



**LA LITHOSTABILISATION EN COUCHE DE
CHAUSSEE : CAS DE LA VOIRIE URBAINE DE
SABANGALI (N'DJAMENA- TCHAD).**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER. EN SCIENCE D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE CIVIL

Présenté et soutenu publiquement le 26 Octobre 2015 par

NASSIR Abakar Dima Tallaf

Travaux dirigés par : **GUEYE Ismaïla**, Enseignant - chercheur à 2iE

Et

BOUTERAA Bechir, Chef de mission contrôle, Cabinet ICC

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Ismaïla GUEYE

Membres et correcteurs : M. KOKOLE Koffi

M. OUEDRAOGO Arnaud

Promotion

[2014/2015]

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

- *Mon très cher papa Abakar Dima Tallaf, pour son dévouement à la réussite de mes études, pour ses innombrables et importantes aides ;*
- *Ma très chère maman Zara Ali, pour son amour maternel indéfectible ;*
- *Ma femme, pour sa patiente ;*
- *Mes frères et sœurs, pour leurs encouragements ;*
- *La grande famille Dima Tallaf, pour leurs souhaits à la réussite de leur fils.*
- *Mes amis et camarades de classe, pour leurs conseils ;*
- *Tous ceux qui m'ont soutenu de diverses manières durant mon cursus scolaire et universitaire.*

Que le Seigneur vous le rende au centuple !

Remerciements

Avant tout, nous rendons grâce à **ALLAH** de nous avoir accordé la vie et la santé.

Je tiens dans un premier temps à remercier toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé durant ma formation d'ingénieur. Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'obtention de ce stage et à son encadrement.

Ma gratitude va tout particulièrement à :

- Mon enseignant et mon tuteur pédagogique **M. Ismaïla GUEYE** pour l'encadrement et la disponibilité ;
- Monsieur **Kilone NDILABAYE**, Directeur Général des Routes, de m'avoir orienté vers le bureau de Contrôle pour effectuer mon stage ;
- Monsieur **Brahim ADOUM**, Directeur Général de l'Ingénierie-Conseil-Contrôle (ICC), de m'avoir accueilli dans son équipe ;
- Messieurs **Mbenoun Daniel DECHAMBRE** et **Béchir BOUTERAA**, respectivement ingénieur géotechnicien et chef de mission pour leurs encadrements durant le stage ;
- Tout le personnel de l'Ingénierie-Conseil-Contrôle pour leurs disponibilités à répondre à toutes nos préoccupations ;
- **Au président de jury**, ainsi qu'à tous **les membres du jury** pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger et de contribuer à l'amélioration de ce travail ;
- Mes amis et frères **Mouctar ALDJIBERT**, **Ahmed Patrick YERBANGA**, **MAHAMAT Hamida Moustapha**, **Moussa T. SOMA**, **OUEDRAOGO Walid Franck Lionel** toutes mes remerciements de m'avoir aidé d'une manière ou autre.
- Tous les étudiants du 2iE (2010-2015) pour la bonne ambiance et l'esprit de paix et d'harmonie qu'ils ont su préserver au sein de l'Institut;
- La communauté tchadienne du 2iE (AET-2iE) et toute la grande communauté tchadienne au Burkina-Faso (AESET-BF) pour l'ambiance fraternelle qu'elles ont su créer autour de nous durant tout notre séjour au Burkina-Faso (2010-2015).

Je souhaite également adresser mes remerciements :

- Au corps enseignant de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement pour la qualité formation reçue;

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à l'élaboration de ce travail, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Résumé

De nos jours l'accès aux matériaux de viabilité devient de plus en plus rare lors de la réalisation des projets routiers. Ce constat a conduit à des techniques d'amélioration des performances de matériaux utilisables en couche de chaussée.

La lithostabilisation est l'une de ces techniques et elle consiste à améliorer la portance ou résistance des sables limoneux utilisés en couche de fondation à N'Djamena (Tchad) par ajout d'une quantité de concassé déterminée ultérieurement. La détermination de ce taux optimal d'amélioration ainsi que l'intérêt de montrer les avantages de cette technique sont au centre du présent projet d'étude qui a pour thème : « *la lithostabilisation en couche de chaussée : cas de la voirie urbaine de Sabangali (N'Djamena-Tchad)* ». »

Les essais d'identification (analyse granulométrie et limites d'Atterberg) et de portance (Proctor modifié et CBR) ont été réalisés sur plusieurs mélanges de sable limoneux et de concassé de classe 0/31,5 (10%, 15%, 20% et 30% de concassé). Le pourcentage des fines (passants au tamis de 0,08mm) a baissé de 26,43% au sable limoneux à 15,80% dans le mélange à 20%, ainsi l'indice de plasticité passe aussi de 10,45 à 8,30. Une analyse de l'évolution de la densité sèche du sable limoneux litho stabilisé a montré que la densité sèche satisfaisante est atteinte pour une amélioration à 20% de concassé. L'analyse de la variation de la portance du sable limoneux stabilisé en fonction du concassé basaltique a montré que celle-ci est suffisante pour une amélioration à 20% de concassé pour la couche de fondation.

L'amélioration du sable limoneux au concassé basaltique à un taux de 20% avec une énergie de compactage à 95% de l'OPM vérifie bien les conditions figurant dans le cahier des clauses techniques particulières ; et par conséquent a été retenu pour le projet.

Mots clés :

- 1. Lithostabilisation ;**
- 2. Sable limoneux ;**
- 3. Amélioration ;**
- 4. Essais d'identification et de portance ;**
- 5. Sabangali (N'Djamena-Tchad).**

Abstract

Nowadays the problem related to the availability of feasible materials arouse repeatedly during road constructions. This analysis has led to approaches of improving the performances of usable materials in layer of pavement.

The lithostabilisation is one of these techniques and it consists in improving the floor load capacity of slimy sands used in foundation layer in Djamena (Chad) by adding a well determined quantity of crushed basalts. The ascertainment of this optimal rate of improvement as well as the real purpose of showing the advantages of this technique are the main goal of this themed project : "*the lithostabilisation in layer of pavement: case of the urban road network of Sabangali (Djamena-Chad).*"

The assays of identification (analysis of granulometry and limits of Atterberg) and the floor load capacity (Proctor modified and CBR) have been achieved on several combinations of slimy sand and crushed basalts from class 0/31,5 (10%, 15%, 20% and 30% of crushed basalts). The percentage of the fines (passing by the riddle of 0,08mm) lowered to 26, 43% to 15,80% in the slimy sand and to 20% in the mixture, thus bringing the index of plasticity from 10,45 to 8,30. An analysis of the evolution of the dry density of the consolidated slimy litho sand revealed that the required dry density is reached for an improvement of 20% of crushed basalt. The analysis of the variation of the floor load capacity of consolidated slimy sand geared to crushed basalt showed that it's sufficient for an improvement of 20% of crushed basalt for the foundation layer.

The improvement of the slimy sand with crushed basalt to a rate of 20% with an energy of compaction to 95% of the MOP (Modified Optimal Proctor) abide by the conditions stated in the technical specifications; and has been kept therefore for the project.

Key words:

- 1. Lithography stabilization ;**
- 2. Slimy sand ;**
- 3. Improvement ;**
- 4. Essays identification and floor load capacity ;**
- 5. Sabangali (N'Djamena-Chad).**

Table des matières

<i>Dédicace</i>	i
<i>Remerciements</i>	ii
<i>Résumé</i>	iii
<i>Liste de tableaux</i>	vii
<i>Liste de figures</i>	viii
<i>Sigles et abréviations</i>	ix
INTRODUCTION.....	1
1. Contexte général et problématique.....	1
2. Hypothèses.....	2
3. Objectifs.....	2
3.1. Objectif général.....	2
3.2. Objectifs spécifiques.....	2
4. Méthodologie.....	3
I. PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE.....	4
1.1. Présentation de la structure d'accueil.....	4
1.2. Description du projet.....	5
1.3. Intervenants et références du projet.....	6
1.4. Localisation de la zone du projet.....	7
II. GENERALITES SUR LES CHAUSSEES.....	8
2.1. Définitions.....	8
2.2. Rôles des différentes couches de chaussée.....	8
2.2.1. La couche de forme.....	8
2.2.2. La couche de fondation.....	9
2.2.3. La couche de base.....	9
2.2.4. La couche de surface (revêtement).....	9
2.3. Les types de chaussées revêtues.....	10
2.3.1. Les chaussées souples ou flexibles.....	10
2.3.2. Les chaussées semi-rigides.....	10
2.3.3. Les chaussées rigides.....	11
2.4. Paramètres de conception d'une chaussée.....	11
2.4.1 Le trafic.....	11
2.4.2 Le sol support.....	12
III. ESSAIS D'IDENTIFICATION ET DE PORTANCE DES MATERIAUX EN PLACE.....	13
3.1. Echantillonnage - NF P 18-553.....	13
3.2. Analyse granulométrique par tamisage - NF P 94-056.....	13
3.3. Limites d'Atterberg - NF P 94-051.....	13
3.4. Essai Proctor modifié - NF P 94-09.....	14
3.5. Indice CBR - NF P 94-09.....	14
IV. TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES MATERIAUX.....	15
4.1. Généralités.....	15
4.2. Différentes méthodes de traitement des matériaux.....	15

4.2.1. Traitement chimique	15
4.2.2. Traitement aux liants hydrocarbonés	17
4.2.3. Traitement mécanique par apport de matériaux	17
V. TECHNIQUE DE LA LITHO STABILISATION	19
5.1. Définition et principe.....	19
5.2. Etude de l'existant	19
5.3. Mise en œuvre de la lithostabilisation	20
5.3.1. Principe de la mise en œuvre	20
5.3.2. Durée de la mise en œuvre.....	21
5.4. Avantages de la lithostabilisation	22
VI. ANALYSES ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS	23
6.1. Essais d'identification et de la portance des matériaux.....	23
6.2. Analyses et interprétations des résultats du sable limoneux litho stabilises.....	28
6.2.1. Variations de la granulométrie en fonction des mélanges	28
6.2.2. Variation du Proctor en fonction des mélanges	28
6.2.3. Variation de la Portance en fonction des mélanges	29
6.2.4. Variation de la limite d'Atterberg en fonction des mélanges	30
6.3. Proportion de la lithostabilisation retenue pour le projet	30
6.4. Essais in situ	32
6.4.1. Essai de compacité.....	32
6.4.2. Essai de déflexion	33
6.5. Vérification par logiciel Alize III du Lcpc	34
6.5.1. Calcul des contraintes et déformations	35
6.5.2. Vérification des contraintes et déformations	35
6.5.2. Les vérifications à faire.....	36
VII. ETUDE D'IMPACTS.....	37
7.1. Impacts environnementaux.....	37
7.2. Impacts socio-économiques.....	37
7.3. Mesures d'atténuation.....	37
CONCLUSION	39
RECOMMANDATIONS.....	40
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	41
ANNEXES	x
Annexes 1 : les fiches des essais	xi
Annexes 2 : Les photos de planches d'essais	xxiii
Annexes 3 : La simulation de logiciel Alizé.....	xxvi

Liste de tableaux

Tableau 1 : Granulométrie de la couche de fondation (CCTP) -----	5
Tableau 2 : Granulométrie de la couche de base (CCTP)-----	6
Tableau 3: la pluviométrie annuelle-----	7
Tableau 4 : catégories de trafic -----	12
Tableau 5: classes des sols en fonction de portance -----	12
Tableau 6 : Dosages pour le traitement de sols par les liants hydrocarbonés -----	17
Tableau 7 : les avantages de la lithostabilisation-----	22
Tableau 8 : Résultats des échantillons à SABANGALI-----	23
Tableau 9: Emprunt de Klessoum-----	24
Tableau 10 : essais d'identifications de concassé -----	25
Tableau 11 : la litho avec différents proportions de mélange -----	27
Tableau 12 : caractéristiques des couches de chaussée (CCTP) -----	34
Tableau 12 : résultats de simulation sur le logiciel Alizé-----	36

Liste de figures

Figure 1 : la zone du projet par le trait rouge -----	7
Figure 2 : les couches de chaussée -----	8
Figure 3 : la mise en œuvre de la lithostabilisation -----	21
Figure 4 : courbes de variation de la granulométrie -----	28
Figure 5 : histogrammes de variations de Proctor -----	29
Figure 6 : histogrammes de variations du CBR -----	29
Figure 7 : histogrammes de variations de limites d'Atterberg -----	30
Figure 8 : courbe granulométrique du sable limoneux litho stabilisé à 20% -----	31
Figure 9 : courbe Proctor du sable limoneux litho stabilisé à 20% -----	31
Figure 10 : courbe déformation-effort du sable limoneux litho stabilisé à 20% -----	31
Figure 11 : courbe du CBR du sable limoneux litho stabilisé à 20 -----	32
Figure 12 : appareil de mesure de la compacité (gamma densimètre troxler 3440)-----	32
Figure 13 : poutre de Benkelman-----	33
Figure 14 : essai de la déflexion-----	33
Figure 15 : Moteur de calcul Alizé-----	35

Sigles et abréviations

BB : Béton Bitumineux

CBR: Californian Bearing Ratio

CCTP : Cahier de Clauses Techniques Particulières

D : Déflexion

Dopt : Densité Optimum

EE : Essieux Equivalents

F CFA : Franc de Communauté Financière Africaine

ICC: Ingénierie Conseil Contrôle

IP : Indice de Plasticité

KN: Kilo Newton

L.A: Los Angeles

LCPC: Laboratoire Centre de Ponts et Chaussées

LNBTP : Laboratoire National de Bâtiment et de Travaux Publics

m : mètre

M : Moyenne

M.D.E : Micro Deval

NF: Norme Française

OPM: Optimum Proctor Modifié

PL: Poids Lourds

SETRA: Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

Wl: Limite de liquidité

Wp : Limite de plasticité

% : Pourcentage

INTRODUCTION

Le réseau routier est un facteur d'émergence, de communication, de transport et de développement socio-économique. Le dimensionnement d'une route inclut plusieurs paramètres parmi lesquels l'on peut citer : le trafic, le sol support, la qualité technique du projet, ainsi que la disponibilité des matériaux de viabilité. Aujourd'hui, de par le monde, le problème de disponibilité des matériaux de viabilité se pose de plus en plus avec acuité dans la réalisation des projets routiers.

