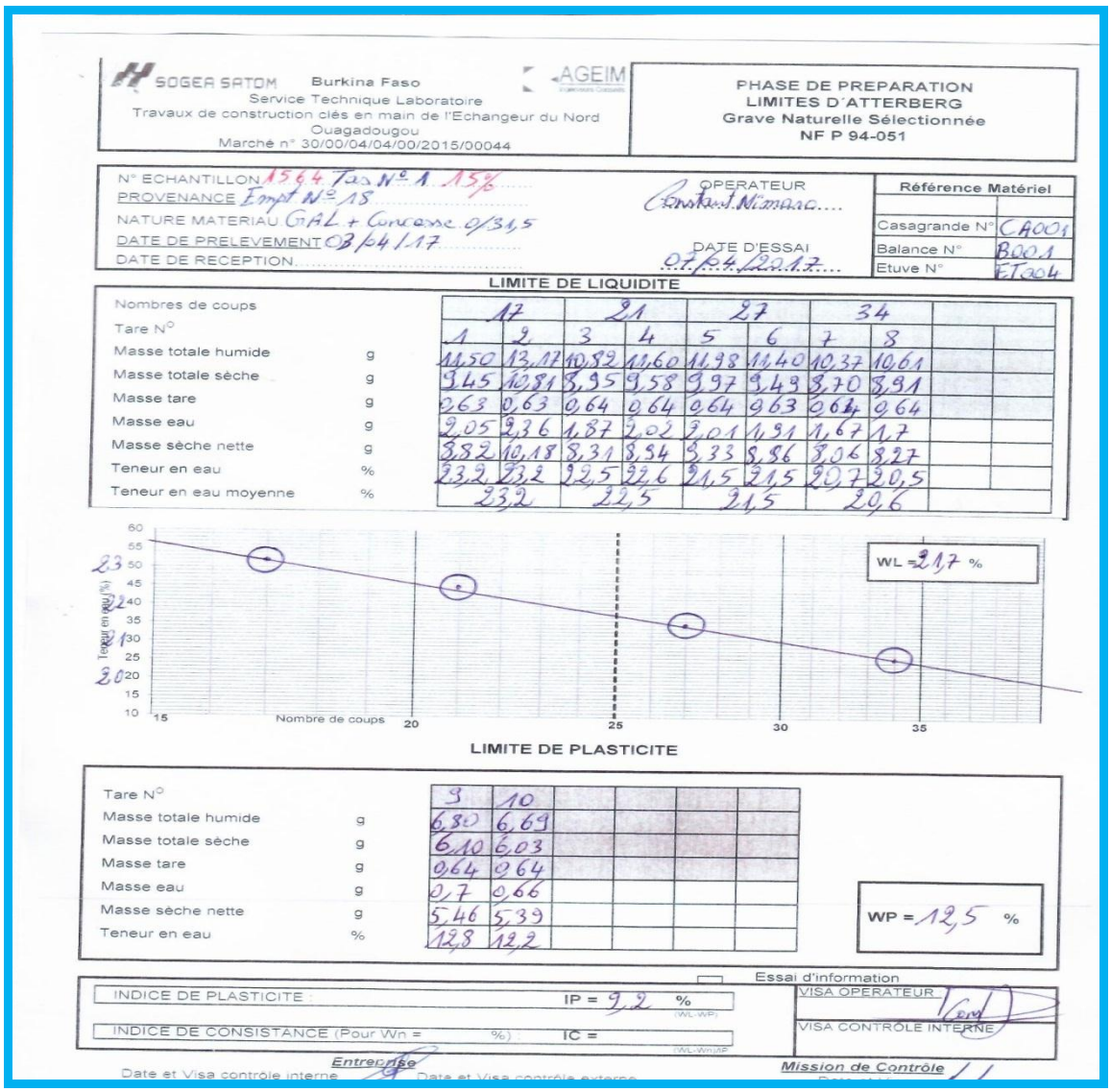
VISA OPERATEUR

VISA CONTRÔLE INTERNE

Entreprise
Date et Visa contrôle interne — Date et Visa contrôle externe

Mission de Contrôle
Date et Visa

Annexe5 : Les essais de la GAL amélioré à 15% de concassé



SOGEA SATOM Burkina Faso
Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou
Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

AGEIM

PHASE DE PREPARATION
LIMITES D'ATTERBERG
Grave Naturelle Sélectionnée
NF P 94-051

N° ECHANTILLON 1564 Tas N° 1 15%
PROVENANCE Empt N° 15
NATURE MATERIAU GAL + Concasse 0/31,5
DATE DE PRELEVEMENT 03/04/17
DATE DE RECEPTION
OPERATEUR Constant Nimaga
DATE D'ESSAI 07/04/2017

Référence Matériel	
Casagrande N°	CA001
Balance N°	BA01
Etuve N°	ET304

LIMITE DE LIQUIDITE

Nombres de coups		17		21		27		34			
Tare N°		1	2	3	4	5	6	7	8		
Masse totale humide	g	11,50	13,17	10,82	11,60	11,98	11,40	10,37	10,61		
Masse totale sèche	g	9,45	10,81	8,95	9,58	9,97	9,49	8,70	8,91		
Masse tare	g	0,63	0,63	0,64	0,64	0,64	0,63	0,64	0,64		
Masse eau	g	2,05	2,36	1,87	2,02	2,01	1,91	1,67	1,7		
Masse sèche nette	g	8,82	10,18	8,31	8,94	9,33	8,86	8,06	8,27		
Teneur en eau	%	23,2	23,2	22,5	22,6	21,5	21,5	20,7	20,5		
Teneur en eau moyenne	%	23,2		22,5		21,5		20,6			

LIMITE DE PLASTICITE

Tare N°		9	10				
Masse totale humide	g	6,80	6,69				
Masse totale sèche	g	6,10	6,03				
Masse tare	g	0,64	0,64				
Masse eau	g	0,7	0,66				
Masse sèche nette	g	5,46	5,39				
Teneur en eau	%	12,8	12,2				

WP = 12,5 %

Essai d'information

INDICE DE PLASTICITE : IP = 9,2 % (WL-WP)

INDICE DE CONSISTANCE (Pour Wn = %) : IC = (WL-Wn)/IP

VISA OPERATEUR

VISA CONTRÔLE INTERNE

Entreprise
Date et Visa contrôle interne

Date et Visa contrôle externe

Mission de Contrôle

KABACK

SOGEF SATOM Burkina Faso
Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord
Ouagadougou
Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

AGEIM

PHASE DE PREPARATION
ESSAI PROCTOR MODIFIE
Grave Naturelle Sélectionnée
Norme NF P 94.093

I - ECHANTILLON — DOSSIER N° — CHANTIER: EHO

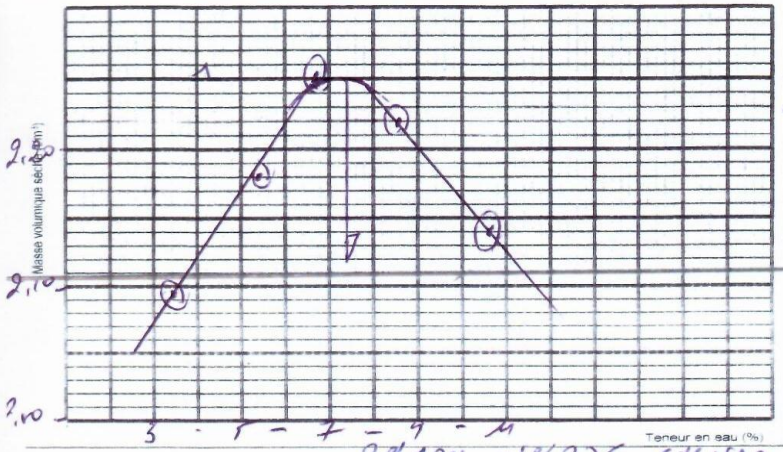
N° ECHANTILLON	1564
DATE PRELEVEMENT	03/04/17
NATURE	GAL + 0/31,5 (TAD N°1)
PROVENANCE	Empt N°18
DATE DE RECEPTION	

REFERENCE MATERIEL

Moule N°	CM202
Dame N°	DM010
Balance N°	B018
Etuve N°	E5405

II - ESSAI

DATE ESSAI	06/04/17
TECHNICIEN	K. Karin



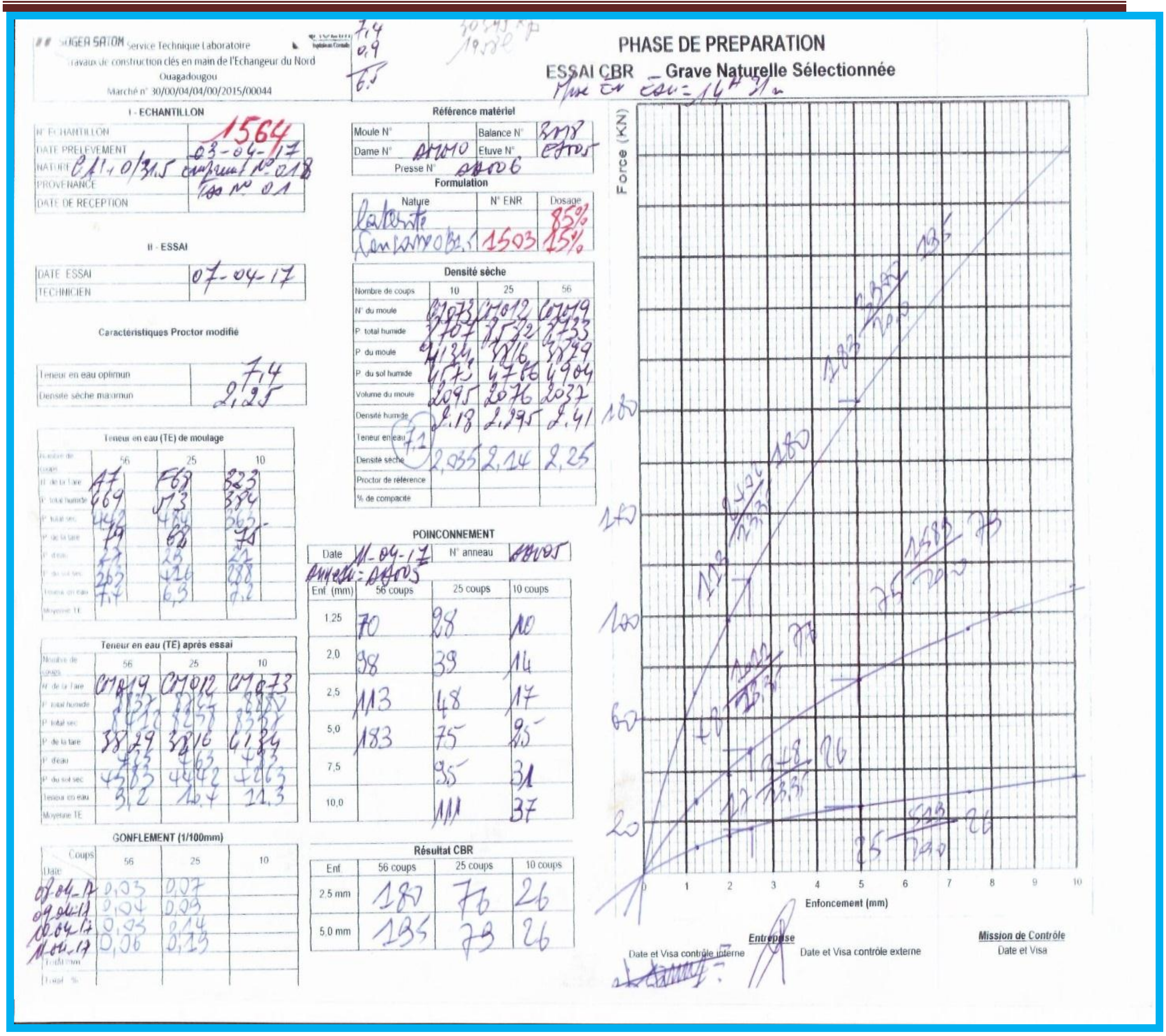
FORMULATION		
Constituants	N° ENR.	DOSAGE %
Laterite		85%
Concasse 0/31,5	1503	15%

Type de Moule	
Densité Humide Max. : t/m3	
Teneur en eau Optimum : %	7,4
Densité Sèche Max. : t/m3	2,25
Refus au tamis 20 mm : %	
Poids spécifique : t/m3	
Teneur en eau Opt. Corrigée : %	
Densité Sèche Max. corrigée: t/m3	