Le Tchad, qui est un pays en voie de développement, soucieux de la pérennité de ces infrastructures routières qui sont de plus en plus sollicités à travers l'accroissement des trafics ne fait pas l'exception de cette réalité, car les matériaux de base de la ville N'Djamena ne répondent plus à l'exigence prescrite en couche de chaussée notamment celle de la fondation.

C'est ainsi que dans le souci de répondre à cette exigence toute fois en cherchant une amélioration des matériaux en place que ce présent mémoire nous reflète.

1. Contexte général et problématique

Les sables limoneux ont été longtemps utilisés comme matériaux de réalisation en couche de fondation dans des réseaux routiers du Tchad plus particulièrement ceux du N'Djaména. Cela se traduit par la disponibilité de ces matériaux et le fait qu'ils soient moins dispendieux dans l'aménagement.

Mais de nos jours, en tenant compte de l'explosion démographique et de l'extension de la ville, les infrastructures routières sont fortement sollicitées à cause de l'accroissement du trafic. Ainsi, le sable limoneux qui était un matériau de viabilité a montré ses limites par sa faible portance entraînant une forte dégradation du réseau routier.

Donc la quête permanente des ingénieurs routiers est de trouver des matériaux structurés, plus denses, moins gonflants et ayant des fortes portances pour la réalisation de différentes couches de la chaussée, afin de satisfaire aux sollicitations internes et externes.

Cependant, la qualité du sable limoneux étant moindre par rapport aux spécifications prescrites, toute idée d'amélioration des caractéristiques de ce matériau serait plus avantageuse.

C'est dans ce cadre que la mission de contrôle a demandé à la Direction générale des routes du Tchad, à mener des études au laboratoire dans l'objectif d'améliorer les caractéristiques du sable limoneux par adjonction de concassé (0/31,5) : **d'où la lithostabilisation.**

2. Hypothèses

Dans cette étude, quelques hypothèses ont été formulées :

- La lithostabilisation est une technique de traitement qui permet aux matériaux sableux limoneux d'avoir une meilleure portance ;
- La lithostabilisation est une technique de traitement facile à mettre en œuvre et moins coûteuse.

3. Objectifs

3.1. Objectif général

L'objectif général de ce travail est d'effectuer les études devant permettre l'exécution des travaux de bitumage de la voirie urbaine de Sabangali dans les respects de conditions optimales (qualité, coût et délai).

3.2. Objectifs spécifiques

De manière spécifique, il sera question :

- d'étudier les matériaux constitutifs de la couche de fondation ;
- de proposer une amélioration par apport de matériaux ;
- de déterminer le pourcentage de concassé qui donnerait une meilleure portance au couche de fondation.

4. Méthodologie

Afin de bien mener cette étude, la procédure suivante a été adoptée :

- une visite de chantier a été réalisée. Cette visite avait pour but de faire les prélèvements des matériaux à l'emprunt du chantier ;
- les matériaux prélevés sont soumis à des essais d'identification (analyse granulométrique, limite d'Atterberg) et des essais de portance (Proctor, CBR) ;
- une étude d'identification de concassé dont la roche mère est la rhyolite a été effectuée ;
- suite à une étude d'identification du mélange des matériaux de l'emprunt (sable limoneux) et de concassée, une amélioration a été apportée. Cette amélioration a consisté à faire une série de mélanges à différentes proportions dans le but d'obtenir un matériau répondant aux exigences du cahier de prescriptions techniques ;
- le matériau amélioré a été appliqué dans le cadre de cette étude d'aménagement de la voirie urbaine de Sabangali dans la ville de N'Djamena (Tchad) ;
- une vérification de dimensionnement antérieure sera faite par le logiciel Alizé.

En sus de ce qui précède, ce travail comportera des généralités sur les chaussées, les techniques de traitement des matériaux et une étude sommaire d'impact environnementale.

I. PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE

1.1. Présentation de la structure d'accueil

Le bureau d'étude chargé de la surveillance et du contrôle de travaux de l'aménagement de la route de la Corniche à Sabangali et des voies transversales, nommé **ICC (Ingénierie-Conseil- Contrôle) SARL**, est une structure dans laquelle nous avons effectués nos travaux de mémoire, sous la recommandation de la direction générale des routes. ICC a été créé le 26 Janvier 2011, son numéro de registre de commerce est : RCCM TC/NDJ/11 B 80 ; Son siège social : BP 472 N'Djamena (Tchad) ; gérer par un directeur général et dont l'autorisation administratif est N°374/MCI/DC/11.

Le bureau a pour missions :

- la réalisation d'études, de contrôle de travaux routiers et des ouvrages de génie civil et d'expertises en appui au secteur de production du bâtiment et des travaux publics ;
- la participation aux différents appels d'offres et consultation.

A ce titre, **Ingénierie-Conseil-Contrôle (ICC)**, travaille avec une équipe d'experts locaux et expatriés. Pour atteindre les principaux objectifs des prestations techniquement correctes et viables, **ICC-SARL** réunit en son sein une équipe d'ingénieurs et experts multidisciplinaires nationaux et internationaux. Leur mobilisation est immédiate après les conclusions des mandats et contrats. Les prestations sont les suivantes :

- les études et contrôles géotechniques ;
- les expertises en matière de géotechnique dans le domaine des routes, pistes, aérodromes, bâtiments et ouvrages d'art ;
- les contrôles de la qualité des matériaux de construction ;
- les contrôles des équipements ;
- architecture et urbanisme ;
- les réseaux d'assainissements
- les audits, les conseils et la formation.

ICC emploie 30 agents locaux, 2 ingénieurs expatriés et est doté d'un laboratoire géotechnique et des brigades topographiques.

1.2. Description du projet

En prélude du sommet¹ de l'union africaine que le Tchad s'est porté volontaire pour son organisation, la construction des voies bitumées et des hôtes s'est avérée plus que nécessaire. Par conséquent, le projet d'aménagement de la Corniche de Sabangali et des voiries transversales a vu le jour.

Et d'après le cahier des clauses techniques particulières, les matériaux pour les couches de chaussées doivent répondre aux caractéristiques suivantes :

❖ **Remblais, couche de forme :**

- les matériaux doivent avoir un indice CBR > 10, mesuré à 92% de l'OPM.
- Ils ne devront pas être gonflants et devront contenir moins de 2% de matières organiques.
- L'indice de plasticité sera < 20 ;

❖ **Couche de fondation :** elle sera réalisée avec du sable limoneux qui devra satisfaire aux conditions suivantes :

- Indice de plasticité < 10 ;
- Limite de liquidité < 30 ;
- Passant à 80 µm < 20 ;
- CBR à 95% de la compacité de l'OPM > 30 ;
- Etre exempts de matières végétales et organiques ;

Tableau 1 : Granulométrie de la couche de fondation (CCTP)

Dimension (mm)	% Passant
20	100
2	70 - 100
0,4	15 - 70
0,08	10 - 30

¹ Sommet de juin 2015

- ❖ **Couche de base** : les matériaux mis en œuvre devront répondre aux spécifications suivantes :

Tableau 2 : Granulométrie de la couche de base (CCTP)

Dimension (mm)	% Passant
40.00	100
31.50	95 – 100
20.00	64 – 90
10.00	40 – 70
6.30	25 – 50
2.00	20 – 42
0.50	10 – 26
0.08	2 – 10

- Indice de plasticité < 5
- Equivalent de sable > 40
- Indice de concassage = 100%
- Los Angeles < 45
- CBR > 80 à 98 % de l'OPM

1.3. Intervenants et références du projet

Entreprise attributaire : SOGEA- SATOM

Contrôle et surveillance : ICC SARL

Maître de l'ouvrage : Ministère chargé des Infrastructures et Equipements

Source de financement : Budget de l'Etat du Tchad

Montant TTC : 12 944 755 874 FCFA

Délai d'exécution : 14 mois

1.4. Localisation de la zone du projet

La ville de N'Djamena (Tchad) qui abrite le site du projet est située dans une plaine alluviale plate sur la rive nord du Chari à avec une altitude qui varie de 293 à 298 présentant de formation géologique de type sédimentaire et quaternaire avec une alternance de dépôts d'alluvion ou lacustres fins sableux, sablo limoneux et d'argile noire gonflante.

Elle est soumise à un climat sahélo saharien qui est caractérisé par deux saisons : une saison sèche plus longue, hiver et printemps et une saison humide en été. La température maximale va de 41 à 50°C et minimale de 10 à 18°C. La pluviométrie annuelle varie entre 490 à 610 mm (Voir tableau ci-dessous)

Tableau 3: la pluviométrie annuelle

Année	2009	2010	2011	2012	2013
Hauteur (mm)	555,3	567,6	493,8	613,2	508,1

Source : Division de la climatologie /DREM/Mai/2013

Le quartier Sabangali qui est le lieu de notre projet se situe dans la partie sud de la ville de N'Djaména séparant la ville camerounaise de Kousséri par le fleuve Chari.

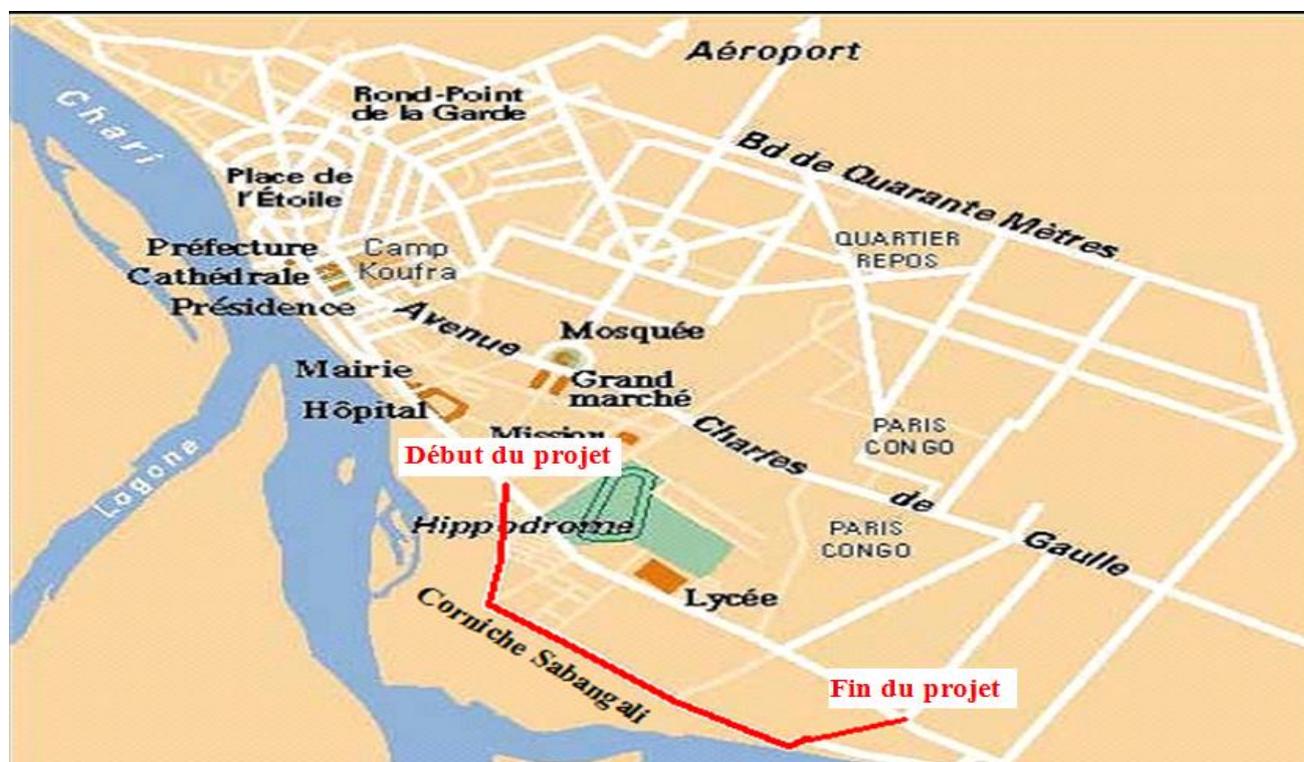


Figure 1 : la zone du projet : par le trait rouge

II. GENERALITES SUR LES CHAUSSEES

2.1. Définitions

Une chaussée peut être définie comme une structure plane, conçue et dimensionnée pour garantir l'écoulement du trafic dans de bonnes conditions de visibilité, de sécurité et de confort pour les usagers et assurer une fonction pour une période de service minimale fixée au stade de l'élaboration du projet. Elle se présente comme des structures multicouches (*voir figure 2*) mises en œuvre sur un ensemble appelé plate-forme support de chaussée constituée de sol terrassé (dit sol support) surmonté généralement d'une couche de forme. (LCPC ; SETRA, 1994).

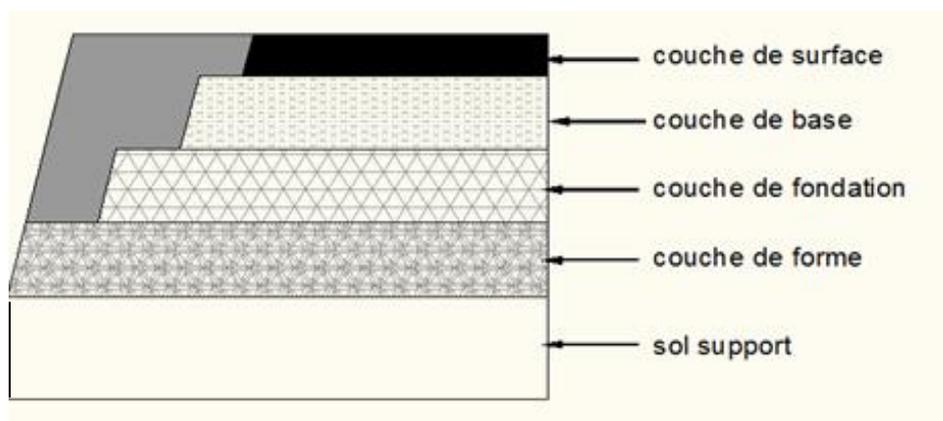


Figure 2 : les couches de chaussée

2.2. Rôles des différentes couches de chaussée

2.2.1. La couche de forme

Cette couche de transition entre le sol support et le corps de chaussée a un double rôle :

- pendant la phase de travaux, elle protège le sol support, elle établit une qualité de nivellement et permet la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée ;
- vis-à-vis du fonctionnement mécanique de la chaussée, elle permet de rendre plus homogènes et éventuellement d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place ainsi que de les protéger des intempéries

[Conception et de dimensionnement des structures de chaussée : Guide technique, 1994]

2.2.2. La couche de fondation

C'est la couche immédiatement au-dessus de la plateforme, ou couche de forme, elle joue comme rôle la répartition de façon homogène les contraintes sur le sol support. Cette couche doit être bien compactée pour éviter les tassements ultérieurs. Les matériaux qui la composent doivent être structurés, plus denses, moins gonflants et de forte portance (CBR supérieur ou égal 30%) afin d'éviter les problèmes du gonflement souterrain qui peuvent survenir.

2.2.3. La couche de base

Elle constitue avec la couche de fondation, l'assise de la chaussée. Elle est soumise à des contraintes verticales, à l'effet de poinçonnement dû à la pression des pneumatiques et des contraintes de cisaillement. Elle doit être constituée de matériaux suffisamment durs et avoir une bonne résistance à la fragmentation.

Elle doit avoir un CBR supérieure ou égale à 80 pour une densité sèche correspondant à 98% de l'OPM. Si le matériau n'atteint pas cette portance, il devra être traité. Et pour cela il faut au moins que le matériau à l'état naturel présente un CBR supérieur à 60 afin de satisfaire aux spécifications requises en matière de résistance et de portance.

2.2.4. La couche de surface (revêtement)

La couche de surface ou de revêtement permet d'adoucir la surface de roulement, d'assurer la distribution des charges transmises dans la chaussée, dans le sol et de protéger l'assise contre l'action des intempéries. Un bon revêtement doit donc pouvoir jouer les rôles suivants :

- résister aux déformations, et à l'usure rapide, aux sollicitations et efforts tangentiels exercés par les charges roulants ;
- présenter un uni de surface durable de façon à assurer, durant toute la durée de vie, un confort de roulement aux véhicules à vitesse élevée ;
- assurer une évacuation rapide des eaux de ruissellement et garantir une adhérence élevée ;
- être suffisamment imperméable pour empêcher les infiltrations des eaux superficielles.

Cette couche doit être accompagnée par une couche de liaison dans le cas de forts trafics.

2.3. Les types de chaussées revêtues

Dans le document intitulé « Guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussée», le LCPC et le SETRA ont classé les chaussées revêtues en six types à savoir: les chaussées souples, les chaussées semi-rigides, les chaussées rigides, les chaussées mixtes, les chaussées inverses et les chaussées bitumineuses épaisses.

Mais il faut noter qu'au Tchad tout comme dans la plupart des pays africains, on utilise les types des chaussées revêtues qui sont : les chaussées souples, les chaussées semi-rigides et quelques fois les chaussées rigides dans la zone à forte inondation.

2.3.1. Les chaussées souples ou flexibles

Ces chaussées tiennent leur nom du fait qu'elles ont l'aptitude de se déformer sans se rompre sous l'action des sollicitations. Elles distribuent les efforts de surface à travers les couches de base et de fondation de façon que l'effort sur la plate-forme soit compatible avec la résistance de l'infrastructure et du sol. Elles sont constituées d'une couche bitumineuse en surface et d'une assise en matériau granulaire. L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 et 60 cm et dépend du trafic souvent faible et du climat.

2.3.2. Les chaussées semi-rigides

Encore appelées chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques, elles se différencient des chaussées souples par le fait que la couche de base doit être traitée au liant afin de lui conférer une rigidité plus élevée. La chaussée ainsi obtenue supporte un trafic plus élevé et les contraintes transmises au sol support sont aussi plus faibles. D'une épaisseur variant généralement entre 20 et 50 cm, la structure se compose d'un revêtement bitumineux, d'une couche de base améliorée au ciment et d'une couche de fondation en matériaux granulaires traités ou non.

2.3.3. Les chaussées rigides

Ces structures comportent une couche de béton de ciment de 15 à 40 cm d'épaisseur qui sert de couche de roulement, éventuellement recouverte d'une couche mince en matériaux bitumineux. La couche de béton repose soit sur une couche de fondation (en matériaux traités aux liants hydrauliques ou en béton maigre), soit sur une couche drainante en grave non traitée, soit sur une couche d'enrobé reposant elle-même sur une couche de forme traitée aux liants hydrauliques. La dalle de béton peut être continue avec un renforcement longitudinal (« béton armé continu »), ou discontinue avec ou sans éléments de liaison aux joints. Ces chaussées sont par conséquent peu déformables et elles absorbent la charge afin d'éviter une déformation, sur la fondation ou l'infrastructure, susceptible de causer la rupture. Pour des trafics élevés, ces types de chaussées ont des performances mécaniques très intéressantes, comparées aux autres types de structures et leur durée de vie est beaucoup plus élevée.

2.4. Paramètres de conception d'une chaussée

Bien que l'objectif spécifique de l'étude soit l'amélioration des matériaux en couche de fondation par l'application de la technique de la lithostabilisation, il est jugé nécessaire de présenter les paramètres le plus influents dans la conception d'une chaussée ; qui sont entre autres le trafic et le sol support.

2.4.1 Le trafic

Le trafic peut être défini comme le nombre de véhicules qui passent par une unité de temps sur une route. L'étude de trafic est un élément fondamental qui intervient en amont de toute réflexion relative à l'aménagement de l'infrastructure routière. Elle aide à déterminer le type d'aménagement qui convient depuis le simple traitement d'un carrefour jusqu'à la grande liaison autoroutière (dimensionnement, profil en travers et entretien ...).

Le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux répartit cinq (5) classes de trafic en fonction de nombre journalier de véhicules (veh/jr), ou nombre cumulé de Poids Lourds (PL), ou nombre cumulé d'Essieux Equivalents de 13T (EE13T). ET on se réfère à une de ces classes pour le dimensionnement de l'infrastructure.

Tableau 4 : catégories de trafic

Catégorie de trafic proposé	FORMULES D'EXPRESSION DU TRAFIC		
	1	2	3
	Nombre journalier de véhicules (véh/j)	Nombre cumulé de poids lourds (PL)	Nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 T (EE13T)
<i>T1</i>	$100 \leq T < 300$	$1 \times 10^5 \leq T < 5 \times 10^5$	$1 \times 10^5 \leq T < 5 \times 10^5$
<i>T2</i>	$300 \leq T < 1000$	$5 \times 10^5 \leq T < 1,5 \times 10^6$	$5 \times 10^5 \leq T < 1,5 \times 10^6$
<i>T3</i>	$1000 \leq T < 3000$	$1,5 \times 10^6 \leq T < 4 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6 \leq T < 4 \times 10^6$
<i>T4</i>	$3000 \leq T < 6000$	$4 \times 10^6 \leq T < 1 \times 10^7$	$4 \times 10^6 \leq T < 1 \times 10^7$
<i>T5</i>	$6000 \leq T < 12000$	$1 \times 10^7 \leq T < 2 \times 10^7$	$1 \times 10^7 \leq T < 2 \times 10^7$

2.4.2 Le sol support

Le sol support est un élément non négligeable dans la consistance 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. Il doit être suffisamment rigide pour permettre le passage des engins de terrassement, insensible à l'eau et aux intempéries. Sa portance influence pour une grande partie l'épaisseur des couches de chaussée qui reposent sur elle. En effet une bonne portance permet d'éviter les déformations sous chargement lourd ou répété entraînant une dégradation prématurée de la chaussée.

Le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux classe cinq (5) types de sol en fonction de leur portance (CBR).

Tableau 5: classes des sols en fonction de portance

<i>S1</i>	<i>CBR < 5</i>
<i>S2</i>	$5 < CBR < 10$
<i>S3</i>	$10 < CBR < 15$
<i>S4</i>	$15 < CBR < 30$
<i>S5</i>	$CBR > 30$

III. ESSAIS D'IDENTIFICATION ET DE PORTANCE DES MATERIAUX EN PLACE

Les essais d'identification et de Portance consistent à déterminer les propriétés physiques et mécaniques d'un matériau. On procède généralement à des essais de granulométrie, de limites d'Atterberg, de Proctor modifié et de CBR. Par ailleurs, il faut noter que ces essais se font sur un échantillon représentatif du matériau. Ainsi afin d'obtenir un tel échantillon, il faut procéder par une opération appelée l'échantillonnage.

3.1. Echantillonnage - NF P 18-553

L'échantillonnage est l'opération qui permet de prélever une fraction d'un matériau telle que la partie prélevée soit représentative de l'ensemble de la masse ou si l'on veut, que la partie prélevée soit identique à la partie restante. Tous les essais à réaliser dépendent du soin apporté à la réalisation de l'échantillonnage. Il peut s'effectuer de deux manières différentes :

- Par quartage lorsque la quantité de matériau est importante
- Au moyen d'échantillonneurs lorsque la quantité du matériau est moins importante.

3.2. Analyse granulométrique par tamisage - NF P 94-056

Cet essai consiste à déterminer la répartition en poids des grains du sol suivant leur dimension. Le principe consiste à tamiser au moyen d'une série de tamis normalisés à mailles carrées, un échantillon représentatif d'un matériau donné. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

3.3. Limites d'Atterberg - NF P 94-051

Ce sont des teneurs en eau conventionnelles qui fixent un état du sol c'est à dire le degré de plasticité. On les mesure sur la fraction des terres passant au tamis 0,5 mm. Les paramètres mesurés sont la limite de liquidité (Wl), la limite de plasticité (Wp) et l'indice de plasticité (Ip) qui est la différence entre Wl et Wp.

3.4. Essai Proctor modifié - NF P 94-09

L'essai Proctor a pour but de déterminer, pour un compactage d'intensité donnée, la teneur en eau à la quelle doit être compacté pour obtenir la densité sèche maximale.

Le principe de l'essai consiste à humidifier un sol à plusieurs teneurs en eau et à le compacter selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérée, on détermine la masse volumique sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau. De façon générale, cette courbe appelée courbe Proctor présente une valeur maximale de la masse volumique sèche, elle est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces 2 valeurs qui sont appelées caractéristiques de compactage Proctor Modifié.

3.5. Indice CBR - NF P 94-09

L'essai CBR est un essai de portance, c'est-à-dire qu'il permet de mesurer l'aptitude des matériaux à supporter la charge apportée par le pneu sur la chaussée.

Le principe de l'essai CBR est donc de reproduire ce phénomène en compactant le matériau dans les conditions de l'essai Proctor dans un moule CBR puis en mesurant les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de ce matériau.

Les valeurs obtenues lors du poinçonnement sont reportées sur un graphe effort - déformation. On obtient alors trois courbes concaves correspondant aux trois moules poinçonnés. Lire sur chacune des courbes, les valeurs des efforts correspondant à 2,5mm et 5mm d'enfoncement. Ces valeurs sont utilisées pour effectuer les calculs suivants :

$$\frac{\text{effort de pénétration à 2.5 mm d'enfoncement (KN)} * k}{13.5} * 100$$

$$\frac{\text{effort de pénétration à 5 mm d'enfoncement (KN)} * k}{19.35} * 100$$

L'indice recherché par courbe est par convention la plus grande de ces valeurs. Les trois valeurs ainsi obtenues sont utilisées pour le tracé de la courbe indice-densité sèche sur laquelle sont lus les indices CBR après immersion à 90%, 95% et 98% de la densité sèche maximale de référence. Il s'agit d'une courbe indice-densité sèche. [KANAZOE ; 2011]

IV. TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES MATERIAUX

4.1. Généralités

En technique routière, le traitement des matériaux consiste à apporter une stabilité à un sol dont les caractéristiques ne répondent plus à l'exigence demandé. Cependant un matériau est dit stable lorsqu'il caractérise une résistance à l'écoulement latéral sous l'effet d'une charge.

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

Les objectifs recherchés par une stabilisation sont les suivants:

- ✓ augmenter la résistance mécanique et la portance ;
- ✓ améliorer l'aptitude au compactage;
- ✓ diminuer la sensibilité à l'eau;

4.2. Différentes méthodes de traitement des matériaux

Nous avons trois grandes méthodes de traitement des matériaux à savoir :

- Traitement chimique ;
- Traitement aux liants hydrocarbonés ;
- Traitement mécanique par apport de matériaux.

4.2.1. *Traitement chimique*

Le traitement chimique inclut le mélange ou l'injection de substances chimiques dans le sol. Elle permet grâce à la réaction du produit avec les composantes du matériau une augmentation de la cohésion du matériau. Comme produit chimique on peut citer : Ciment, asphalte, chaux, chlorure de calcium, chlorure de sodium, et des feuillets de résidu industriel sont souvent utilisés comme agents de stabilisation chimique.

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

4.2.1.1. Stabilisation au ciment

Elle est plus utilisée en superstructure et consiste à ajouter à un matériau du ciment à des proportions réduites dans le but d'améliorer la cohésion et la résistance de la couche. La prise du ciment entraîne une floculation des particules, surtout les plus petites ; ceci diminue l'argilacé du matériau et sa sensibilité à l'eau.