ESSAI N°	1		2		3		4		5		6
	2% 124		4% 275		6% 412		8% 550		10% 696		
Masse du moule	3771		3771		3771		3771		3771		
Poids Total Humide (Moule + matériau)	8209		8483		8694		8713		8630		
Volume du moule	2049		2049		2049		2049		2049		
Masse de materiau humide	4438		4712		4923		4942		4859		
N° de Tare	A17	B23	A35	B8	T13	B20	B19	C56	A16	C67	
Poids Tare	75	75	77	74	66	77	81	62	78	65	
Masse Totale materiau humide	456	439	463	474	394	411	410	423	525	492	
Masse Totale materiau sec	443	428	443	453	373	390	382	396	481	451	
Masse du matériau sec	368	353	366	379	307	313	301	324	403	386	
Masse d'eau	13	11	20	21	21	21	28	27	44	41	
Teneur en eau	3,5	3,1	5,4	5,5	6,8	6,7	9,3	8,0	10,9	10,6	
Teneur en eau	3,3		5,4		6,7		8,6		10,7		
DENSITES	13		14		07		06		07		
DENSTE HUMIDE	2,165		2,30		2,40		2,41		2,37		
DENSITE SECHE	2,095		2,18		2,25		2,22		2,14		
	6195		6195		6882		6878		6957		

Entreprise — Mission de Contrôle

09


SOGEA SATOM Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord
Ouagadougou
Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

PHASE DE PREPARATION

ESSAI CBR _ Grave Naturelle Sélectionnée

I - ECHANTILLON

N° ECHANTILLON	1564
DATE PRELEVEMENT	03-04-17
NATURE	
PROVENANCE	
DATE DE RECEPTION	

II - ESSAI

DATE ESSAI	07-04-17
TECHNICIEN	

Caractéristiques Proctor modifié

Teneur en eau optimun	7,4
Densite sèche maximun	2,25

Référence matériel

Moule N°		Balance N°	
Dame N°		Etuve N°	
Presse N°			

Formulation

Nature	N° ENR	Dosage
Latérite		85%
Concassé	1503	15%

Densité sèche

Nombre de coups	10	25	56
N° du moule			
P. total humide			
P. du moule			
P. du sol humide			
Volume du moule			
Densité humide	2,18	2,295	2,41
Teneur en eau			
Densité sèche	2,035	2,14	2,25
Proctor de référence			
% de compacité			

POINCONNEMENT

Enf. (mm)	56 coups	25 coups	10 coups
1,25	70	28	10
2,0	98	39	14
2,5	113	48	17
5,0	183	75	25
7,5		95	31
10,0		111	37

Résultat CBR

Enf	56 coups	25 coups	10 coups
2.5 mm	180	76	26
5.0 mm	135	73	26

Teneur en eau (TE) de moulage

Teneur en eau (TE) après essai

GONFLEMENT (1/100mm)

Force (KN)

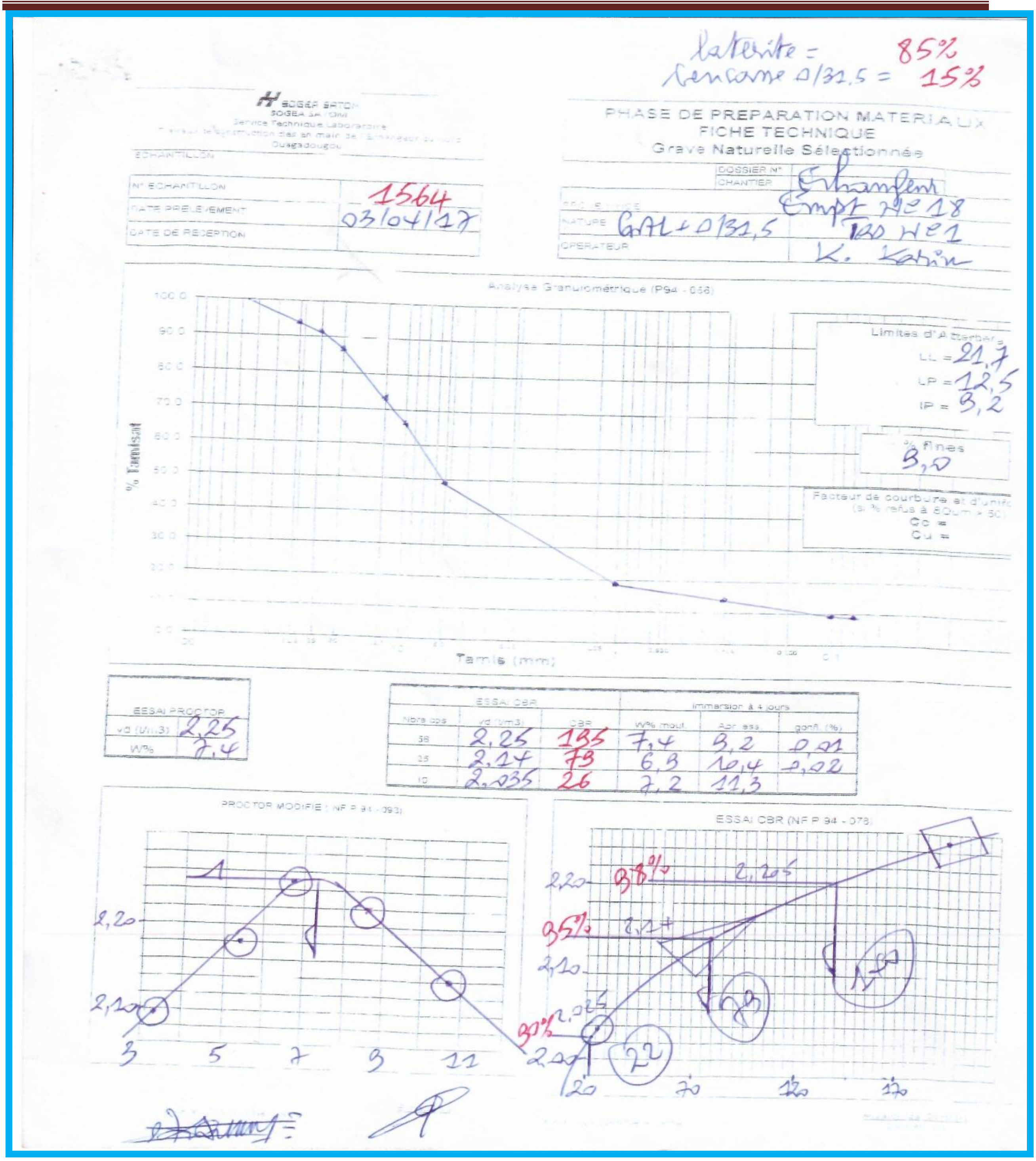
Enfoncement (mm)

Entreprise

Date et Visa contrôle interne

Date et Visa contrôle externe

Mission de Contrôle Date et Visa



latérite = 85%
concassé 0/31,5 = 15%

SOGEA SATOM
Service Technique Laboratoire
Ouagadougou

PHASE DE PREPARATION MATERIAUX
FICHE TECHNIQUE
Grave Naturelle Sélectionnée

N° ECHANTILLON	1564
DATE PRELEVEMENT	03/04/17
DATE DE RECEPTION	

DOSSIER N°	
CHANTIER	Echangeur
PROVENANCE	Empt N° 18
NATURE	GAL + 0/31,5
OPERATEUR	K. [illegible]

Analyse Granulométrique (P94 - 056)

Limites d'Atterberg
LL = 21,7
LP = 12,5
IP = 9,2

% fines
9,0

Facteur de courbure et d'uniformité
Cc =
Cu =

ESSAI PROCTOR

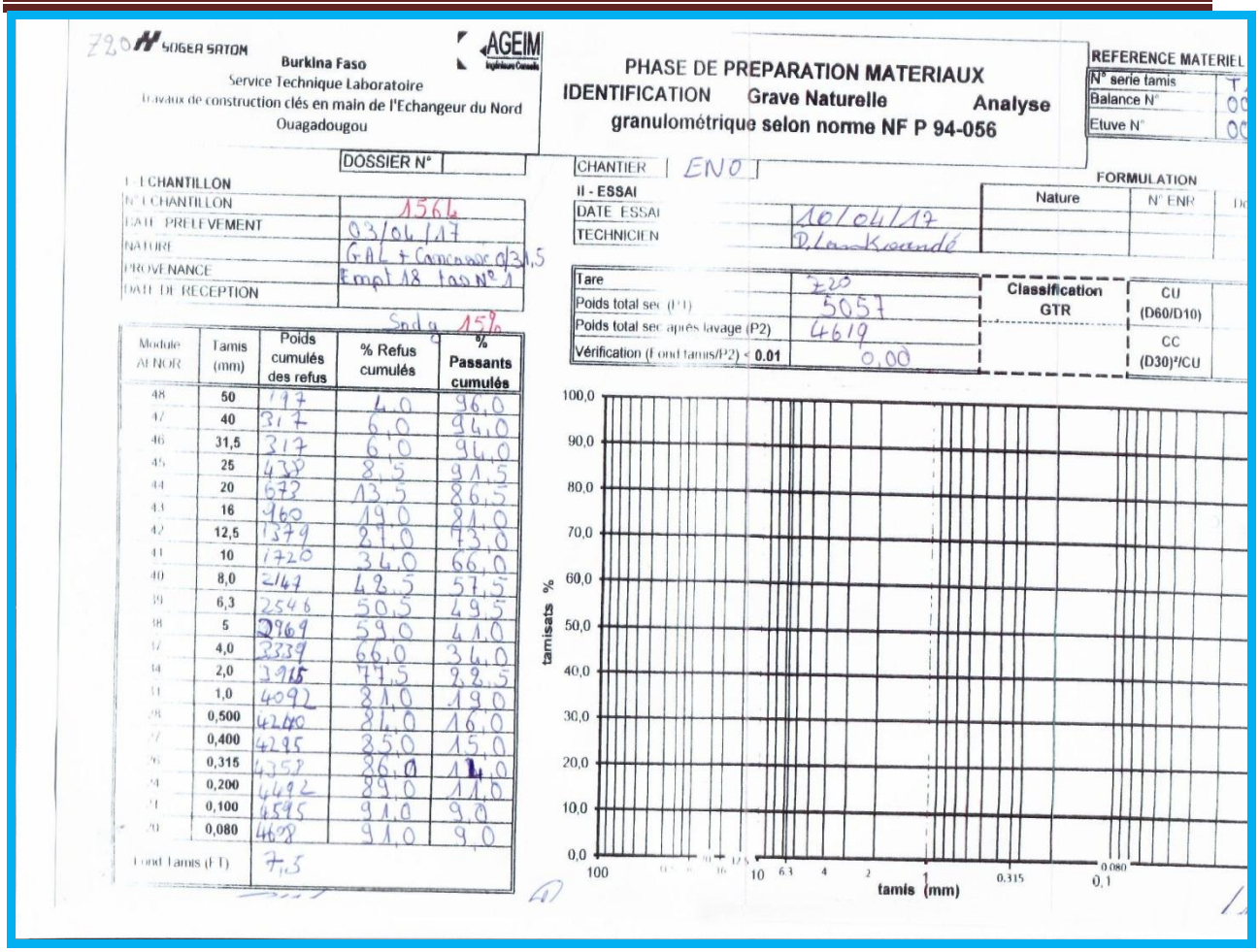
γd (t/m3)	2,25
W%	7,4

ESSAI CBR

Nbre cps	γd (t/m3)	CBR	W% moul.	Immersion à 4 jours Apr. ess.	gonfl. (%)
56	2,25	135	7,4	9,2	0,01
25	2,17	73	6,9	10,4	0,02
10	2,035	26	7,2	11,3	

PROCTOR MODIFIE (NF P 94 - 093)

ESSAI CBR (NF P 94 - 078)



SOGEA SATOM — Burkina Faso
Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou
AGEIM

PHASE DE PREPARATION MATERIAUX
IDENTIFICATION Grave Naturelle Analyse granulométrique selon norme NF P 94-056

REFERENCE MATERIEL
N° série tamis
Balance N°
Etuve N°

DOSSIER N°
CHANTIER ENO

I - ECHANTILLON
N° ECHANTILLON 1566
DATE PRELEVEMENT 03/04/17
NATURE GAL + Concassé 0/31,5
PROVENANCE Empl 18 tas N° 1
DATE DE RECEPTION