Donc, il est essentiel de ne pas assimiler les sols ciment aux bétons maigres, car la fabrication du béton maigre exige l'emploi des granulats classiques du béton alors que la préparation d'un sol ciment se fait à partir d'un sol.

4.2.1.2. Stabilisation à la chaux

La chaux vive ou chaux calcinée est une poudre blanchâtre. On l'obtient en faisant brûler du calcaire ou de la marne à une température avoisinant les 900 °C. (*Fvb.ffc constructiv, 2012*).

Elle est utilisée pour stabiliser les sols argileux et limoneux. Car ces sols ont des propriétés routières déplorables, ils gonflent et deviennent plastiques en présence d'eau, se rétractent avec la sécheresse, foisonnent sous l'effet du gel. Ils n'ont donc aucune stabilité face aux variations climatiques. Ils présentent en outre souvent un taux d'humidité élevé. Donc la simple adjonction de chaux dans ces sols permet :

- Une diminution de la teneur en eau due à : l'apport de matériaux secs (chaux), la consommation de l'eau nécessaire à l'hydratation de la chaux (vive) et l'évaporation d'eau suite à la chaleur dégagée par la réaction d'hydratation;
- Des modifications immédiates des propriétés géotechniques du sol : l'incorporation de chaux dans ces sols développe une agglomération des fines particules en éléments grossiers et friables (c'est la floculation) ;
- Des modifications du sol à long terme : car la chaux présente une forte base ce qui permet d'élever le pH du sol et provoque une attaque aux constituants du sol (silice et alumine). [*CIM, septembre 2004*].

4.2.2. *Traitement aux liants hydrocarbonés*

Dans ce cas, le liant en question est un produit hydrocarboné (bitume, émulsion) qui imperméabilise encore plus la structure. Cette forme de stabilisation conduit presque aux mêmes résultats que l'ajout de ciment, sans rigidifier le matériau.

Les dosages à respecter varient en fonction du type d'application, de la nature et de la qualité des matériaux à traiter. [JIKOLUM, 2011]

Tableau 6 : Dosages pour le traitement de sols par les liants hydrocarbonés

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

4.2.3. *Traitement mécanique par apport de matériaux*

C'est l'amélioration du squelette granulaire d'un sol en place par l'adjonction d'un matériau plus grossier afin d'augmenter les possibilités de compactage, ou simplement l'apport d'un matériau nouveau permettant d'améliorer sensiblement les caractéristiques de celui déjà en place. Les principaux aspects sont : le géotextile et la lithostabilisation.

D'après la recommandation du " [Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, 1980] ", je cite : «des améliorations par traitement mécanique seront envisagées :

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

4.2.3.1.Géotextile

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

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

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

Ils définissent les caractéristiques techniques suivantes :

- ✓ résistance à la traction ;
- ✓ allongement à la rupture ;
- ✓ perméabilité ;
- ✓ porosité.

4.2.3.2.Lithostabilisation

La lithostabilisation est une forme de stabilisation mécanique, d'un sol de qualité médiocre par adjonction de concassés ou un matériau plus structuré. Le pourcentage du nouvel apport est souvent supérieur à 10%.

Cette partie du traitement est développée dans le paragraphe suivant, fait l'objet de nos travaux de mémoire.

V. TECHNIQUE DE LA LITHO STABILISATION

5.1. Définition et principe

La lithostabilisation est dérivée de deux mots : litho qui veut dire objet rigide, pierres et stabilisation. C'est une technique qui permet de stabiliser un sol mou ou moins compact en lui ajoutant des pierres ou de matériaux plus rigides.

Ainsi, la lithostabilisation dans le contexte routier, est une technique qui permet d'améliorer les performances des matériaux d'une couche d'assise par adjonction d'une quantité de concassé (ou d'autre matériau structuré) à déterminer.

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

Au Tchad, c'est la première fois que la lithostabilisation a été utilisée et à cause de la faible portance du sable limoneux, matériau fréquemment employé en sous couche de fondation à N'Djamena et ses alentours sur un rayon de 100 km d'une part, et d'autre part des instabilités pouvant provenir de la proximité de la zone de projet avec le fleuve Chari et les terres marécageuses.

5.2. Etude de l'existant

Modifier les propriétés géotechniques des sols pour les rendre aptes à certaines utilisations routières par la lithostabilisation demeure une technique nouvelle dans le cadre de notre projet, néanmoins, elle a fait l'objet de plusieurs études antérieures que ce soit au niveau du continent africain.

Dans un premier temps, cette technique, utilisée aujourd'hui dans plusieurs pays en Afrique subsaharienne est apparue au Burkina-Faso. Elle a pour la première fois été l'objet d'une étude au Laboratoire National de Bâtiment et de Travaux Publics (LNBTP) dans le cadre 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].

Ensuite, Thilloux et Requirand (1983) rapportent aussi les travaux d'exécution des chaussées de la route Tahoua- Arlit au Niger, pour lesquels la lithostabilisation du sol latéritique avec 33% de calcaire concassé a été largement utilisée.

Il y a en plus, l'étude menée par Toé au LNBTP au Burkina Faso en février 2007, montre une application de la lithostabilisation pour le renforcement de la route nationale N°4 de ce pays, par mélange du sol latéritique avec de concassée de classe granulaire 0/31,5 à 20%.

Tous ses auteurs insistent sur le fait que des années d'observations sont nécessaires avant de pouvoir confirmer les résultats d'étude à long terme.

5.3. Mise en œuvre de la lithostabilisation

5.3.1. Principe de la mise en œuvre

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

- ❖ Approvisionnement et répandage du sable limoneux à l'état naturel ;
- ❖ Humidification partielle du sable limoneux répandu par passage d'une citerne à eau munie d'une rampe de distribution ;
- ❖ Approvisionnement et répandage du concassé sur le sable limoneux précédemment répandu à l'état naturel ;
- ❖ Scarification de l'ensemble de sable limoneux naturel et concassé à l'aide du scarificateur de niveleuse ;
- ❖ Humidification par passage de la citerne à eau ;
- ❖ Mise en cordon du mélange à la lame de niveleuse ;
- ❖ Malaxage et humidification du mélange par déplacements latéraux du cordon, toujours à la lame et passage alternés de la citerne à eau ;
- ❖ Lorsque le mélange est jugé homogène et la teneur en eau suffisante, répandage du cordon, réglage et compactage : le compactage est réalisé en grande partie au compacteur à pneu et parachevé au compacteur vibrant ;
- ❖ Et à la fin, on fait des prélèvements pour vérifier bien l'homogénéité à travers les essais.
- ❖ Les photos ci-dessous illustrent en peu la mise en œuvre.

L'exécution d'une planche d'essais préalable aux travaux proprement dits, permettra de mieux cerner les contours d'une bonne mise en œuvre de matériaux constitutifs des différentes couches de la chaussée.



Figure 3 : la mise en œuvre de la lithostabilisation

5.3.2. Durée de la mise en œuvre

La durée de la mise en œuvre dépend généralement des matériels utilisés, des motivations des ouvriers, de la distance d'approvisionnement des matériaux de l'emprunt et de la fluidité de transports entre le chantier et l'emprunt. A ceux-là s'ajoutent aussi les conditions climatiques car la chaleur et la pluie ne facilitent pas le bon déroulement des travaux.

5.4. Avantages de la lithostabilisation

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

Tableau 7 : les avantages de la lithostabilisation

Techniques	<ul style="list-style-type: none">• l'augmentation de la portance en générale ;• l'accroissement de la capacité mécanique ;• la bonne répartition des charges sur le support ;• la diminution de dégradations de la chaussée ;• la facilité de la mise en œuvre.
Economiques	<ul style="list-style-type: none">• le faible coût de transports ;• la courte durée de la mise en œuvre.
Environnementaux	<ul style="list-style-type: none">• la réduction de la déformation des composantes des sols ;• l'exploitation limitée des gisements naturels ;

VI. ANALYSES ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS

6.1. Essais d'identification et de la portance des matériaux

Les résultats de ces différents essais (analyse granulométrique, limite d'Atterberg, Proctor et CBR) ont été obtenus par la même procédure décrite en partie III (Essais d'Identification des matériaux en place) du présent document.

6.1.1. Essais de l'emprunt de Sabangali

Les matériaux de viabilité provenant de l'emprunt de Sabangali a fait l'objet d'une étude d'identification, compte tenue de la proximité de cet emprunt de la zone du projet. Trois échantillons ont été prélevés et soumis aux essais et les résultats obtenus semblent être loin de satisfaire aux exigences de cahier de prescriptions techniques pour une couche de fondation (confère tableau récapitulatif des essais d'identifications ci-dessous).

Tableau 8 : Résultats des échantillons à SABANGALI

NATURE	Granulométrie = % Passant aux tamis de								LIMITE ATTERBERG			PROCTOR		CBR 95% OPM
	0,08	0,5	1	2	5	10	20	Dmax (31,5)	LL	LP	IP	d	Wopm	
Echantillon N°1	49,9	95,5	98,9	99,8	100	100	100	100	43,0	24,7	18,3	1,9	10,2	10
Echantillon N°2	59,9	98,1	99,4	99,8	100	100	100	100	46,0	26,3	19,7	1,9	12,5	12
Echantillon N°3	50,1	98,3	99,4	99,9	100	100	100	100	45,0	28,1	16,9	1,8	13,8	11

Donc au vu de ces résultats, il a été jugé nécessaire d'abandonner l'exploitation de site de l'emprunt de Sabangali. Car pour toute amélioration de matériaux par traitement mécanique, le CBR requis doit être supérieur à 15 à 95% de l'OPM pour une couche de fondation (confère CCTP).

6.1.2. Essais de l'emprunt de Klessoum

Situé à environ 20 km de la zone du projet, cet emprunt a été utilisé plusieurs fois pour exécuter la couche de fondation de routes situées dans la ville de N'Djamena. Les résultats des essais d'identification effectués sur un échantillon prélevé dans ce site sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau 9: Emprunt de Klessoum

NATURE	Granulométrie = % Passant aux tamis de								LIMITE ATTERBERG			PROCTOR		CBR 95% OPM
	0,08	0,5	1	2	5	10	20	Dmax (31,5)	LL	LP	IP	d	Wopm	
Emprunt de Klessoum	26,4	98,3	98,8	99,7	100	100	100	100	26,6	16,2	10,40	1,75	10,10	19,3

Partant de l'analyse des résultats obtenus, on constate que :

- l'indice de Plasticité (I_p) = 10,4 : ce qui signifie que ce matériau est moins plastique, pouvant donc être classé dans la famille de matériaux drainants ;
- la densité sèche de l'optimum Proctor (D_{opt}) = 1,75 t/m³ : ce facteur de compactage est bon, mais il ne peut être autorisé en couche de fondation où l'on demande D_{opt} = 1,90 t/m³ ;
- le CBR = 19,3 : ce facteur de portance ne satisfait pas aux exigences définie dans les spécifications techniques, car pour une couche de fondation le CBR exigé doit être ≥ 30 .
- la granulométrie est presque vide à partir du tamis de 2,0 mm : ce matériau ne présente pas une bonne ossature granulaire.

C'est pourquoi son exploitation peut s'avérer satisfaisante si toutefois on parvient à améliorer ces caractéristiques initiales à travers l'application la technique de la lithostabilisation.

6.1.3. Essais d'identifications de concasses

Le grave concassé utilisé au niveau du projet est de type 0/31.5 provenant de la carrière de concassage de DANDI située à environ 100 Km de N'DJAMENA. C'est un tout venant de concassage dont la roche mère est la rhyolite voisine du BASALTE qui est par ailleurs incrusté par endroits dans le massif rocheux. Les résultats des essais d'identification figurent dans le tableau suivant :

Tableau 10 : essais d'identifications de concassé

NATURE	Granulométrie = % Passant aux tamis de								Los Angeles	Micro Deval
	0,08	0,5	1	4	8	16	31,5	40		
Grave concassée à 0/31,5	7	12	21	29	38	63	97,5	98	19,6	19

Cette proximité avec le BASSALTE confère au RHYOLITE une forte résistance à l'abrasion (**L.A = 19.6**) et à l'usure (**M.D.E = 19.0**).

Ce matériau se présente comme l'un des plus performants que tout ingénieur routier souhaite utiliser, en effet :

- Dans sa granulométrie, les éléments sont répartis de façon continue, depuis les fines au tamis de 0,08 mm (7%) jusqu'aux cailloux au tamis de 40 mm (98%).

Il va jouer un rôle déterminant dans le renforcement de la structure des sables limoneux.

C'est donc un excellent matériau routier à la fois pour les bétons hydrauliques que pour les bétons hydrocarbonés.

6.2.4. Essai d'identification et de portance de sable limoneux amélioré au concasse.

La lithostabilisation dans le cadre de notre projet étant un mélange d'un sable limoneux avec du concassé, il se pose le problème des dosages de chacun des deux matériaux.

Le principe de base des mélanges de matériaux est le facteur de DREUX- GORISSE, basé sur les lignes de partage ; mais ce facteur n'est efficace que si le plus petit matériau arrive au tamis de **5,0 mm**. Or notre sable limoneux n'arrive qu'au tamis de **2.0 mm**. Alors nous avons procédé en laboratoire à un choix des pourcentages.

Après des essais sur les tests de dosages, nous avons arrêté notre choix sur quatre valeurs qui sont : **10%, 15%, 20% et 30%**.

- Moins de 10%, la lithostabilisation du concassé avec le sable n'a plus de fondement parce que les résultats obtenus se rapprochent plutôt des sables ;
- Plus de 30%, la lithostabilisation perd sa raison d'être parce que les valeurs obtenues sont celles du grave concassé.