II - ESSAI
DATE ESSAI 10/04/17
TECHNICIEN D. Lankoandé

FORMULATION

Nature	N° ENR

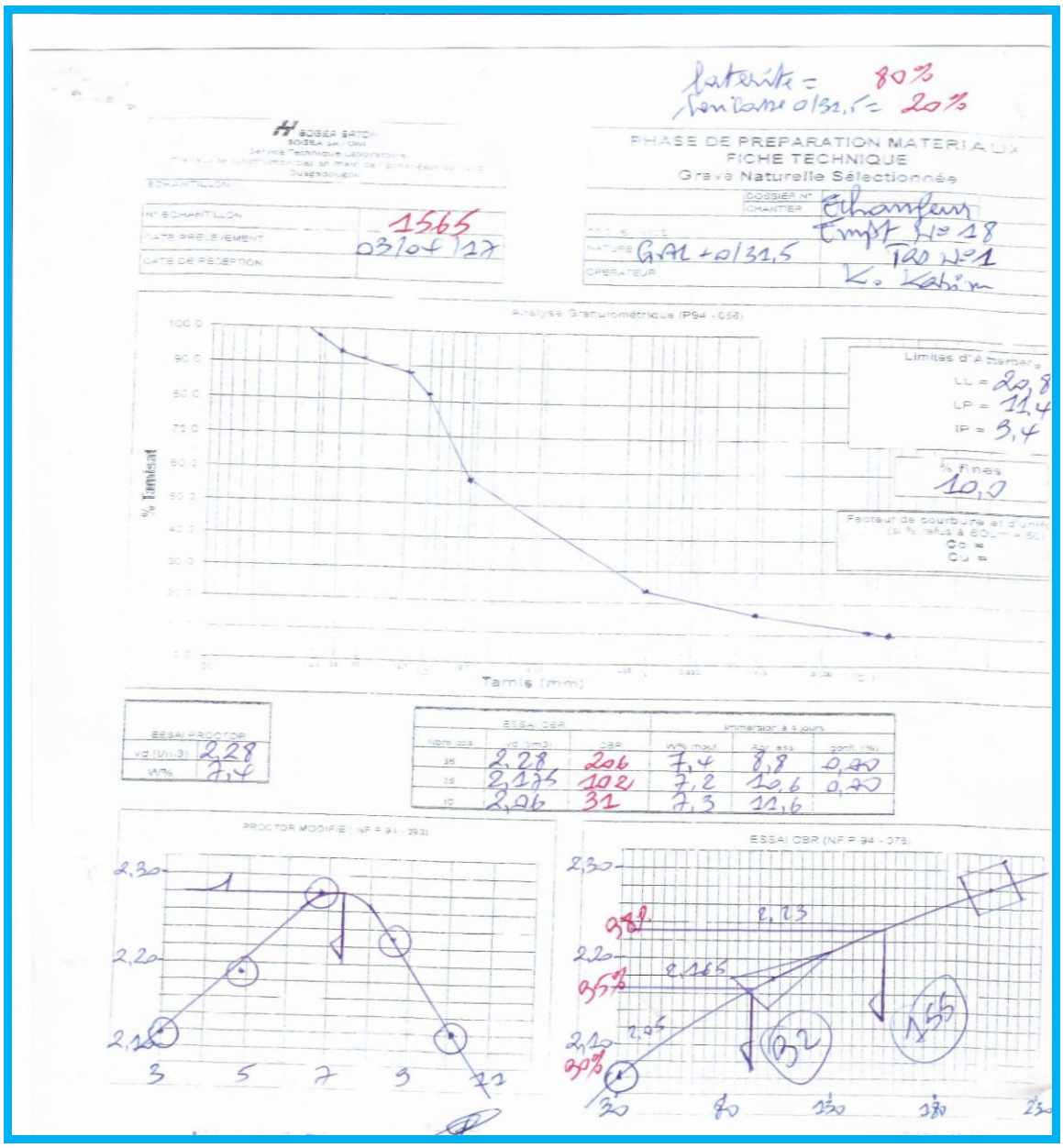
Tare	729
Poids total sec (P1)	5057
Poids total sec après lavage (P2)	4619
Vérification (Fond tamis/P2) < 0.01	0,00

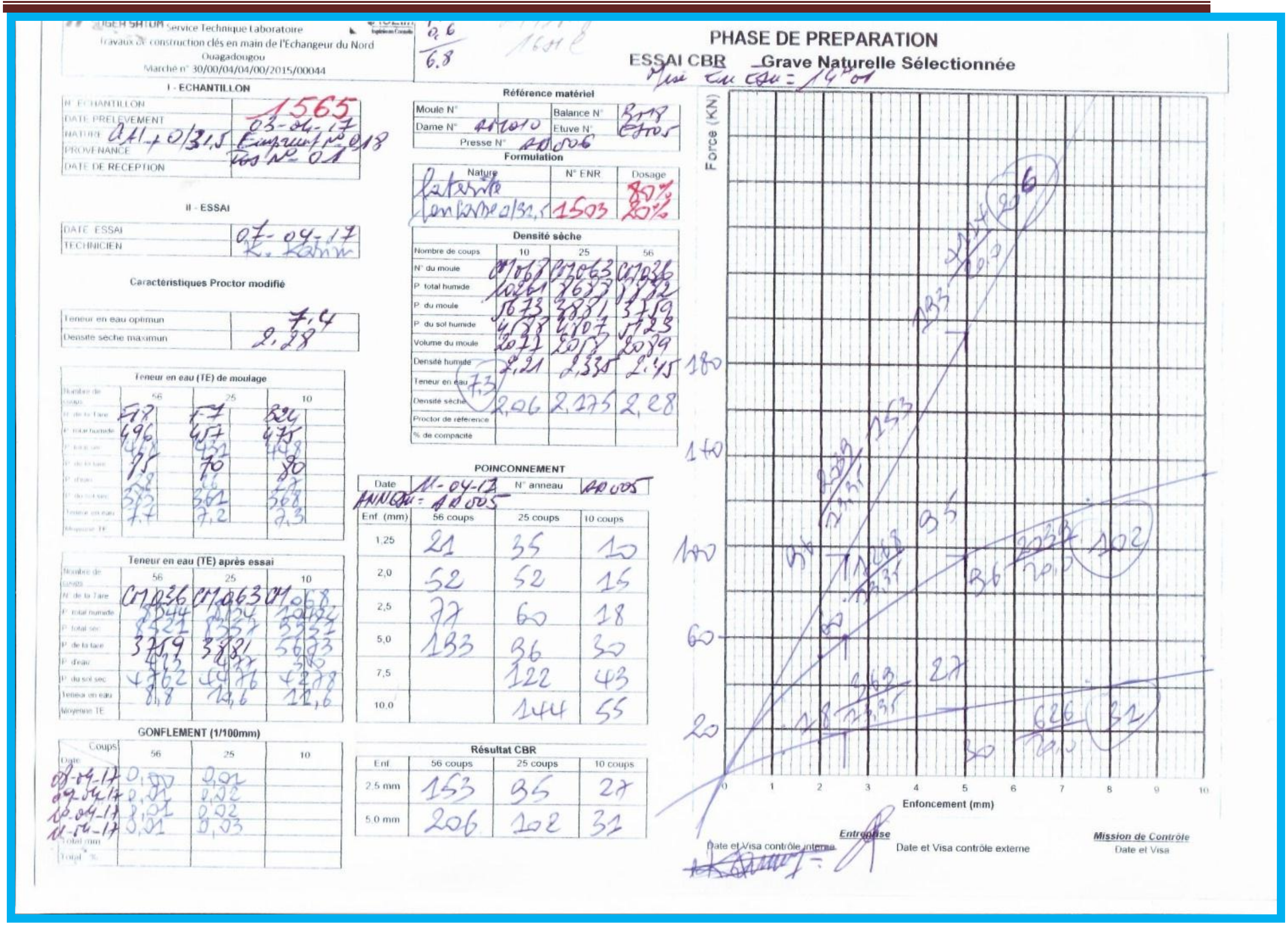
Classification GTR — CU (D60/D10) — CC (D30)²/CU

Sod g 15%

Module AFNOR	Tamis (mm)	Poids cumulés des refus	% Refus cumulés	% Passants cumulés
48	50	197	4,0	96,0
47	40	317	6,0	94,0
46	31,5	317	6,0	94,0
45	25	439	8,5	91,5
44	20	673	13,5	86,5
43	16	960	19,0	81,0
42	12,5	1379	27,0	73,0
41	10	1720	34,0	66,0
40	8,0	2147	42,5	57,5
39	6,3	2546	50,5	49,5
38	5	2969	59,0	41,0
37	4,0	3339	66,0	34,0
34	2,0	3915	77,5	22,5
31	1,0	4092	81,0	19,0
28	0,500	4240	84,0	16,0
27	0,400	4295	85,0	15,0
26	0,315	4352	86,0	14,0
24	0,200	4492	89,0	11,0
21	0,100	4595	91,0	9,0
20	0,080	4628	91,0	9,0
	Fond tamis (FT)	7,5		

Annexe6 : Les essais de la GAL amélioré à 20% de concassé





SETHUM Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord
Ouagadougou
Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

PHASE DE PREPARATION
ESSAI CBR Grave Naturelle Sélectionnée

I - ECHANTILLON

N° ECHANTILLON	1565
DATE PRELEVEMENT	03-04-17
NATURE	Al + 0/31,5
PROVENANCE	Emprunt n° 018 Pos N° 01
DATE DE RECEPTION	

II - ESSAI

DATE ESSAI	07-04-17
TECHNICIEN	K. Kam

Caractéristiques Proctor modifié

Teneur en eau optimun	7,4
Densite sèche maximun	2,28

Teneur en eau (TE) de moulage

Nombre de coups	56	25	10
N° de la Tare	518	F-7	824
P. total humide	496	457	475
P. total sec	468	431	448
P. de la tare	75	70	80
P. d'eau	28	26	27
P. du sol sec	393	361	368
Teneur en eau	7,7	7,2	7,3
Moyenne TE			

Teneur en eau (TE) après essai

Nombre de coups	56	25	10
N° de la Tare	C1036	C1063	C1068
P. total humide	8544	8124	10192
P. total sec	8521	8357	5351
P. de la tare	3759	3381	5673
P. d'eau	413	437	515
P. du sol sec	4762	4976	4278
Teneur en eau	8,8	14,6	12,6
Moyenne TE			

GONFLEMENT (1/100mm)

Date \ Coups	56	25	10
08-04-17	0,00	0,01	
09-04-17	0,01	0,02	
10-04-17	0,01	0,02	
11-04-17	0,01	0,03	
Total mm			
Total %			

Référence matériel

Moule N°		Balance N°	B019
Dame N°	AA1010	Etuve N°	E1705
Presse N°	AA1006		

Formulation

Nature	N° ENR	Dosage
latérite		80%
concassé 0/31,5	1503	20%

Densité sèche

Nombre de coups	10	25	56
N° du moule	C1068	C1063	C1036
P. total humide	10261	8633	8732
P. du moule	5673	3881	3759
P. du sol humide	4588	4807	5123
Volume du moule	2077	2058	2089
Densité humide	2,21	2,335	2,45
Teneur en eau	7,3		
Densité sèche	2,06	2,175	2,28
Proctor de référence			
% de compacité			

POINCONNEMENT

Date	11-04-17	N° anneau	AA005

ANNEAU = AA005

Enf. (mm)	56 coups	25 coups	10 coups
1,25	21	35	10
2,0	52	52	15
2,5	77	60	18
5,0	133	86	30
7,5		122	43
10,0		144	55

Résultat CBR

Enf	56 coups	25 coups	10 coups
2.5 mm	153	85	27
5.0 mm	206	102	31

Date et Visa contrôle interne
Entreprise
Date et Visa contrôle externe
Mission de Contrôle
Date et Visa

EBOMAF SATOM — Burkina Faso — Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou
Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

AGEIM

PHASE DE PREPARATION
ESSAI PROCTOR MODIFIE
Grave Naturelle Sélectionnée
Norme NF P 94.093

Kader

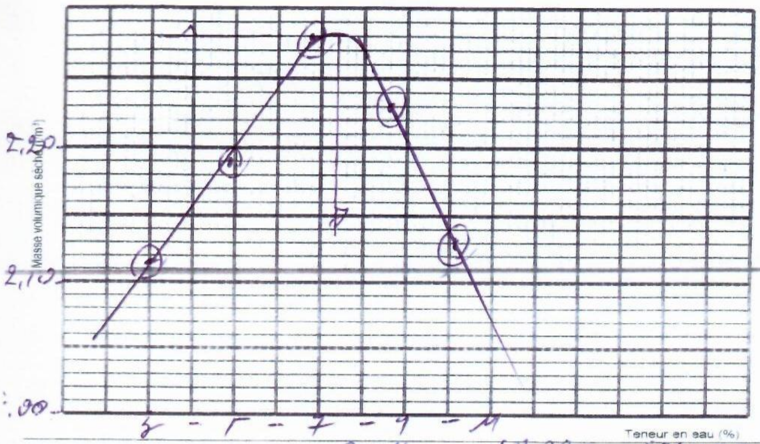
I - ECHANTILLON — DOSSIER N° — CHANTIER: ENO

N° ECHANTILLON	1565
DATE PRELEVEMENT	03/04/17
NATURE	GAL + 0/31,5 (Tronçon 1)
PROVENANCE	Emprunt N° 18
DATE DE RECEPTION	

REFERENCE MATERIEL	
Moule N°	CM 202
Dame N°	DM 010
Balance N°	B 018
Etuve N°	E 1003

II - ESSAI

DATE ESSAI	06/04/17
TECHNICIEN	K. Karim



FORMULATION		
Constituants	N° ENR.	DOSAGE %
Latérite		80%
Concassé 0/31,5	1503	20%

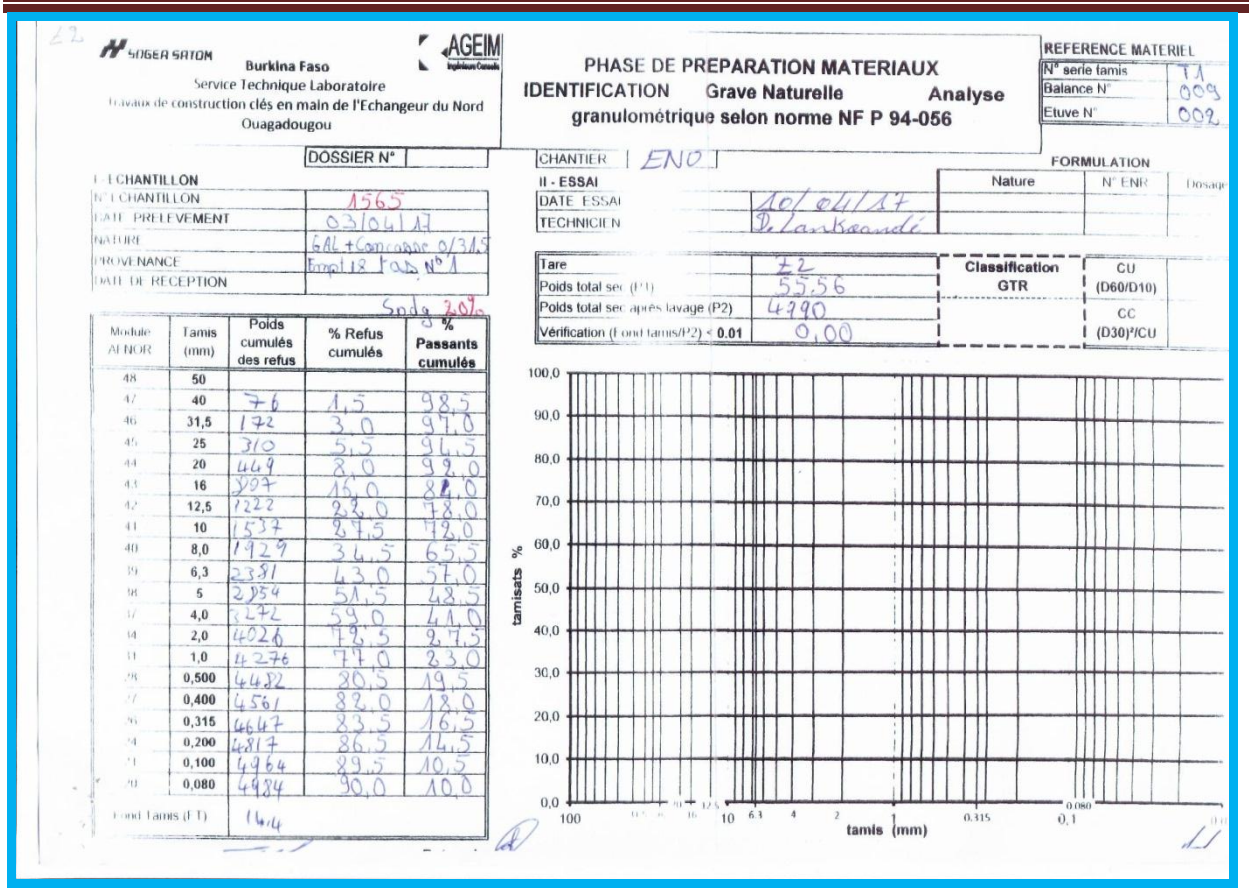
Type de Moule

Densité Humide Max. : t/m3	
Teneur en eau Optimum : %	7,4
Densité Sèche Max. : t/m3	2,28
Refus au tamis 20 mm : %	
Poids spécifique : t/m3	
Teneur en eau Opt. Corrigée : %	
Densité Sèche Max. corrigée: t/m3	

2%143 4%234 6%432 8%603 10%738

ESSAI N°	1		2		3		4		5		6	
Masse du moule	3771		3771		3771		3771		3771			
Poids Total Humide (Moule + matériau)	8233		8484		8765		8742		8556			
Volume du moule	2049		2049		2049		2049		2049			
Masse de materiau humide	4462		4713		4994		4971		4785			
N° de Tare	C3	B35	F18	F23	A41	B36	C55	B24	C41	A43		
Poids Tare	67	73	85	66	75	67	66	80	64	67		
Masse Totale materiau humide	426	487	373	376	480	499	417	470	519	523		
Masse Totale materiau sec	415	475	359	362	454	471	389	439	477	482		
Masse du matériau sec	348	402	274	296	379	404	323	359	413	415		
Masse d'eau	11	12	14	14	26	28	27	31	42	41		
Teneur en eau	3.1	2.9	5.1	4.7	6.8	6.9	8.6	8.6	10.1	9.9		
Teneur en eau	3.0		4.9		6.8		8.6		10.1			
DENSITES	10		09		07		06		01			
DENSITE HUMIDE	2,18		2,30		2,44		2,425		2,335			
DENSITE SECHE	2,115		2,19		2,27		2,23		2,12			
	7150		7359		7212		7541		7389			

Entreprise — Mission de Contrôle
06



SOGEA SATOM — Burkina Faso
Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou

AGEIM Ingénieurs Conseils

PHASE DE PREPARATION MATERIAUX
IDENTIFICATION Grave Naturelle Analyse granulométrique selon norme NF P 94-056

REFERENCE MATERIEL

N° série tamis	T1
Balance N°	009
Etuve N°	002

DOSSIER N° | CHANTIER : ENO

I - ECHANTILLON

N° ECHANTILLON	1565
DATE PRELEVEMENT	03/04/17
NATURE	GNL + Concassé 0/31,5
PROVENANCE	Emplt 18 Pada N°1
DATE DE RECEPTION	

II - ESSAI

DATE ESSAI	10/04/17
TECHNICIEN	De Lambrandé

FORMULATION

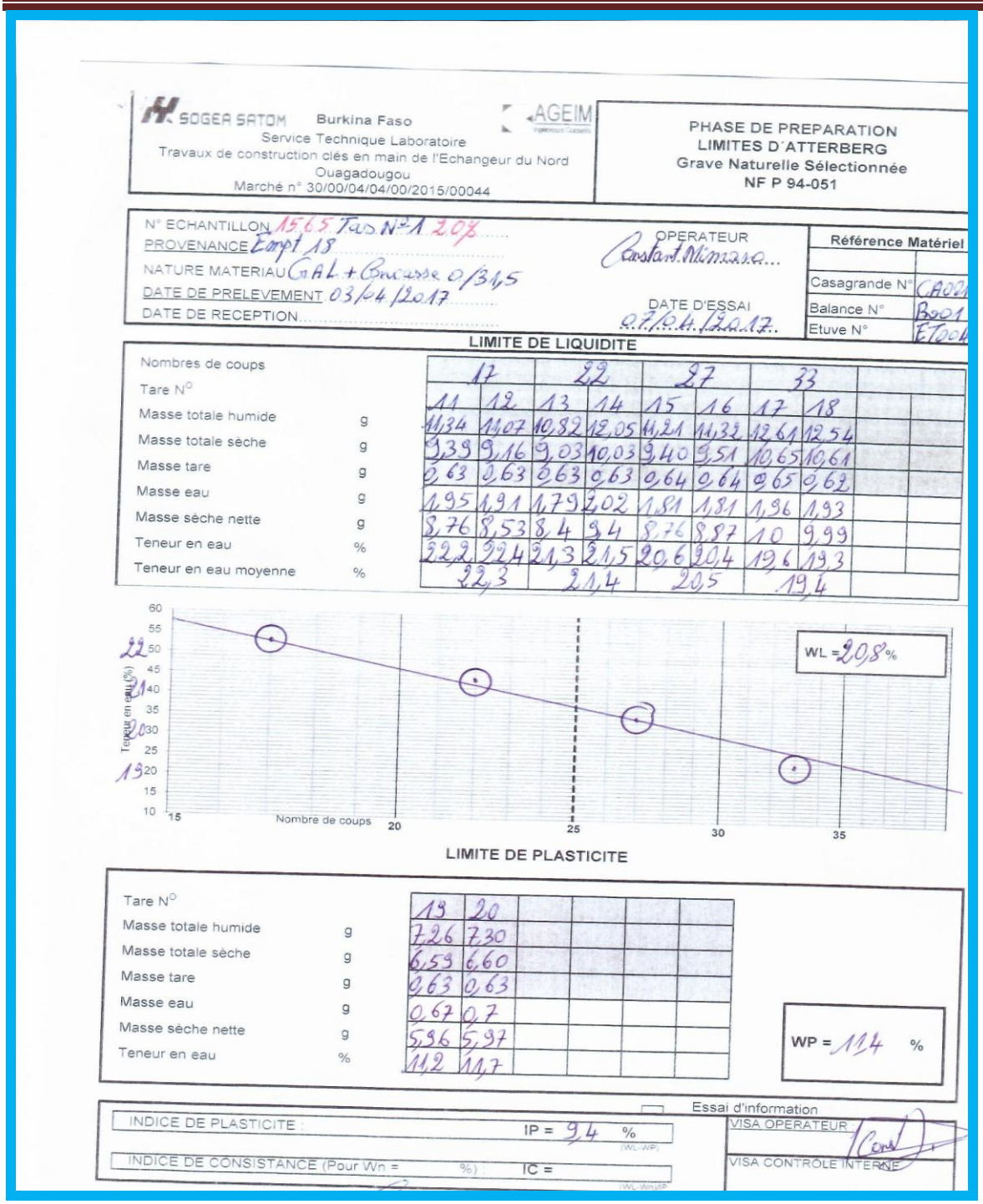
Nature	N° ENR	Dosage

Soda 3,0%

Module AFNOR	Tamis (mm)	Poids cumulés des refus	% Refus cumulés	% Passants cumulés
48	50			
47	40	76	1,5	98,5
46	31,5	172	3,0	97,0
45	25	310	5,5	94,5
44	20	469	8,0	92,0
43	16	907	16,0	84,0
42	12,5	1222	22,0	78,0
41	10	1537	27,5	72,0
40	8,0	1929	34,5	65,5
39	6,3	2391	43,0	57,0
38	5	2954	51,5	48,5
37	4,0	3272	59,0	41,0
34	2,0	4026	72,5	27,5
31	1,0	4276	77,0	23,0
28	0,500	4482	80,5	19,5
27	0,400	4561	82,0	18,0
26	0,315	4647	83,5	16,5
24	0,200	4817	86,5	14,5
21	0,100	4964	89,5	10,5
20	0,080	4984	90,0	10,0
Fond Tamis (FT)		164		

Tare 42
Poids total sec (P1) 55,56
Poids total sec après lavage (P2) 4990
Vérification (Fond tamis/P2) < 0.01 0,00

Classification GTR | CU (D60/D10) | CC (D30)²/CU



SOGEA SATOM Burkina Faso
Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou
Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

AGEIM

PHASE DE PREPARATION
LIMITES D'ATTERBERG
Grave Naturelle Sélectionnée
NF P 94-051

N° ECHANTILLON 1565 Tas N°1 20%
PROVENANCE Carpt 18
NATURE MATERIAU GAL + Concasse 0/31,5
DATE DE PRELEVEMENT 03/04/2017
DATE DE RECEPTION

OPERATEUR Constant Nimaga
DATE D'ESSAI 07/04/2017

Référence Matériel
Casagrande N° CA02
Balance N° B001
Etuve N° ETO01

LIMITE DE LIQUIDITE

Nombres de coups		17		22		27		33			
Tare N°		11	12	13	14	15	16	17	18		
Masse totale humide	g	11,34	11,07	10,82	12,05	11,21	11,32	12,61	12,54		
Masse totale sèche	g	9,39	9,16	9,03	10,03	9,40	9,51	10,65	10,61		
Masse tare	g	0,63	0,63	0,63	0,63	0,64	0,64	0,65	0,62		
Masse eau	g	1,95	1,91	1,79	2,02	1,81	1,81	1,96	1,93		
Masse sèche nette	g	8,76	8,53	8,4	9,4	8,76	8,87	10	9,99		
Teneur en eau	%	22,2	22,4	21,3	21,5	20,6	20,4	19,6	19,3		
Teneur en eau moyenne	%	22,3		21,4		20,5		19,4			

LIMITE DE PLASTICITE

Tare N°		19	20				
Masse totale humide	g	7,26	7,30				
Masse totale sèche	g	6,59	6,60				
Masse tare	g	0,63	0,63				
Masse eau	g	0,67	0,7				
Masse sèche nette	g	5,96	5,97				
Teneur en eau	%	11,2	11,7				