Le contenu des essais et les résultats obtenus sur les différents mélanges sont présentés sur le tableau ci-après :

Tableau 11 : la litho avec différents proportions de mélange

NATURE	Granulométrie = % Passant aux tamis de (mm)							LIMITE ATTERBERG			PROCTOR		CBR 95% OPM
	0,08	1	2	5	10	20	Dmax (31,5)	LL	LP	IP	d	W _{opm}	
Mélange à 10%	18,8	89,9	90,7	94	95	97,1	100	25,2	11,8	13,4	1,90	10,5	24,15
Mélange à 15%	14,4	86,5	87,5	91	94	98,2	100	25,1	15,6	9,5	1,91	9,8	58,75
Mélange à 20%	15,8	82,4	84	88	92	96,9	100	25	16,7	8,3	1,97	8,8	44,06
Mélange à 30%	12,6	72,4	74,8	82	88	97,1	100	24,6	18,4	6,2	2,04	8,4	79,69

6.2. Analyses et interprétations des résultats du sable limoneux litho stabilises

6.2.1. Variations de la granulométrie en fonction des mélanges

Le pourcentage des fines (passants au tamis de 0,08 mm) a baissé de 26,43% pour le sable limoneux et de 12,6 % dans le mélange de 30 % de concassé. Mais tout de même nous avons enregistré un cas de surdosage ou sous dosage lors des opérations de quartage, ceci a provoqué, une élévation des fines dans le mélange à 20%. (Voir figure ci-dessous).

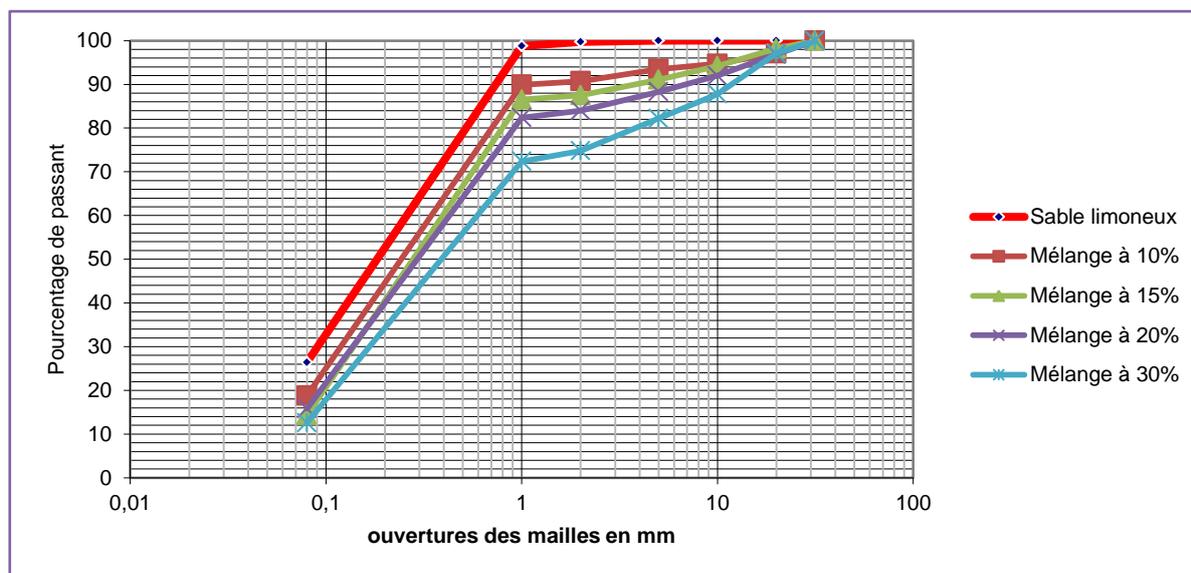


Figure 4 : courbes de variation de la granulométrie

6.2.2. Variation du Proctor en fonction des mélanges

Après les différents essais de Proctor, nous constatons une augmentation de densité du sable limoneux à chaque proportion du mélange. Il varie de $1,75 \text{ t/m}^3$ pour le sable limoneux, de $1,90 \text{ t/m}^3$ pour le mélange de 10% de concassé, de $1,91 \text{ t/m}^3$ pour le mélange de 15%, de $1,97 \text{ t/m}^3$ pour le mélange de 20% et $2,04 \text{ t/m}^3$ pour le mélange de 30%. Mais la teneur en eau optimum Proctor (W_{opt}) ne suit pas cet ordre de variation car elle évolue 10,1% dans le sable limoneux naturel à 10,5% dans le sable limoneux litho stabilisé de 10% de concassé, décroît à 9,8% dans le mélange de 15% de concassé, et 8,8% dans le mélange de 20% de concassé et afin baisse de 8,4% dans le mélange de 30% de concassé. (Confère figure ci-dessous).

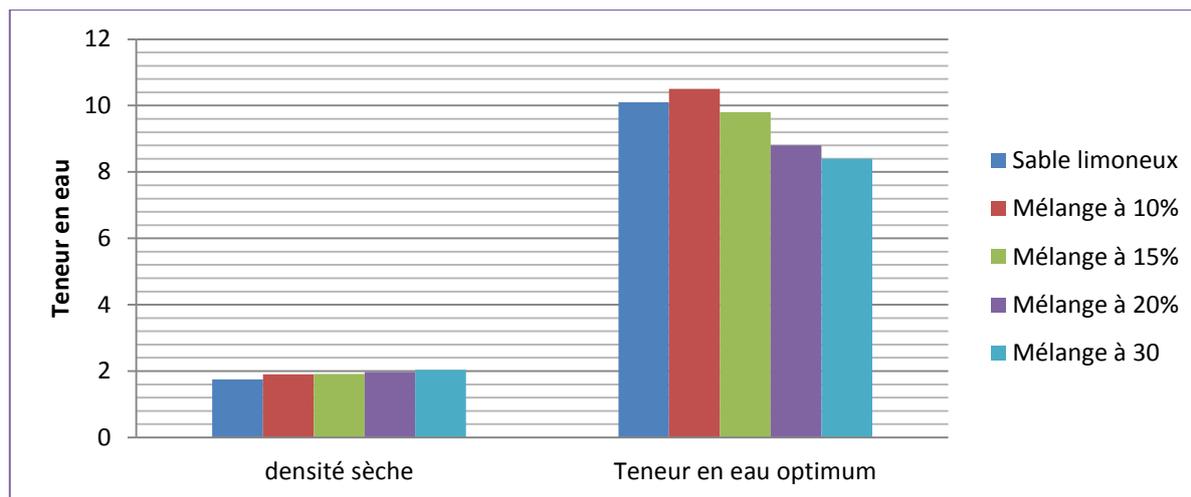


Figure 5 : histogrammes de variations de Proctor

6.2.3. Variation de la Portance en fonction des mélanges

En ce qui concerne le facteur de portance, le CBR a augmenté considérablement (figure ci-dessous), passant de 19,00 dans le sable limoneux naturel (à 95% de l'OPM) à 79,00 dans le mélange à 30% de concassé (à 95% de l'OPM). Dans le cadre de ce projet, on retient le CBR à 95% de l'OPM (couche de fondation). Mais il a été remarqué que dans le mélange à 20%, le CBR a baissé relativement par rapport au mélange de 15% de concassé. Cela est dû à une mauvaise répartition des matériaux lors de l'opération de quartage.

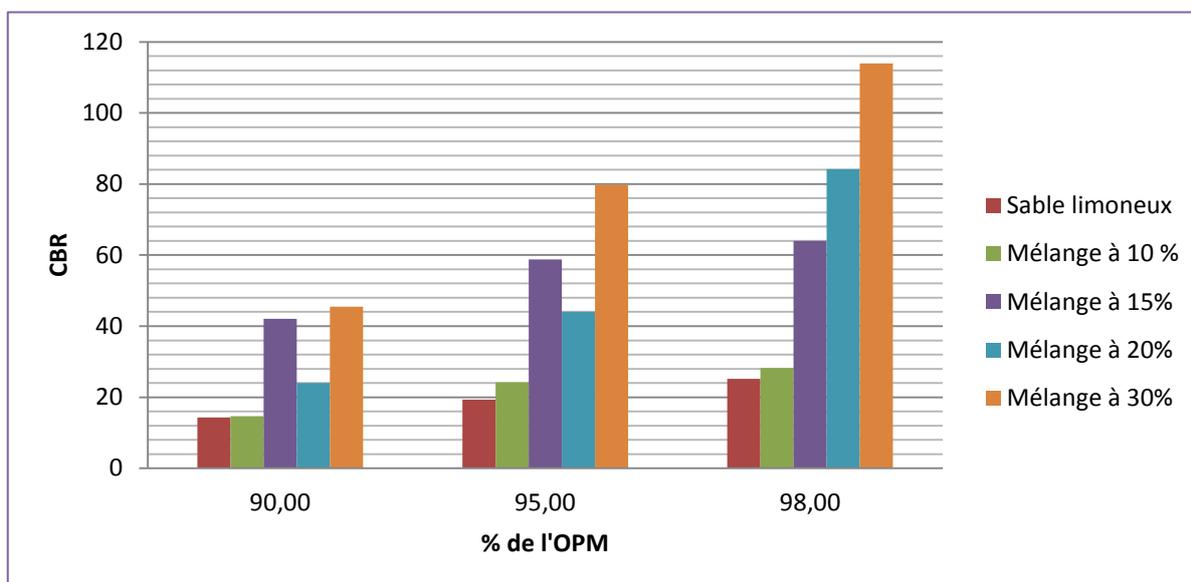


Figure 6 : histogrammes de variations du CBR

6.2.4. Variation de la limite d'Atterberg en fonction des mélanges

Pour le cas des limites d'Atterberg, nous avons remarqué qu'en fonction de résultats obtenus, la limite de liquidité (L_L) chute progressivement de 26,6 % dans le sable limoneux naturel à 24,6% dans le mélange de 30% de concassé. Ainsi l'indice de plasticité (I_p) baisse de 10,45 dans le sable limoneux naturel à 6,20 à la même proportion.

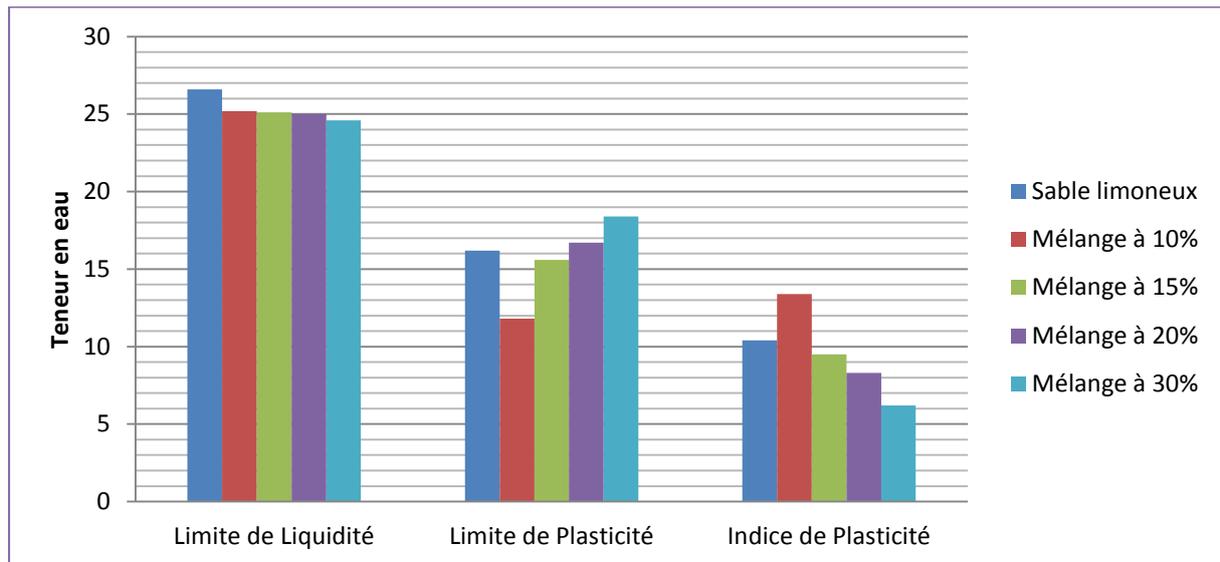


Figure 7 : histogrammes de variations de limites d'Atterberg

6.3. Proportion de la lithostabilisation retenue pour le projet

Tout au cours de l'étude de la lithostabilisation, nous avons constaté des problèmes de ségrégations lors des opérations de quartage, ceci a provoqué :

- une élévation des fines (tamis à 0.08mm) dans le mélange à 20% de concassé ;
- une baisse relative de son CBR à 95 % de l'OPM.

Donc pour palier à ces défauts de manipulations et pour se donner une marge de sécurité lors de la mise en œuvre de la couche de fondation, le choix du mélange à 20 % de grave concassé avec 80% de sable limoneux de l'emprunt de Klessoum a été validé.

Les figures suivants montrent les essais d'identification et de portance effectués sur le sable limoneux litho stabilisé à 20% de concassé.