WP = 11,4 %

Essai d'information

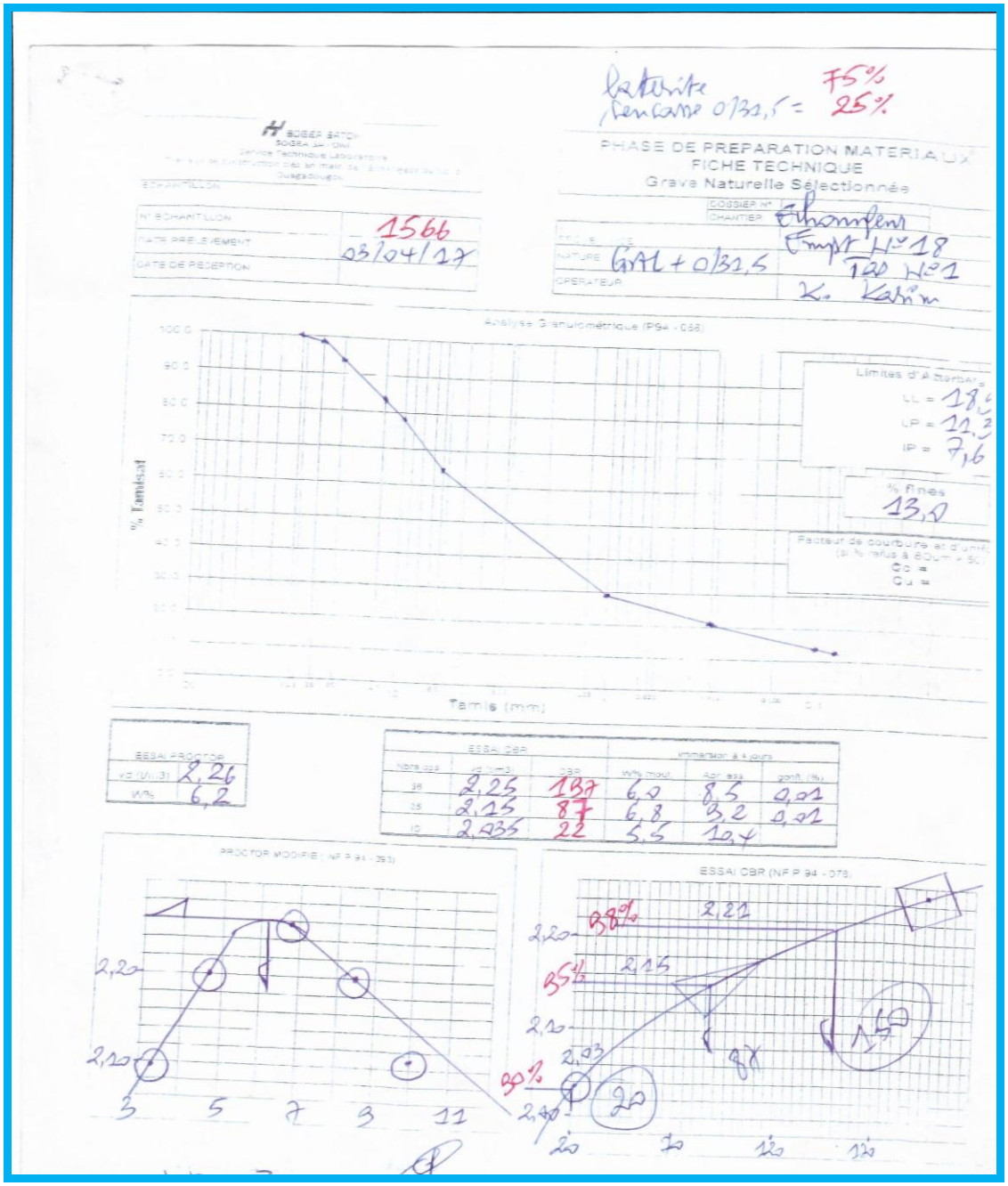
INDICE DE PLASTICITE : IP = 9,4 % (WL-WP)

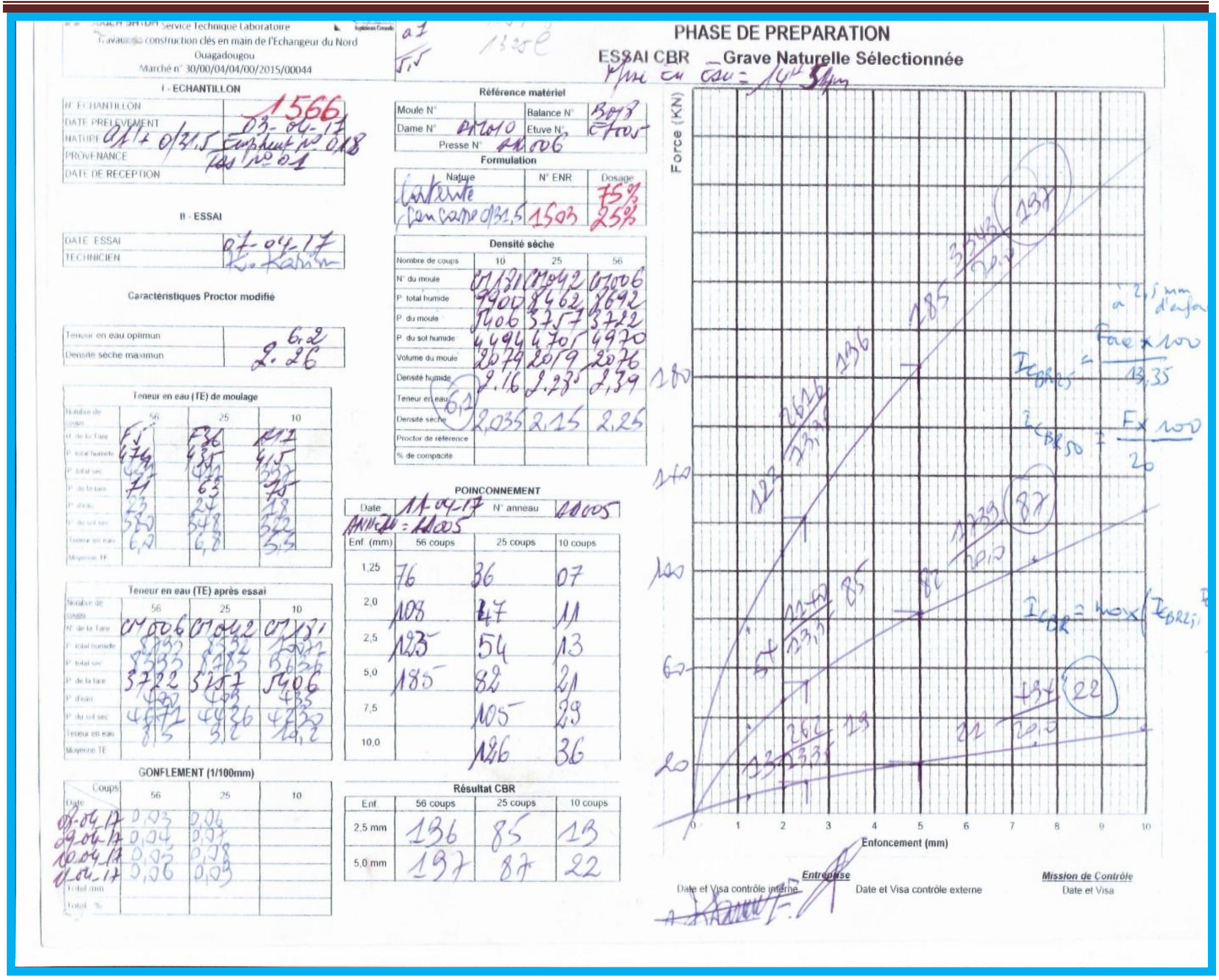
INDICE DE CONSISTANCE (Pour Wn = %) : IC = (WL-Wn)/IP

VISA OPERATEUR

VISA CONTROLE INTERNE

Annexe7 : Les essais de la GAL amélioré à 25% de concassé




Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou
Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

PHASE DE PREPARATION

ESSAI CBR _ Grave Naturelle Sélectionnée

I - ECHANTILLON

N° ECHANTILLON	1566
DATE PRELEVEMENT	03-04-17
NATURE	GNL + 0/31,5
PROVENANCE	Emprunt n° 018
DATE DE RECEPTION	

II - ESSAI

DATE ESSAI	07-04-17
TECHNICIEN	

Caractéristiques Proctor modifié

Teneur en eau optimum	6,2
Densité sèche maximum	2,26

Référence matériel

Moule N°		Balance N°	B018
Dame N°	DA010	Etuve N°	ET005
Presse N°	PR006		

Formulation

Nature	N° ENR	Dosage
Latérite		75%
Concassé 0/31,5	1503	25%

Densité sèche

Nombre de coups	10	25	56
N° du moule	01131	01042	01006
P. total humide	9900	8462	8692
P. du moule	5406	3757	3722
P. du sol humide	4494	4705	4970
Volume du moule	2074	2019	2076
Densité humide	2,16	2,33	2,39
Teneur en eau	6,1		
Densité sèche	2,035	2,15	2,25
Proctor de référence			
% de compacité			

Teneur en eau (TE) de moulage

Nombre de coups	56	25	10
N° de la tare	F5	F36	F12
P. total humide	[illegible]	[illegible]	[illegible]
P. total sec	[illegible]	[illegible]	[illegible]
P. de la tare	71	63	70
P. d'eau	[illegible]	[illegible]	[illegible]
P. du sol sec	550	548	562
Teneur en eau	6,2	6,8	5,5
Moyenne TE			

Teneur en eau (TE) après essai

Nombre de coups	56	25	10
N° de la tare	01006	01042	01131
P. total humide	[illegible]	[illegible]	[illegible]
P. total sec	[illegible]	[illegible]	[illegible]
P. de la tare	3722	3757	5406
P. d'eau	[illegible]	[illegible]	[illegible]
P. du sol sec	[illegible]	4436	[illegible]
Teneur en eau	8,5	[illegible]	[illegible]
Moyenne TE			

GONFLEMENT (1/100mm)

Date / Coups	56	25	10
07-04-17	0,03	0,04	
09-04-17	0,04	0,07	
10-04-17	0,05	0,08	
11-04-17	0,06	0,09	
Total mm			
Total %			

POINCONNEMENT

Date: 11-04-17 — N° anneau: AN005

Enf. (mm)	56 coups	25 coups	10 coups
1,25	76	36	07
2,0	108	47	11
2,5	125	54	13
5,0	185	82	21
7,5		105	29
10,0		126	36

Résultat CBR

Enf	56 coups	25 coups	10 coups
2,5 mm	136	85	13
5,0 mm	197	87	22

Force (kN)

Enfoncement (mm)

Date et Visa contrôle interne — Entreprise

Date et Visa contrôle externe

Mission de Contrôle — Date et Visa

EMA

SOGEA SATOM — Burkina Faso — Service Technique Laboratoire — Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou — Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044 — AGEIM

PHASE DE PREPARATION
ESSAI PROCTOR MODIFIE
Grave Naturelle Sélectionnée
Norme NF P 94.093

DOSSIER N°		CHANTIER	EN

I - ECHANTILLON

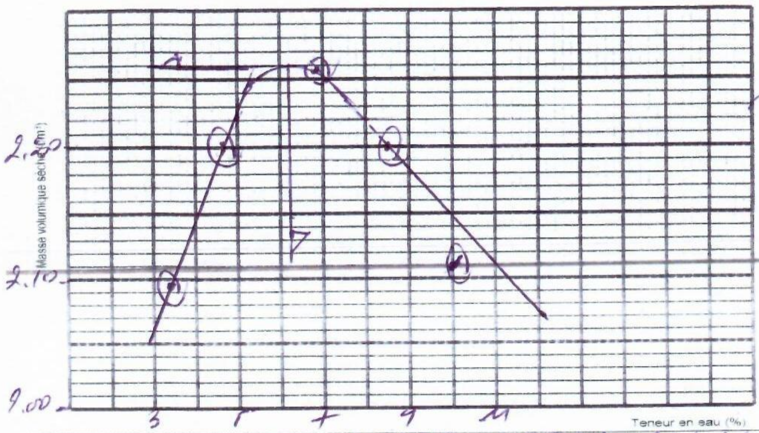
N° ECHANTILLON	1566
DATE PRELEVEMENT	03/04/17
NATURE	GAL + 0/31,5 (PPD N°1)
PROVENANCE	Empt N° 18
DATE DE RECEPTION	