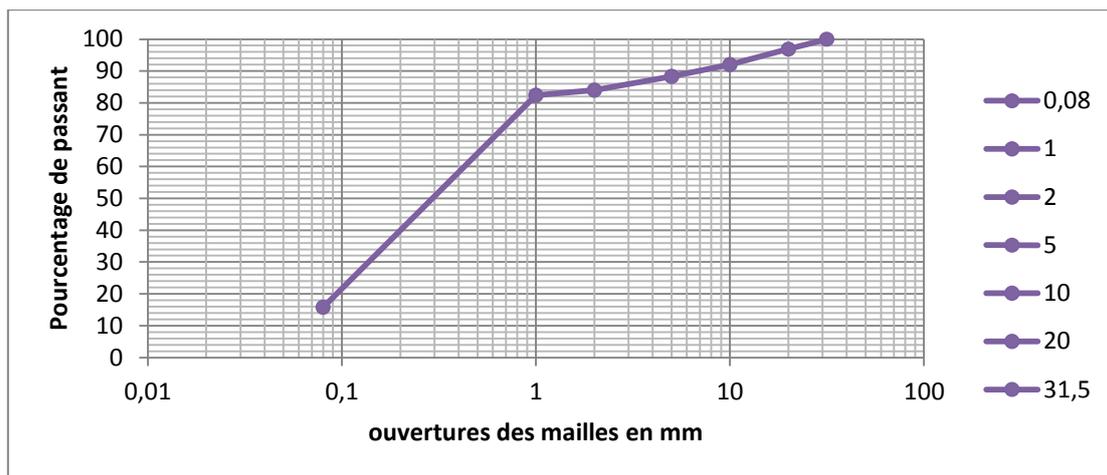


Figure 8 : courbe granulométrique du sable limoneux litho stabilisé à 20%

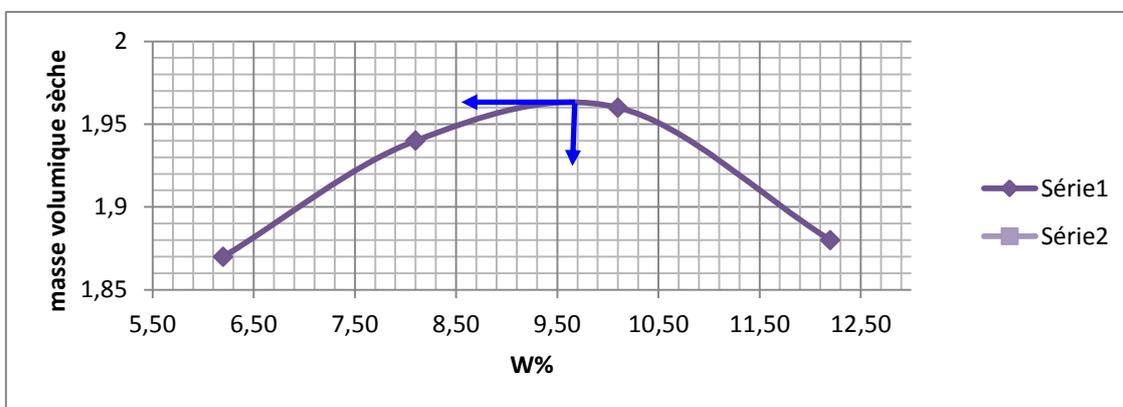


Figure 9 : courbe Proctor du sable limoneux litho stabilisé à 20%

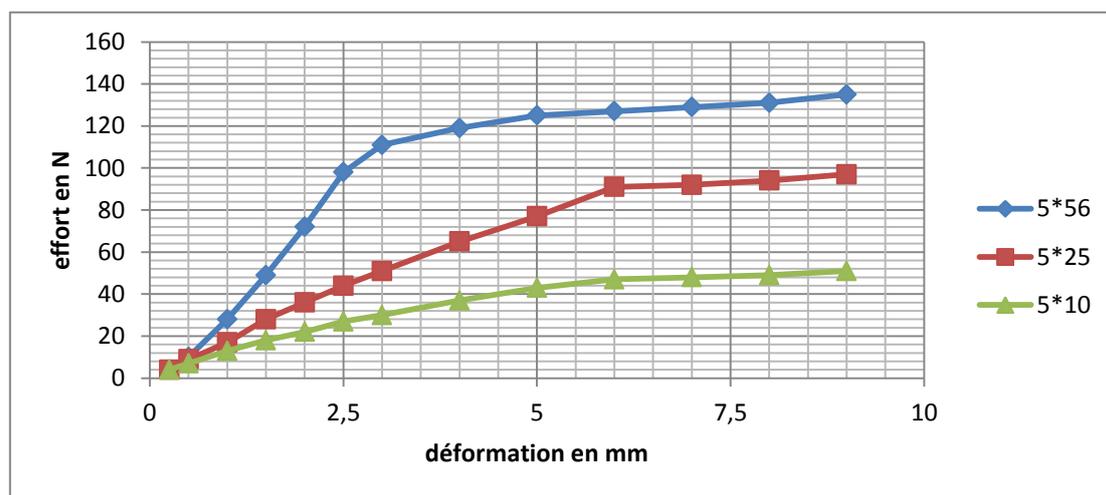


Figure 10 : courbe déformation-effort du sable limoneux litho stabilisé à 20%

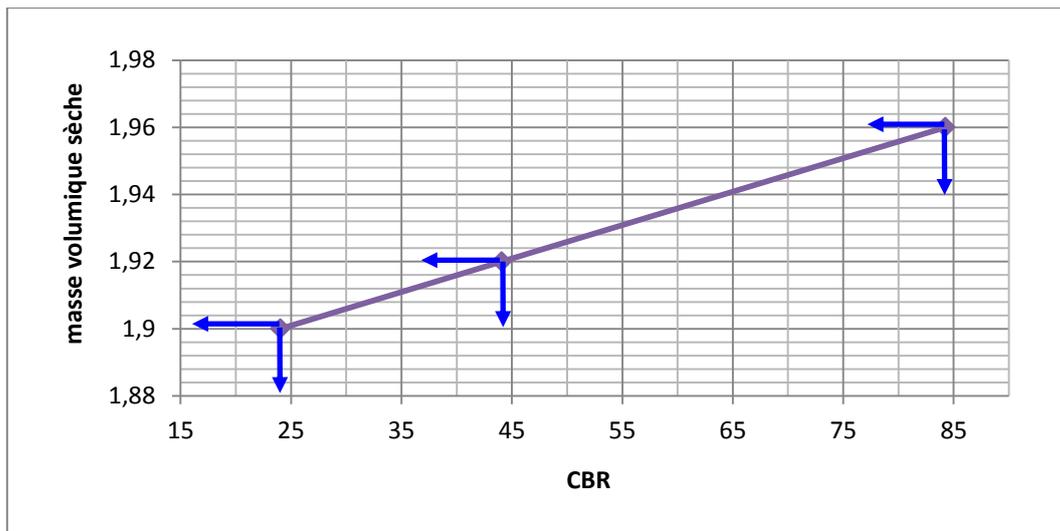


Figure 11 : courbe du CBR du sable limoneux litho stabilisé à 20

6.4. Essais in situ

6.4.1. Essai de compacité

Le contrôle de la compacité est réalisé à l'aide du gamma densimètre- troxler 3440 qui permet de mesurer la densité en place de la couche réalisée.

Pour le cas de notre projet et d'après le cahier des clauses techniques particulières, la couche de fondation doit avoir une compacité en place supérieure à 95% de l'OPM. Et après la mise en œuvre on effectue des essais de compacité à chaque profil (droit -axe- gauche) pour la vérification.



Figure 12 : appareil de mesure de la compacité (gamma densimètre troxler 3440)

6.4.2. Essai de déflexion

La déflexion est la déformation verticale de la chaussée d'une route sous la charge d'un camion de 13 tonnes à l'essieu arrière. La mesure de la déflexion se fait à l'aide de la poutre Benkelman.



Figure 13 : poutre de Benkelman

Le but de cette opération est de mesurer le comportement de la structure de la chaussée et d'analyser la capacité à supporter les sollicitations causées par le trafic.

La déflexion acceptée pour la couche de fondation est 100 mm/100. La figure ci-après montre les essais de déflexions aux points de chaque 100 m sur une distance totale de 2900m.

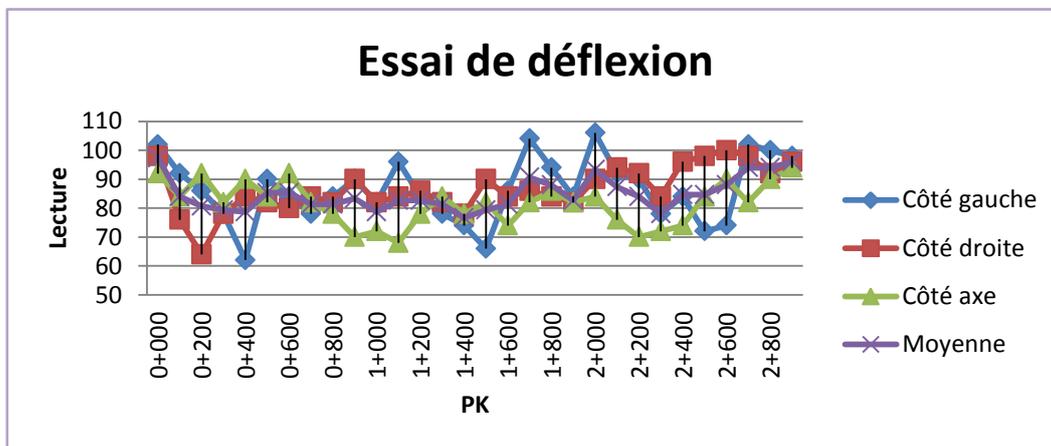


Figure 14 : essai de la déflexion

En regardant la configuration de la figure, il a été constaté que la déflexion en moyenne est autour de 85 mm/100. Cependant nous avons noté qu'à certains points la déflexion dépasse le seuil accepté par le projet (Pk 1+800 et Pk 2+200 au côté gauche). Cela est dû au mauvais compactage de la couche ou à la mauvaise répartition des matériaux de façon homogène.

6.5. Vérification par logiciel Alize III du Lcpc

Ce logiciel Alizé III est très largement utilisé pour le dimensionnement et la vérification des structures de chaussées. Il permet de calculer les contraintes et les déformations induites dans les différentes couches de la chaussée choisie. Ici il s'agit de vérifier les caractéristiques de structure (chaussée) proposées par le cahier de clauses techniques particulières qui sont.

Tableau 12 : caractéristiques des couches de chaussée (CCTP)

Couche de chaussée	Notation	Epaisseur (cm)	Type de matériaux	CBR
Revêtement	R	5	BB	-
Base	B	20	Concassé	➤ 85
Fondation	F	30	Sable limoneux	➤ 30
Forme	Fr	30	Autre	➤ 15

Les données à rentrer dans le modèle pour les différentes simulations sont :

- ❖ le trafic de poids lourd moyen journalier annuel, MJA= 60 (trafic estimé à partir du réseau existant : Avenue Mobutu) ;
- ❖ coefficient d'agressivité CAM, pris égale à 1,0 ;
- ❖ le nombre d'essieux équivalent (NE) calculé par la formule suivante ;

$$NE = 365 \times MJA \times CAM \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$$

Avec n = la durée de service (20 ans) ; i = taux de croissance du MJA (5%) et

CAM = coefficient d'agressivité moyen du poids lourds par rapport à l'essieu standard (0,7).

$$NE = 365 \times 60 \times 0,7 \times \frac{(1+0,05)^{20}-1}{0,05}$$

On obtient donc NE = 5069000 (classe de trafic T2)

- ❖ la température moyenne sera prise égale à 30°C ;
- ❖ le coefficient de poison (ϑ) est pris à 0,35 pour toutes les couches ;
- ❖ les épaisseurs de chaque de chaque ;

- ❖ les types d'interface entre les couches ;
- ❖ les valeurs des modules de Young (E) des différentes couches seront déterminées par la formule suivante :

$$E = \text{CBR} \times 7,5$$

6.5.1. Calcul des contraintes et déformations

Le calcul des contraintes et déformations dans les différentes couches de la structure de chaussée se fait l'essieu de référence de 130 kN (13 tonnes). Chaque demi-essieu comporte : un jumelage à roues simples, représenté par deux charges exerçant une pression uniformément répartie de 0,662MPa sur 2 disques de 0,125 m de rayon, avec un entre-axe de 0,375m. (Confère figure ci-dessous)

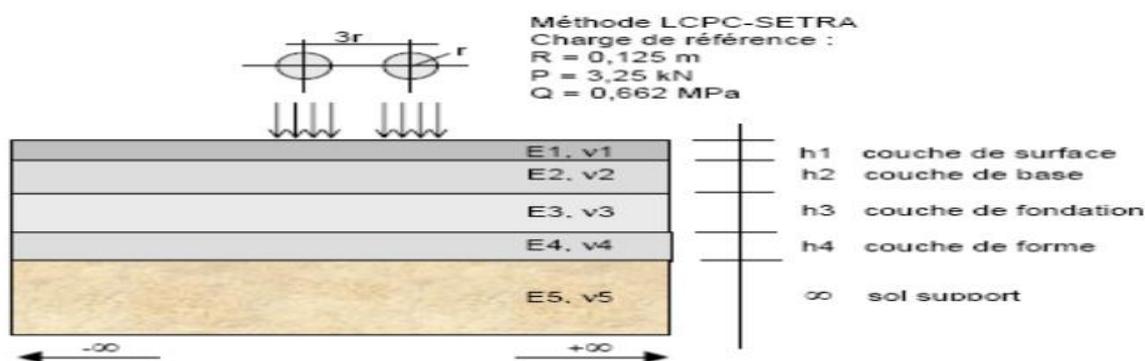


Figure 15 : Moteur de calcul Alizé

Ainsi, la contrainte verticale σ_z et la déformation verticale relative ϵ_z , au niveau de la plateforme support et l'interface des couches ont été calculé à partir du logiciel Alizé LCPC (Voir Annexe 3 pour la note de calcul).

6.5.2. Vérification des contraintes et déformations

Pour la vérification, il s'agit de comparer les valeurs des contraintes et déformations calculées ci-dessus aux valeurs admissibles.

- La contrainte admissible ($\sigma_z\text{-adm}$) est donnée par la formule de Kerkoven et Dormon

$$\sigma_z\text{-adm} = \frac{0,3 \times \text{CBR}}{1+0,7 \times \log(\text{NE})} \text{ avec CBR du sol support.}$$

$$\sigma_z\text{-adm} = \frac{0,3 \times 10}{1+0,7 \times \log(506900)}$$

$$\sigma_z\text{-adm} = 0,600 \text{ MPa}$$

- La déformation admissible : $\epsilon_z\text{-adm} = 0,016 \times (\text{NE})^{-0,222}$

$$\varepsilon_z\text{-adm} = 0,016 \times (506900)^{-0,222} = 866,21 \mu\text{déf}$$

6.5.2. Les vérifications à faire

Les vérifications à effectuer à ce stade de calcul concernant les critères de ruptures qui sont :

- la déformation verticale ε_z à la surface du sol support doit être inférieure à la déformation admissible $\varepsilon_z\text{-adm}$;
- la contrainte verticale σ_z à la surface du sol support être inférieure à la contrainte admissible $\sigma_z\text{-adm}$.