REFERENCE MATERIEL

Moule N°	CM209
Dame N°	DM010
Balance N°	B018
Etuve N°	ET003

II - ESSAI

DATE ESSAI	06/04/17
TECHNICIEN	



2%166 4%332 6%466 8%597 10%830

FORMULATION

Constituants	N° ENR.	DOSAGE %
Latérite		75%
Concassé 0/31,5	1503	25%

Type de Moule	

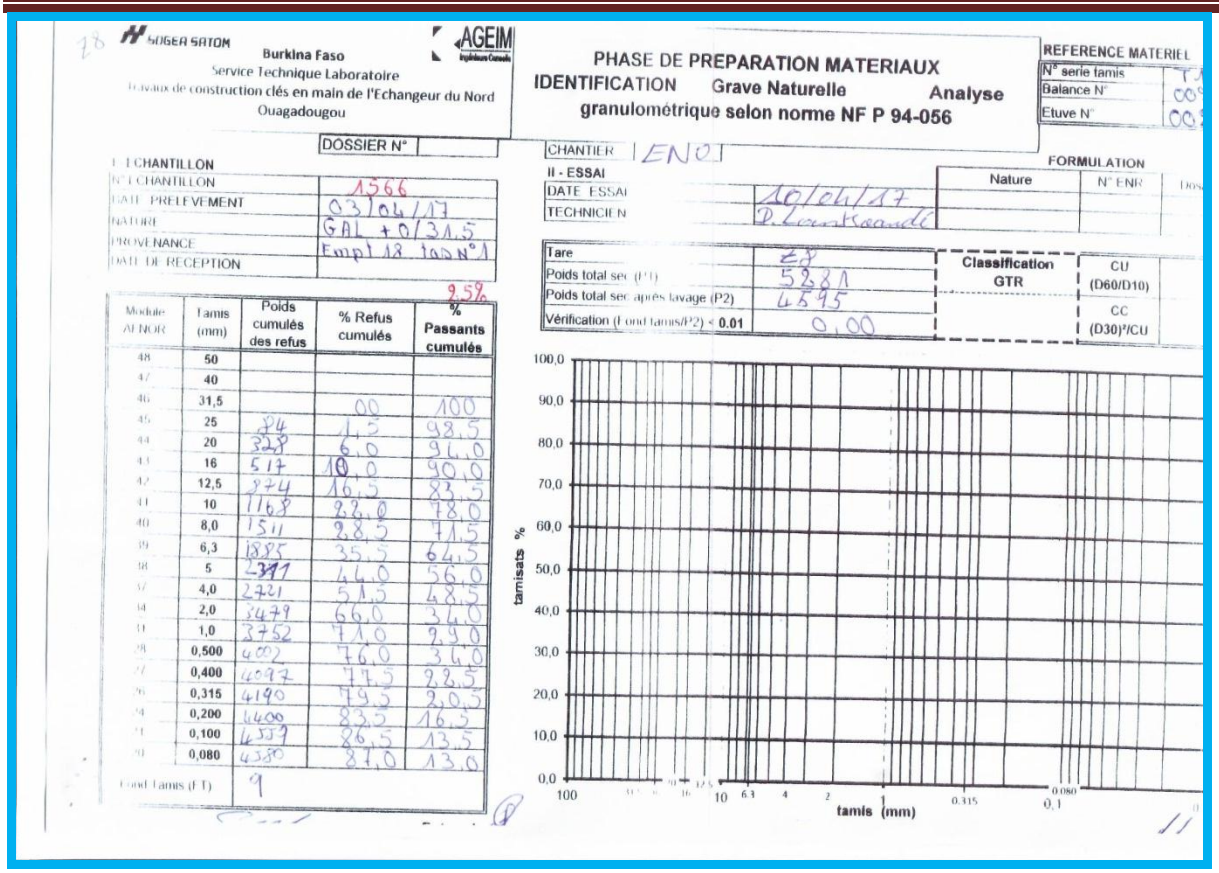
Densite Humide Max. : t/m3	
Teneur en eau Optimum : %	6,2
Densite Sèche Max. : t/m3	2,26
Refus au tamis 20 mm : %	
Poids spécifique : t/m3	
Teneur en eau Opt. Corrigée: %	
Densité Sèche Max. corrigée; t/m3	

ESSAI N°	1		2		3		4		5		6
Masse du moule	3771		3771		3771		3771		3771		
Poids Total Humide (Moule + matériau)	8210		8498		8708		8671		8521		
Volume du moule	2049		2049		2049		2049		2049		
Masse de materiau humide	4439		4727		4937		4900		4750		
N° de Tare	F52	A1	F14	F44	C26	F29	A49	B16	F53	F16	
Poids Tare	64	76	62	61	64	67	80	81	63	63	
Masse Totale materiau humide	391	428	387	398	350	385	407	425	342	315	
Masse Totale materiau sec	380	417	368	383	332	364	385	398	317	292	
Masse du matériau sec	316	341	306	322	268	297	305	317	254	229	
Masse d'eau	11	11	15	15	18	21	18	27	25	23	
Teneur en eau	3.4	32	49	46	67	70		8.5	98	10.0	
Teneur en eau	3.3		4.7		6.8		8.5		10.0		
DENSITES	13		04		08		05				
DENSITE HUMIDE	2,165		2,301		2,41		2,39		2,32		
DENSITE SECHE	2,095		2,20		2,255		2,20		2,11		

8311 8300 7768 7468 8309

Entreprise — Mission de Contrôle

07



SOGEA SATOM — Burkina Faso
Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou

AGEIM

PHASE DE PREPARATION MATERIAUX
IDENTIFICATION Grave Naturelle **Analyse granulométrique selon norme NF P 94-056**

REFERENCE MATERIEL
N° série tamis
Balance N°
Etuve N°

DOSSIER N°

CHANTIER : ENDJ

I - ECHANTILLON
N° ECHANTILLON : 1566
DATE PRELEVEMENT : 03/04/17
NATURE : GAL + 0/31,5
PROVENANCE : Empl 18 tas N°1
DATE DE RECEPTION :

II - ESSAI
DATE ESSAI : 10/04/17
TECHNICIEN : D. Constantin

FORMULATION

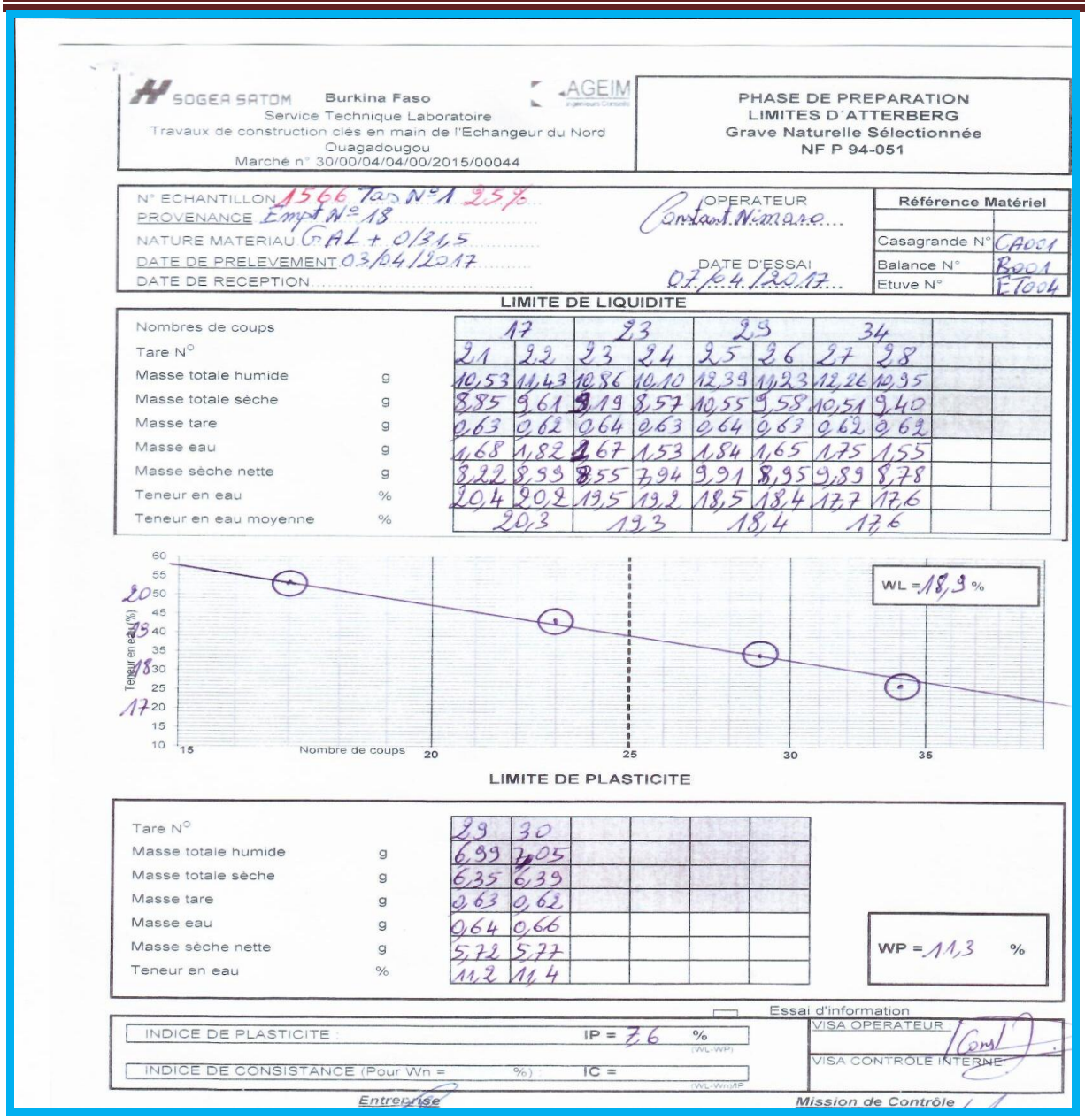
Nature	N° ENR

Tare	28
Poids total sec (P1)	5281
Poids total sec après lavage (P2)	4695
Vérification (Fond tamis/P2) < 0.01	0,00

Classification GTR
CU (D60/D10)
CC (D30)²/CU

2,5%

Module AFNOR	Tamis (mm)	Poids cumulés des refus	% Refus cumulés	% Passants cumulés
48	50			
47	40			
46	31,5		00	100
45	25	84	1,5	98,5
44	20	329	6,0	94,0
43	16	517	10,0	90,0
42	12,5	774	16,5	83,5
41	10	1163	22,0	78,0
40	8,0	1511	28,5	71,5
39	6,3	1885	35,5	64,5
38	5	2311	44,0	56,0
37	4,0	2721	51,5	48,5
34	2,0	3479	66,0	34,0
31	1,0	3752	71,0	29,0
28	0,500	4002	76,0	24,0
27	0,400	4097	77,5	22,5
26	0,315	4190	79,5	20,5
24	0,200	4400	83,5	16,5
21	0,100	4559	86,5	13,5
20	0,080	4580	87,0	13,0
Fond Tamis (FT)		9		



SOGEA SATOM Burkina Faso — AGEIM

Service Technique Laboratoire

Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou

Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

PHASE DE PREPARATION
LIMITES D'ATTERBERG
Grave Naturelle Sélectionnée
NF P 94-051

N° ECHANTILLON 1566 Tas N°1 25%
PROVENANCE Empt N° 18
NATURE MATERIAU GAL + 0/31,5
DATE DE PRELEVEMENT 03/04/2017
DATE DE RECEPTION

OPERATEUR Constant Nimaga
DATE D'ESSAI 07.04.2017

Référence Matériel	
Casagrande N°	CA001
Balance N°	B001
Etuve N°	E-T004

LIMITE DE LIQUIDITE

Nombres de coups		17		23		29		34	
Tare N°		21	22	23	24	25	26	27	28
Masse totale humide	g	10,53	11,43	10,86	10,10	12,39	11,23	12,26	10,95
Masse totale sèche	g	8,85	9,61	9,19	8,57	10,55	9,58	10,51	9,40
Masse tare	g	0,63	0,62	0,64	0,63	0,64	0,63	0,62	0,62
Masse eau	g	1,68	1,82	1,67	1,53	1,84	1,65	1,75	1,55
Masse sèche nette	g	8,22	8,99	8,55	7,94	9,91	8,95	9,89	8,78
Teneur en eau	%	20,4	20,2	19,5	19,2	18,5	18,4	17,7	17,6
Teneur en eau moyenne	%	20,3		19,3		18,4		17,6	

LIMITE DE PLASTICITE

Tare N°		29	30
Masse totale humide	g	6,99	7,05
Masse totale sèche	g	6,35	6,39
Masse tare	g	0,63	0,62
Masse eau	g	0,64	0,66
Masse sèche nette	g	5,72	5,77
Teneur en eau	%	11,2	11,4

WP = 11,3 %

Essai d'information

INDICE DE PLASTICITE : IP = 7,6 % (WL-WP)