Avec les données ci-dessus le logiciel Alizé donne les résultats suivants :

Tableau 12 : résultats de simulation sur le logiciel Alizé

couches	épais	module	coéf	Zcalcul	Eps T	Sigma T	Eps Z	Sigma Z
	[m]	[MPa]	Poison	[m]	[$\mu\text{déf}$]	[MPa]	[$\mu\text{déf}$]	[MPa]
surface	0,05	1300,00	0,35	0,00	-83,90	-0,04	-30,70	0,66
				0,05	-53,70	0,21	339,20	0,61
collé								
base	0,20	675,00	0,35	0,05	-53,70	0,13	608,30	0,61
				0,25	-282,30	-0,19	358,80	0,13
collé								
fondation	0,30	225,00	0,35	0,25	-282,30	-0,02	596,30	0,13
				0,55	-222,00	-0,05	319,70	0,04
collé								
support	infini	75,00	0,35	0,55	-222,00	0,00	531,40	0,04

- Eps T admissible = 201,4 $\mu\text{déf}$
- Eps Z admissible = 649,7 $\mu\text{déf}$
- Déflexion = 60,5 mm/ 100

Conclusion :

Les valeurs des contraintes, déformations et déflexions obtenues sont acceptables, car elles sont toutes inférieures aux valeurs admissibles calculées ci haut. Sauf le matériau de la couche de base doit avoir un CBR supérieur à 90.

VII. ETUDE D'IMPACTS

Les évaluations environnementales et sociales préliminaires ou en cours d'exécutions des projets, apparaissent aujourd'hui comme le moyen incontournable, car chacun de nous est sensible aux problèmes de conservations de la nature, de préservations de la qualité de vie, d'éliminations des effets de nuisances, etc...

L'étude d'impact consiste donc à évaluer les différentes interactions avec prise en compte des paramètres environnementaux, économiques et sociaux.

7.1. Impacts environnementaux

Les projets routiers présentent d'énormes impacts environnementaux entre autres les effets sonores de gros engins, le dégagement des poussières et de CO₂...doivent être pris en compte avant, pendant et après l'exécution du projet afin de limiter toutes nuisances liées aux travaux d'exécution en vers les riverains en particulier et la population en général. Cependant la technique de la lithostabilisation permet de réduire les effets d'impacts notamment :

- la déformation de la structure naturelle du sol ;
- l'exploitation des grands gisements naturels.

7.2. Impacts socio-économiques

Sur le plan socio-économique les effets sont aussi multiples et variés. A cet effet on peut citer les bruits sonores, déviation de la route principale, blocage des rues secondaires, l'abattage des arbres fruitiers, perte des résidences privées, déguerpissement des points de vente et les risques d'accidents. Tous ces impacts doivent être pris en compte avant, durant et après la phase de réalisation des travaux.

7.3. Mesures d'atténuation

Les mesures environnementales et socio-économiques retenues dans le cadre du présent projet sont :

- identification, évaluation et indemnisation des personnes affectées ;
- fixer les panneaux de déviation en phase de travaux ;
- arrosages du terrain ;

- réaménager les zones d'emprunts et des carrières ;
- dotation de masques anti-bruit aux conducteurs d'engins et autres employés affectés ;
- replanter des arbres ;
- sensibilisation de piétons et les riverains ;
- panneaux de sensibilisation sur la sécurité routière liée aux travaux.

CONCLUSION

Un matériau, pour être utilisé en couche de fondation, doit avoir en général un indice de portance CBR supérieur ou égal à 30 à 95% de l'OPM. Mais le sable limoneux, matériau très sollicité à N'Djamena (Tchad) ne répond plus à cette exigence. C'est pourquoi il a été mis en place une technique d'amélioration de ce matériau à travers des ajouts de concassé basaltique dont la granularité varie entre 0-31,5 mm à différentes proportions. Cette technique est appelée lithostabilisation.

L'application de la technique dans le cadre du projet a permis de montrer que l'utilisation du sable limoneux naturel en couche de fondation donne des résultats moins satisfaisants que celle du sable limoneux litho stabilisée. Mais au cours des essais, on a constaté des problèmes de ségrégations de granulats lors des opérations de quartage.

Donc pour palier à ces défauts et donner une marge de sécurité lors de la mise en œuvre de la couche de fondation, le choix du mélange à 20 % de grave concassé avec 80% de sable limoneux de l'emprunt de Klessoum a été validé avec une énergie de compactage de 95% de l'OPM.

De façon générale, la technique de la lithostabilisation est une solution économique (un tonne de concassé 0/31,5 coûte 11500 F CFA et un mètre cube du sable limoneux 4500 F CFA ; prix selon CCTP du projet) mais qui doit être étudiée avec soin. Cependant un suivi des travaux ainsi que l'étude du comportement de ce matériau à long terme sont nécessaires avant de pencher sur l'efficacité de la technique.

RECOMMANDATIONS

Au regard de ce qui a été fait, les recommandations suivantes peuvent être formulées :

- refaire plus d'étude afin de déterminer le taux d'amélioration le plus intéressant ;
- encourager les étudiants de faire des travaux de recherche sur la lithostabilisation dans le but de maîtriser ses différents contours ;
- combattre la ségrégation des granulats à tous les niveaux ;
- veiller à la propreté des granulats afin d'éviter toutes désagréments liées aux granulats;
- arroser le matériau au cours du régalage pour une meilleure pénétration de l'eau ;
- compacter le matériau de façon énergique et ce, d'autant plus que les granulats sont plus anguleux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Centre d'Informatique sur le Ciment (septembre 2004), *Le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques pour l'exécution des remblais et des couches de forme ; Documentation technique ; Routes N°89, France 8P.*

Fonds de Formation professionnelle Techniques et de Construction routière (2012), *Techniques de construction routière, fvb.ffc Constructiv, Bruxelles, 82P.*

Ismaila G. (2014), *Géotechnique Routière ; 2iE-Ouagadougou, 80P.*

JIKOLUM N. Emmanuel (juin 2011), *utilisation de la technique de la lithostabilisation en assise de chaussée : cas des travaux de renforcement du tronçon Ouaga-Po-Frontier du Ghana ; Burkina Faso ; 70P.*

MAHAMAT Nganansou (2012), *Amélioration des graveleux latéritiques au ciment en couches de chaussée au Burkina Faso : cas des travaux de renforcement de la RNI entre Boromo et Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 77P.*

Mariétou KANAZOE (2011), *Amélioration des graveleux latéritiques avec du granite concasse de classes granite concasse de classes granulométriques différentes (0/20 0/31,5; 5/20), 2iE 106P.*

Ministère de l'équipement, des transports et du tourisme (décembre 1994), *Conception et dimensionnement des structures de chaussée, guide technique, SETRA et LCPS.*

Ministre de la coopération (1980), *Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, France, 80P.*

Pierre LOMPO. IRF IVème Conférence Routière Africaine (20- 25 Janvier 1980), Nairobi, Kenya. *Les Matériaux Utilisés En Construction Routière En Haute-Volta – Un Matériau Non Traditionnel « Le Lithostab ».*

Thilloux M., Requirand R. (1983), La route Tahoua-Arlit (Niger). *Les matériaux de chaussée. Études, Institut des Sciences et des Techniques de l'Équipement et de l'Environnement pour le Développement (ISTED), LCPC et BCEOM, 48P.*

Toe J.M. (2007), *Utilisation de la technique de la lithostabilisation en assise de chaussée. Une expérience de chantier*. Présentation à la Conférence des Jeunes Géotechniciens Africains, Tunis, 1618 mars 2007. Présentation PowerPoint.

- **Références normatives**

NF P 18-553 (Octobre 1978), « Echantillonnage »

NF P 94-056 (Mars 1996), « Analyse granulométrique : Méthode par tamisage à sec après lavage »

NF P 94-09, « Indice CBR après immersion-Indice CBR immédiat-Indice portant immédiat »