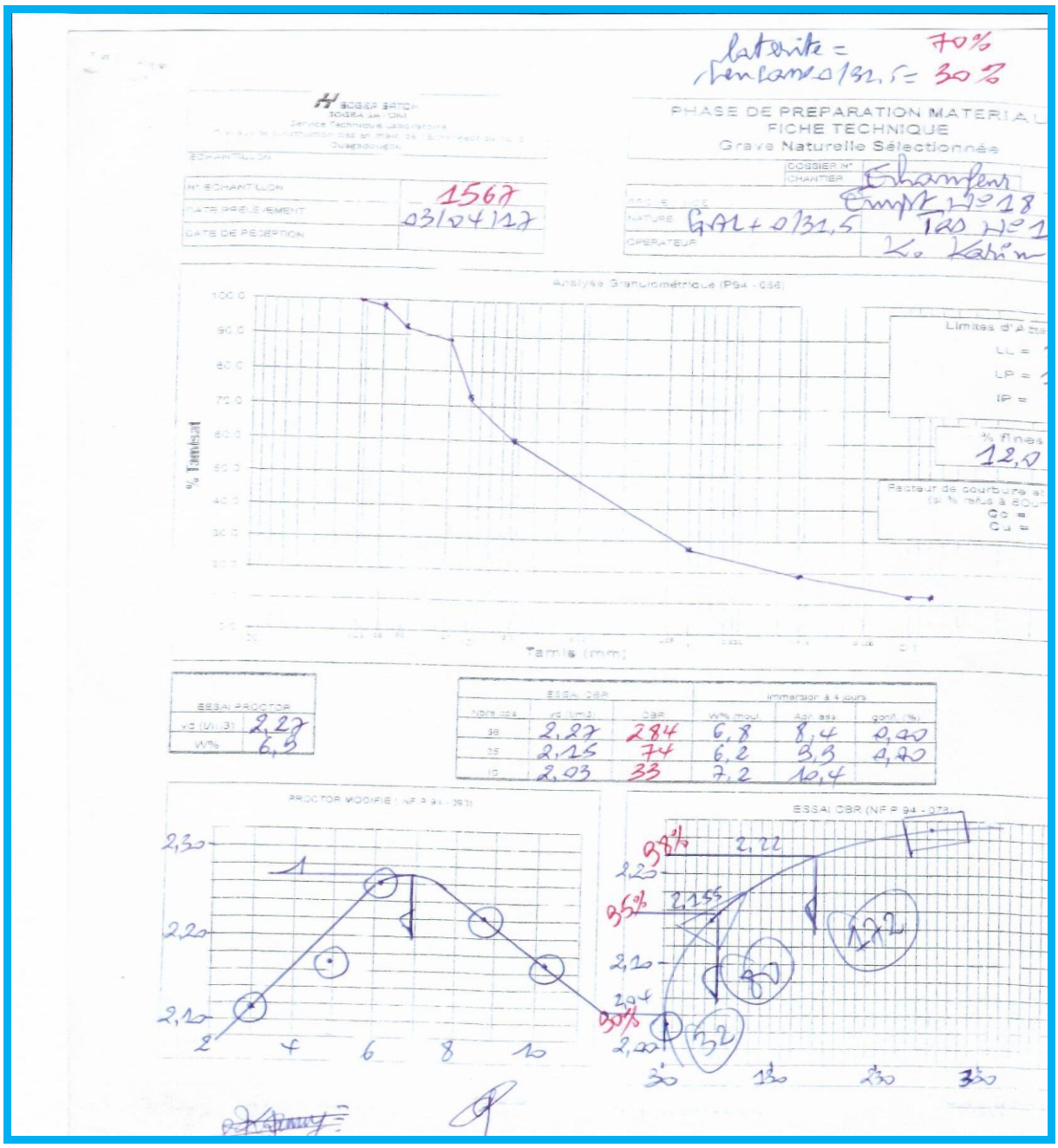
INDICE DE CONSISTANCE (Pour Wn = %) IC = (WL-Wn)/IP

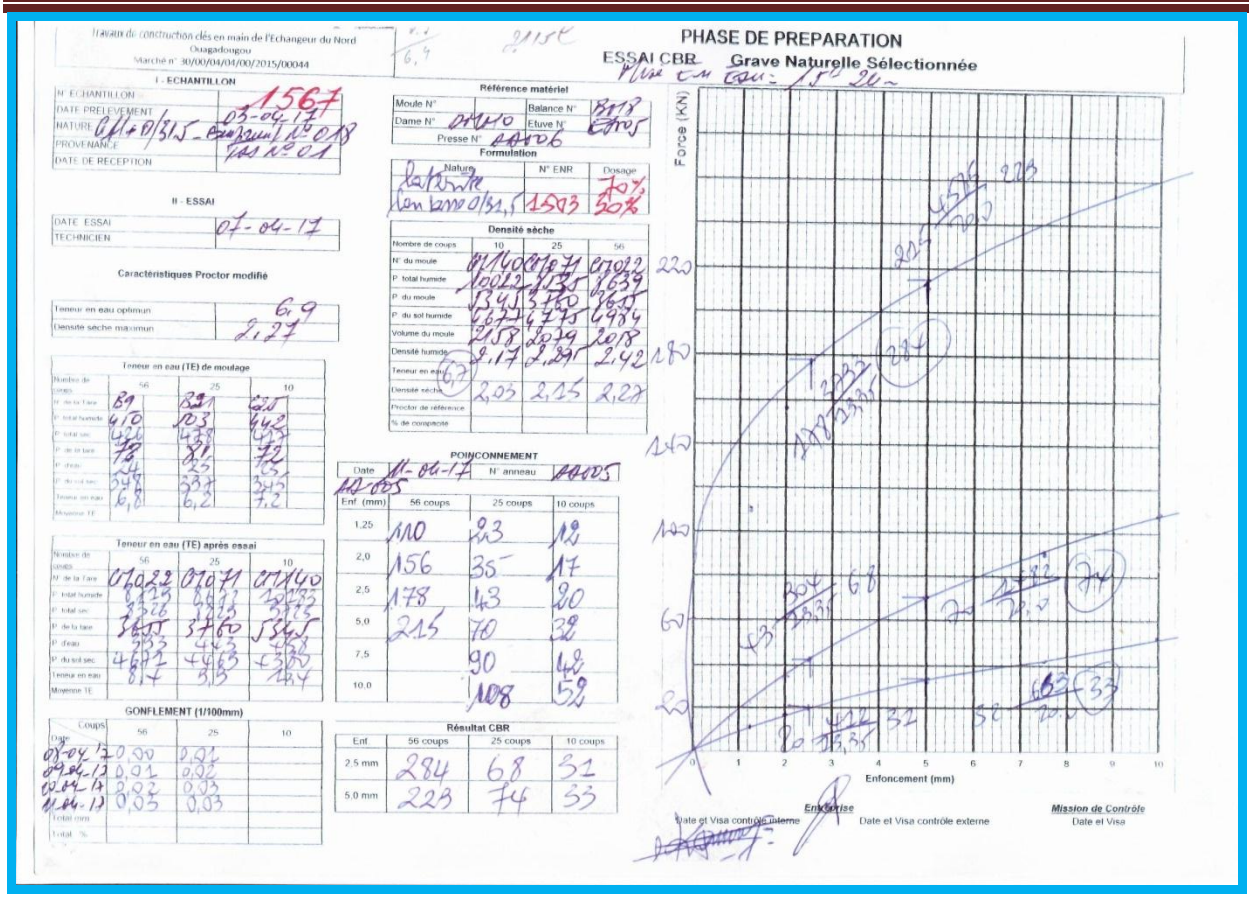
VISA OPERATEUR

VISA CONTROLE INTERNE

Entreprise — Mission de Contrôle

Annexe8 : Les essais de la GAL amélioré à 30% de concassé





Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou
Marché n° 30/000/04/00/2015/00044

PHASE DE PREPARATION

ESSAI CBR Grave Naturelle Sélectionnée

I - ECHANTILLON

N° ECHANTILLON	1567
DATE PRELEVEMENT	03-04-17
NATURE	GNS 0/31,5
PROVENANCE	
DATE DE RECEPTION	

II - ESSAI

DATE ESSAI	07-04-17
TECHNICIEN	

Référence matériel

Moule N°		Balance N°	
Dame N°		Etuve N°	
Presse N°			

Formulation

Nature	N° ENR	Dosage
Latérite		70%
Gravillons 0/31,5	1593	30%

Caractéristiques Proctor modifié

Teneur en eau optimum	6,9
Densité sèche maximum	2,27

Densité sèche

Nombre de coups	10	25	56
N° du moule			
P. total humide			
P. du moule			
P. du sol humide			
Volume du moule			
Densité humide			
Teneur en eau			
Densité sèche	2,03	2,15	2,27
Proctor de référence			
% de compactage			

Teneur en eau (TE) de moulage

	56	25	10
N° de la tare	89		
P. total humide			
P. total sec			
P. de la tare			
P. eau			
P. du sol sec			
Teneur en eau			
Moyenne TE			

Teneur en eau (TE) après essai

	56	25	10
Nombre de coups			
N° de la tare			
P. total humide			
P. total sec			
P. de la tare			
P. eau			
P. du sol sec			
Teneur en eau			
Moyenne TE			

POINÇONNEMENT

Date 11-04-17 N° anneau

Enf. (mm)	56 coups	25 coups	10 coups
1,25			
2,0			
2,5			
5,0			
7,5			
10,0			

GONFLEMENT (1/100mm)

Date	Coups 56	25	10
07-04-17	0,00		
08-04-17			
09-04-17			
10-04-17			
Total mm			
Total %			

Résultat CBR

Enf.	56 coups	25 coups	10 coups
2,5 mm	284	68	31
5,0 mm	223	74	33

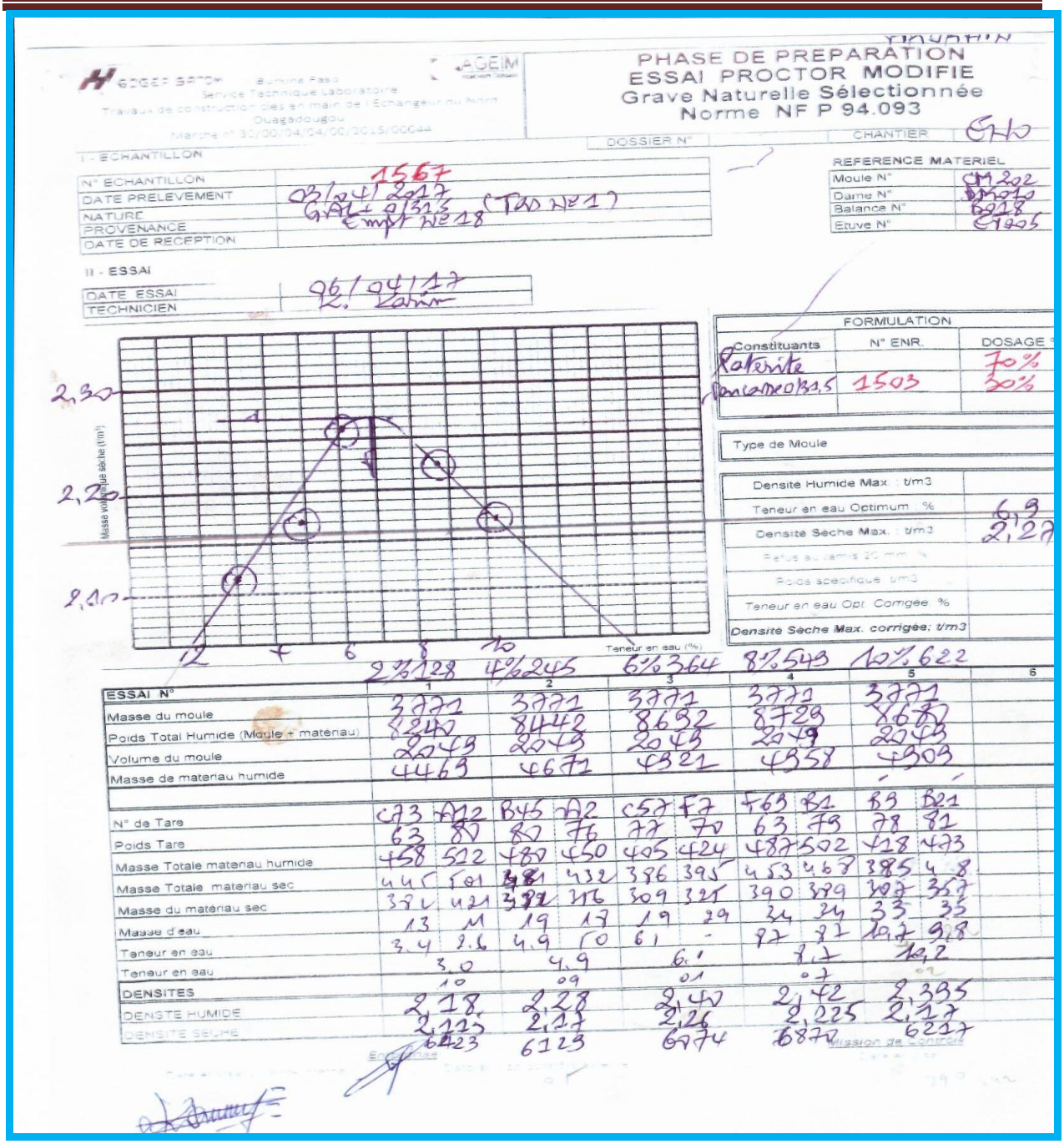
Force (KN)

Enfoncement (mm)

Entreprise
Date et Visa contrôle interne

Date et Visa contrôle externe

Mission de Contrôle
Date et Visa



PHASE DE PREPARATION
ESSAI PROCTOR MODIFIE
Grave Naturelle Sélectionnée
Norme NF P 94.093

I - ECHANTILLON

N° ECHANTILLON	1567
DATE PRELEVEMENT	03/04/2017
NATURE	GNL 0/31,5 Empt N°18 (TAO N°1)
PROVENANCE	
DATE DE RECEPTION	

REFERENCE MATERIEL

Moule N°	CM202
Dame N°	DM070
Balance N°	6218
Etuve N°	E1905

II - ESSAI

DATE ESSAI	06/04/17
TECHNICIEN	

FORMULATION

Constituants	N° ENR.	DOSAGE
Latérite		70%
Concassé 0/31,5	1503	30%

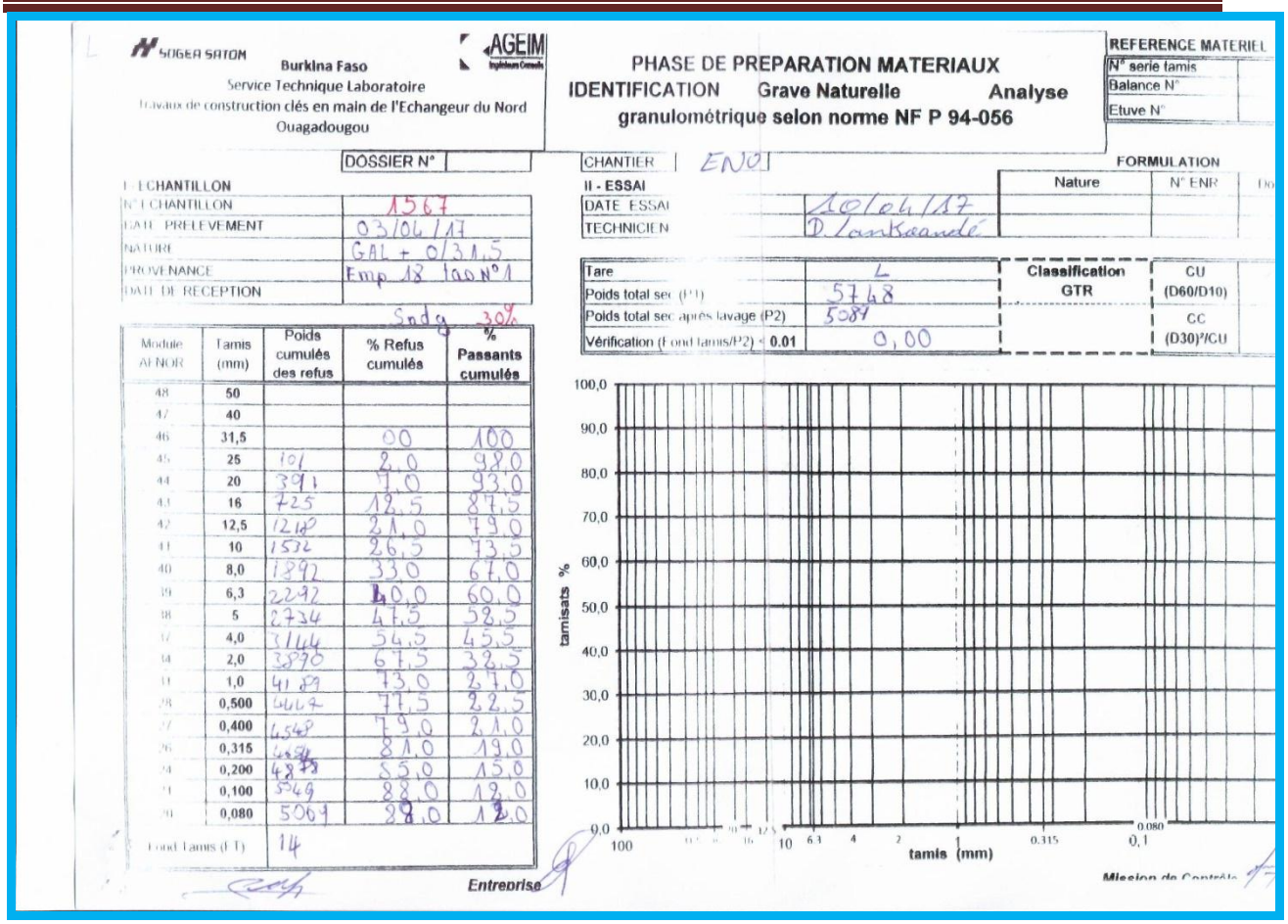
Type de Moule

Densité Humide Max. t/m3	
Teneur en eau Optimum %	6,9
Densité Sèche Max. t/m3	2,27
Refus au tamis 20 mm %	
Poids spécifique t/m3	
Teneur en eau Opt. Corrigée %	
Densité Sèche Max. corrigée: t/m3	

Masse volumique sèche (t/m³) : 2,30 ; 2,20 ; 2,10

Teneur en eau (%) : 2% 128 ; 4% 245 ; 6% 364 ; 8% 543 ; 10% 622

ESSAI N°	1	2	3	4	5	6
Masse du moule	3771	3771	3771	3771	3771	
Poids Total Humide (Moule + materiau)	8240	8442	8632	8729	8680	
Volume du moule	2049	2049	2049	2049	2049	
Masse de materiau humide	4469	4671	4521	4358	4309	
N° de Tare	C73 A12	B45 A2	C57 F7	F63 B1	B3 B21	
Poids Tare	63 80	80 76	77 70	63 79	78 82	
Masse Totale materiau humide	458 522	480 450	405 424	487 502	428 473	
Masse Totale materiau sec	445 501	481 432	386 395	453 468	385 428	
Masse du materiau sec	382 421	382 356	309 325	390 389	307 357	
Masse d'eau	13 11	19 17	19 29	34 34	33 35	
Teneur en eau	3,4 3,6	4,9 5,0	6,1 -	9,7 8,7	10,7 9,8	
Teneur en eau	3,0	4,9	6,1	8,7	10,2	
	1,0	0,9	0,1	0,7	0,9	
DENSITES						
DENSITE HUMIDE	2,18	2,28	2,47	2,12	2,105	
DENSITE SECHE	2,123	2,227	2,226	2,225	2,227	
	6423	6123	6774	6870	6217	



SOGEA SATOM — Burkina Faso
Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou

AGEIM

PHASE DE PREPARATION MATERIAUX
IDENTIFICATION Grave Naturelle **Analyse granulométrique selon norme NF P 94-056**

REFERENCE MATERIEL
N° série tamis
Balance N°
Etuve N°

DOSSIER N°

CHANTIER | ENDI

I - ECHANTILLON
N° ECHANTILLON: 1567
DATE PRELEVEMENT: 03/04/17
NATURE: GAL + 0/31,5
PROVENANCE: Emp 18 100 N°1
DATE DE RECEPTION:

II - ESSAI
DATE ESSAI: 10/04/17
TECHNICIEN: D. Lankoandé

FORMULATION

Nature	N° ENR

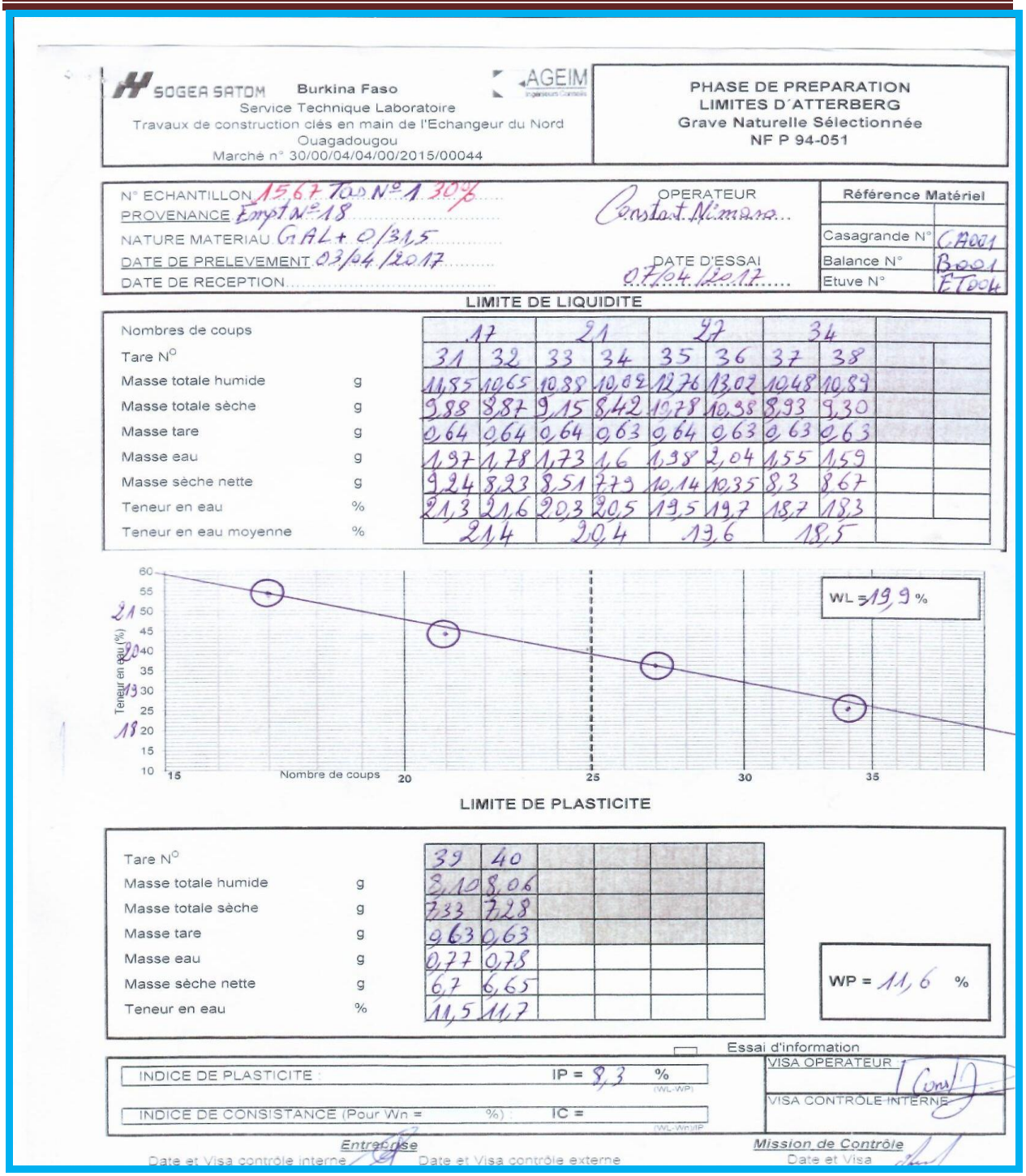
Sody 30%

Module AFNOR	Tamis (mm)	Poids cumulés des refus	% Refus cumulés	% Passants cumulés
48	50			
47	40		00	100
46	31,5	101	2,0	98,0
45	25	391	7,0	93,0
44	20	725	12,5	87,5
43	16	1212	21,0	79,0
42	12,5	1532	26,5	73,5
41	10	1892	33,0	67,0
40	8,0	2292	40,0	60,0
39	6,3	2734	47,5	52,5
38	5	3144	54,5	45,5
37	4,0	3870	67,5	32,5
34	2,0	4179	73,0	27,0
31	1,0	4467	77,5	22,5
28	0,500	4548	79,0	21,0
27	0,400	4688	81,0	19,0
26	0,315	4873	85,0	15,0
24	0,200	5049	88,0	12,0
21	0,100	5069	88,0	12,0
20	0,080			
	Fond Tamis (FT)	14		

		Classification GTR	CU (D60/D10)
Tare	L		
Poids total sec (P1)	5748		
Poids total sec après lavage (P2)	5084		CC (D30)²/CU
Vérification (Fond tamis/P2) < 0.01	0,00		

Entreprise

Mission de Contrôle



SOGEA SATOM Burkina Faso — AGEIM
Service Technique Laboratoire
Travaux de construction clés en main de l'Echangeur du Nord Ouagadougou
Marché n° 30/00/04/04/00/2015/00044

PHASE DE PREPARATION
LIMITES D'ATTERBERG
Grave Naturelle Sélectionnée
NF P 94-051

N° ECHANTILLON 1567 Tab N°1 30%
PROVENANCE Empl N°18
NATURE MATERIAU GAL + 0/31,5
DATE DE PRELEVEMENT 03/04/2017
DATE DE RECEPTION
OPERATEUR Constant Nimaga
DATE D'ESSAI 07/04/2017

Référence Matériel	
Casagrande N°	CA001
Balance N°	B001
Etuve N°	ET004

LIMITE DE LIQUIDITE

Nombres de coups		17		21		27		34			
Tare N°		31	32	33	34	35	36	37	38		
Masse totale humide	g	11,85	10,65	10,38	10,02	12,76	13,02	10,48	10,89		
Masse totale sèche	g	9,88	8,87	9,15	8,42	10,78	10,98	8,93	9,30		
Masse tare	g	0,64	0,64	0,64	0,63	0,64	0,63	0,63	0,63		
Masse eau	g	1,97	1,78	1,73	1,6	1,98	2,04	1,55	1,59		
Masse sèche nette	g	9,24	8,23	8,51	7,79	10,14	10,35	8,3	8,67		
Teneur en eau	%	21,3	21,6	20,3	20,5	19,5	19,7	18,7	18,3		
Teneur en eau moyenne	%	21,4		20,4		19,6		18,5			

LIMITE DE PLASTICITE

Tare N°		39	40				
Masse totale humide	g	8,10	8,06				
Masse totale sèche	g	7,33	7,28				
Masse tare	g	0,63	0,63				
Masse eau	g	0,77	0,78				
Masse sèche nette	g	6,7	6,65				
Teneur en eau	%	11,5	11,7				

WP = 11,6 %

Essai d'information

INDICE DE PLASTICITE : IP = 8,3 % (WL-WP)

INDICE DE CONSISTANCE (Pour Wn = %) : IC = (WL-Wn)/IP

VISA OPERATEUR

VISA CONTRÔLE INTERNE

Entreprise
Date et Visa contrôle interne

Date et Visa contrôle externe

Mission de Contrôle
Date et Visa