Sites internet

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Géotextile>

ANNEXES

Annexes 1 : les fiches des essais

Annexes 2 : Les photos de planches d'essais

Annexes 3 : La simulation de logiciel Alizé

Annexes 1 : les fiches des essais

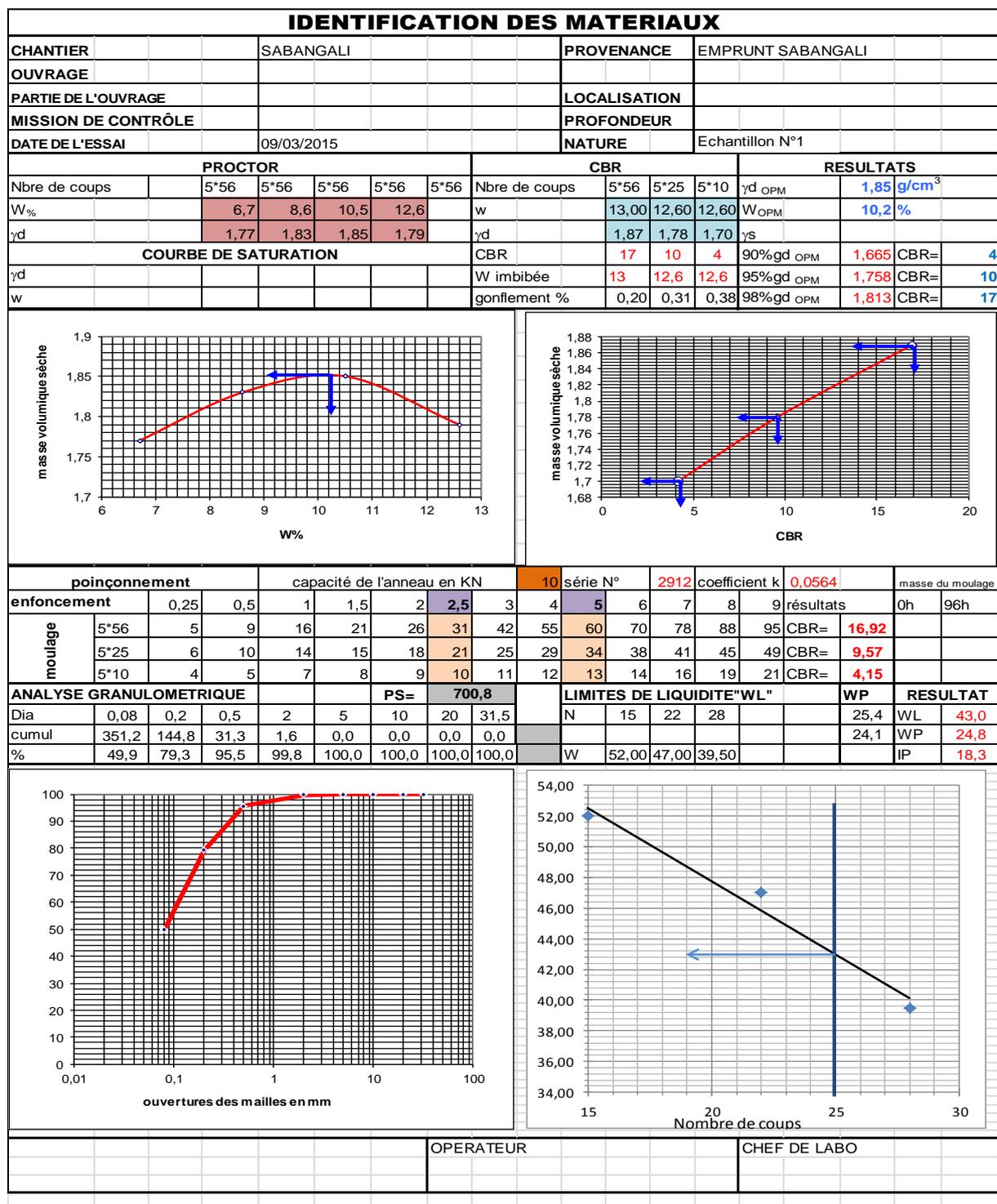


Figure 1 : essais de l'échantillon N°1 de Sabangali

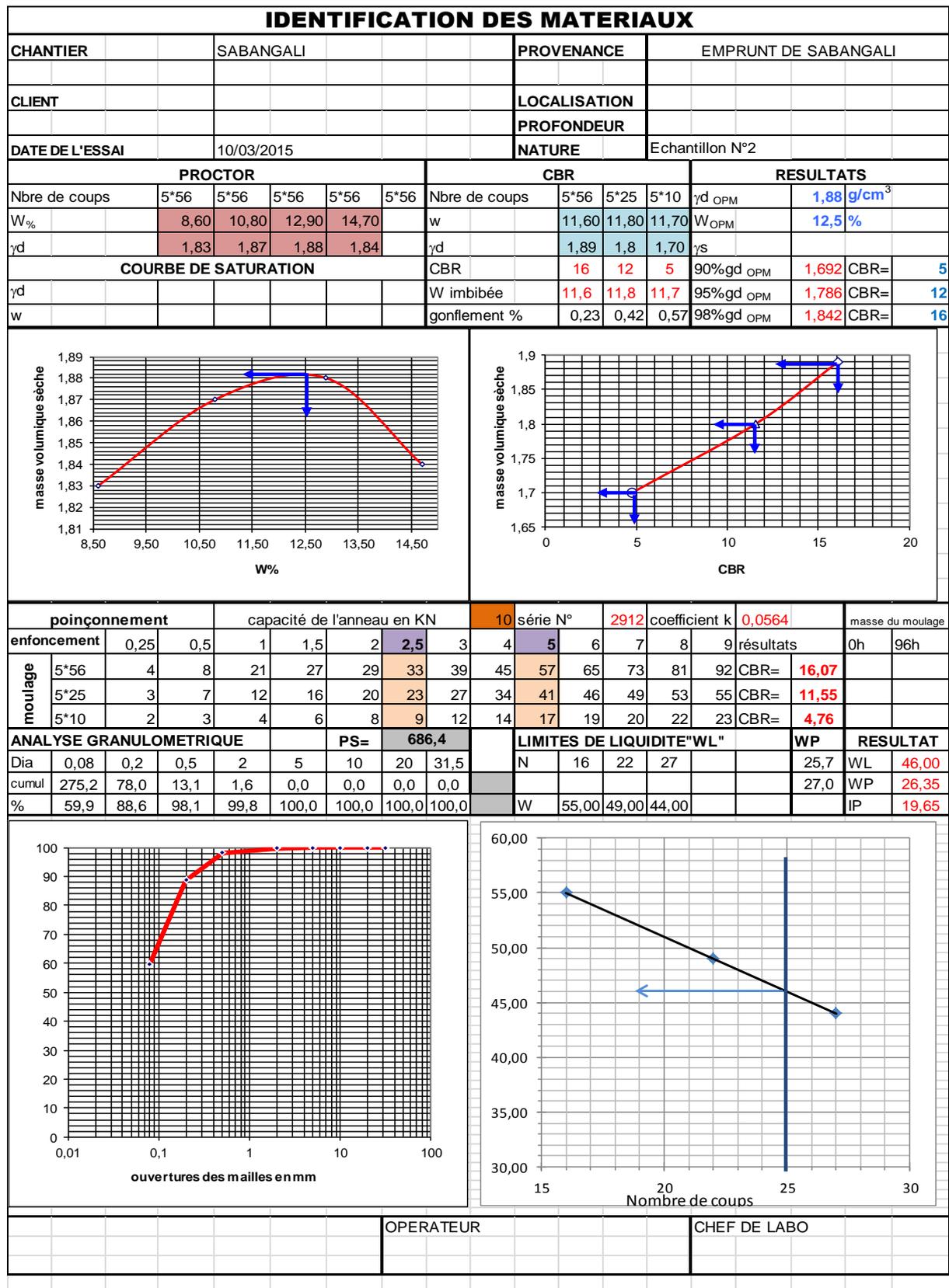


Figure 2: essais de l'échantillon N°2 de Sabangali

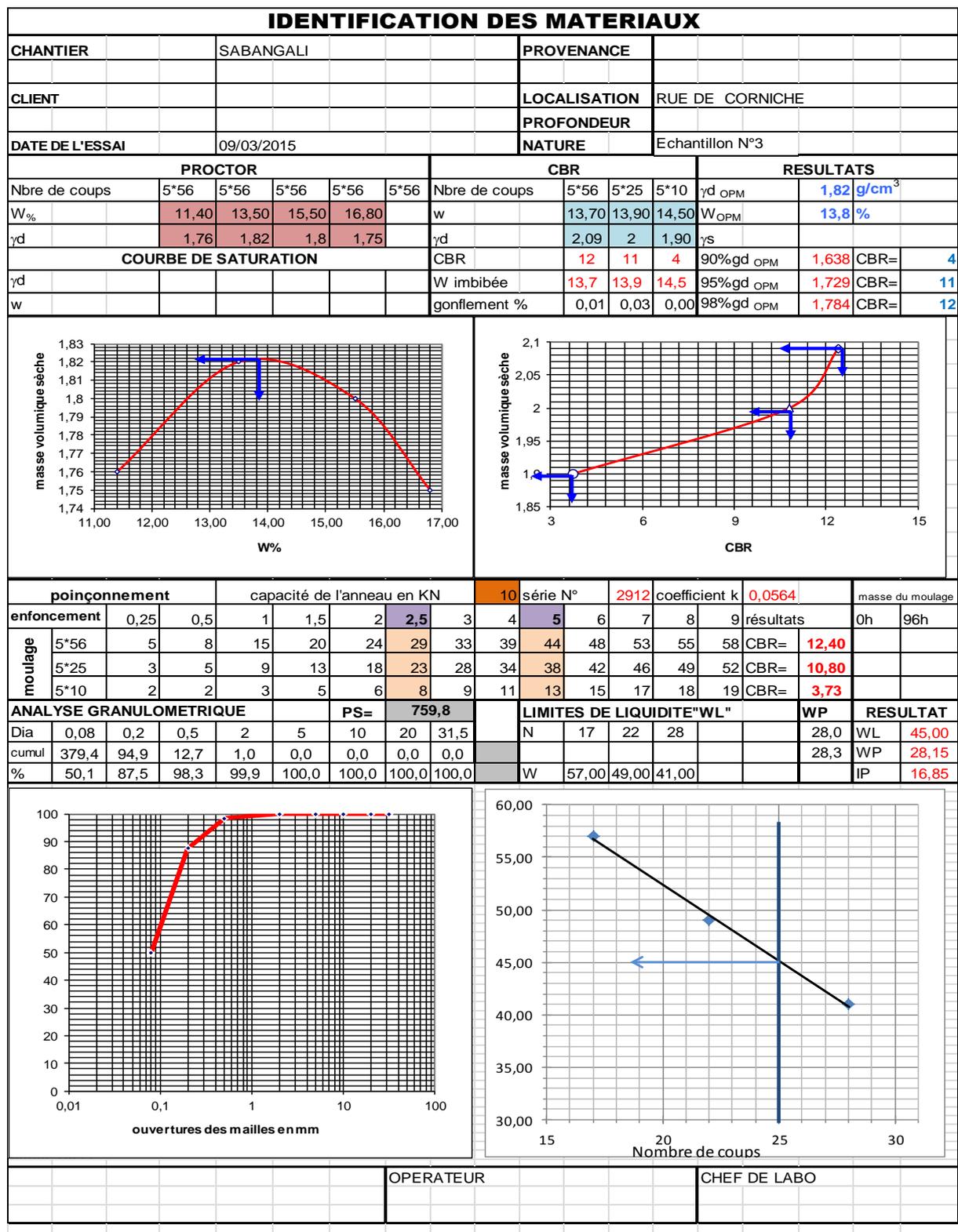


Figure 3 : essais de l'échantillon N°3 de Sabangali

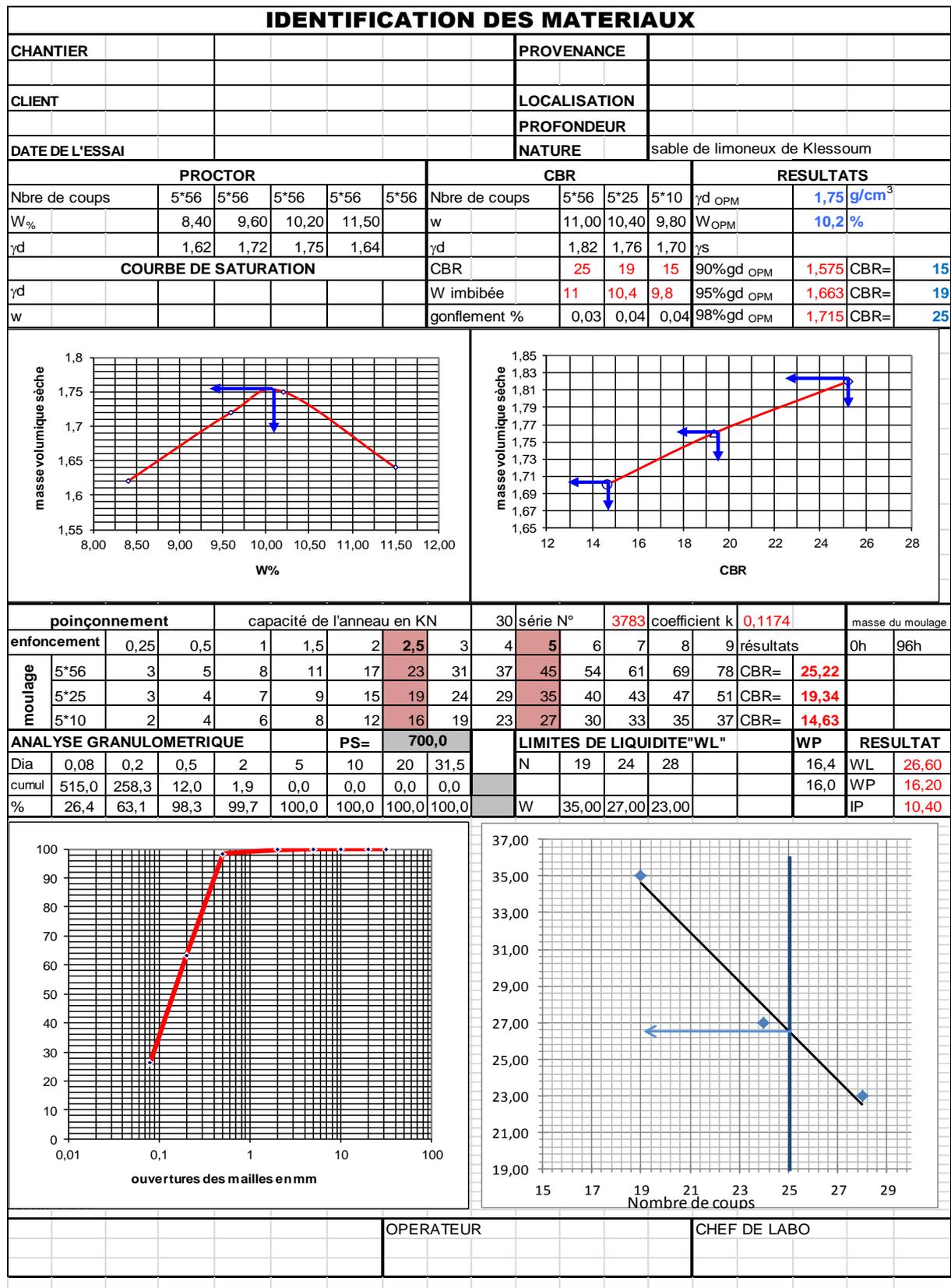


Figure 4 : essais de Klessoum

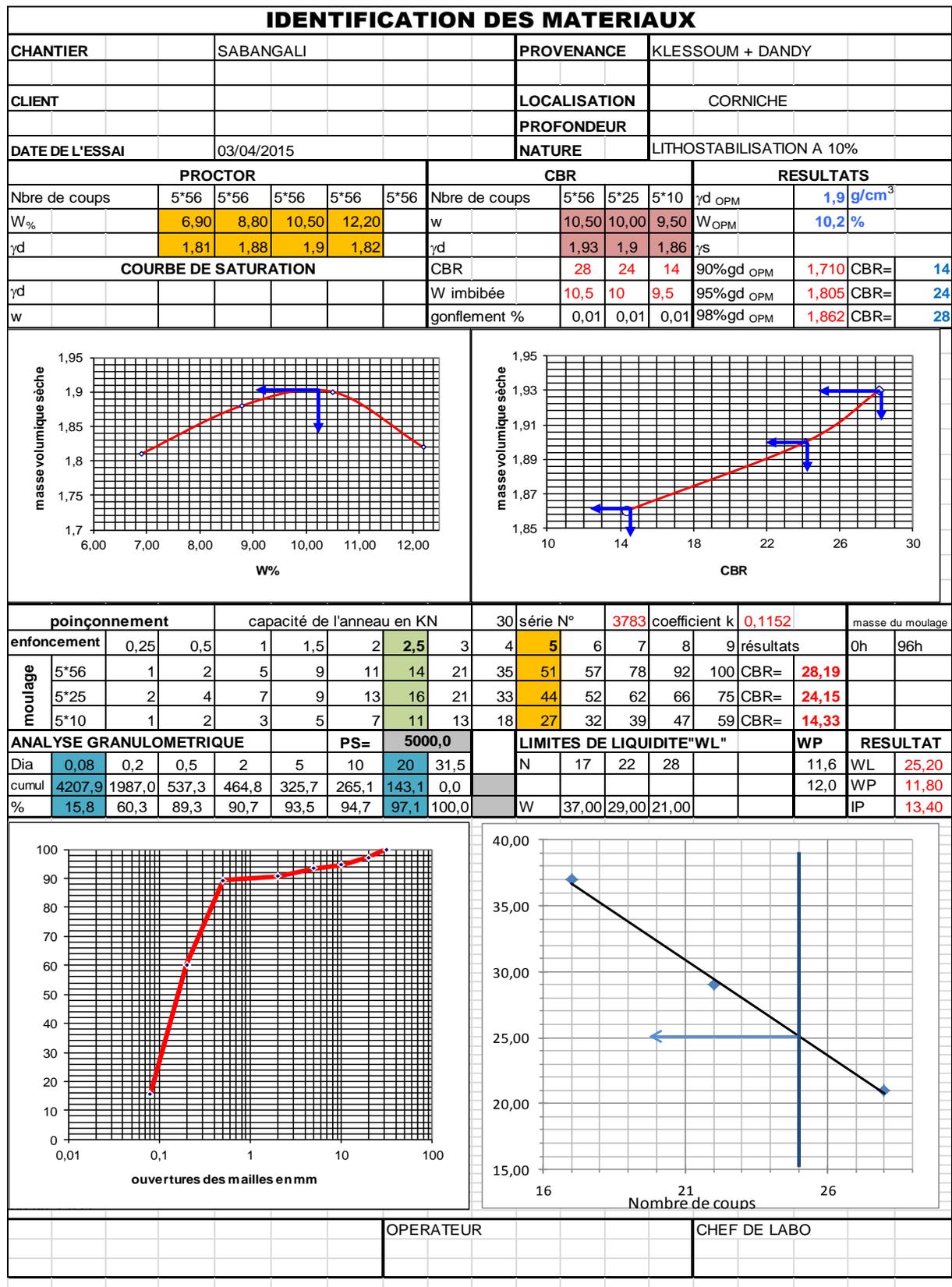


Figure 5 : essais de la litho à 10%

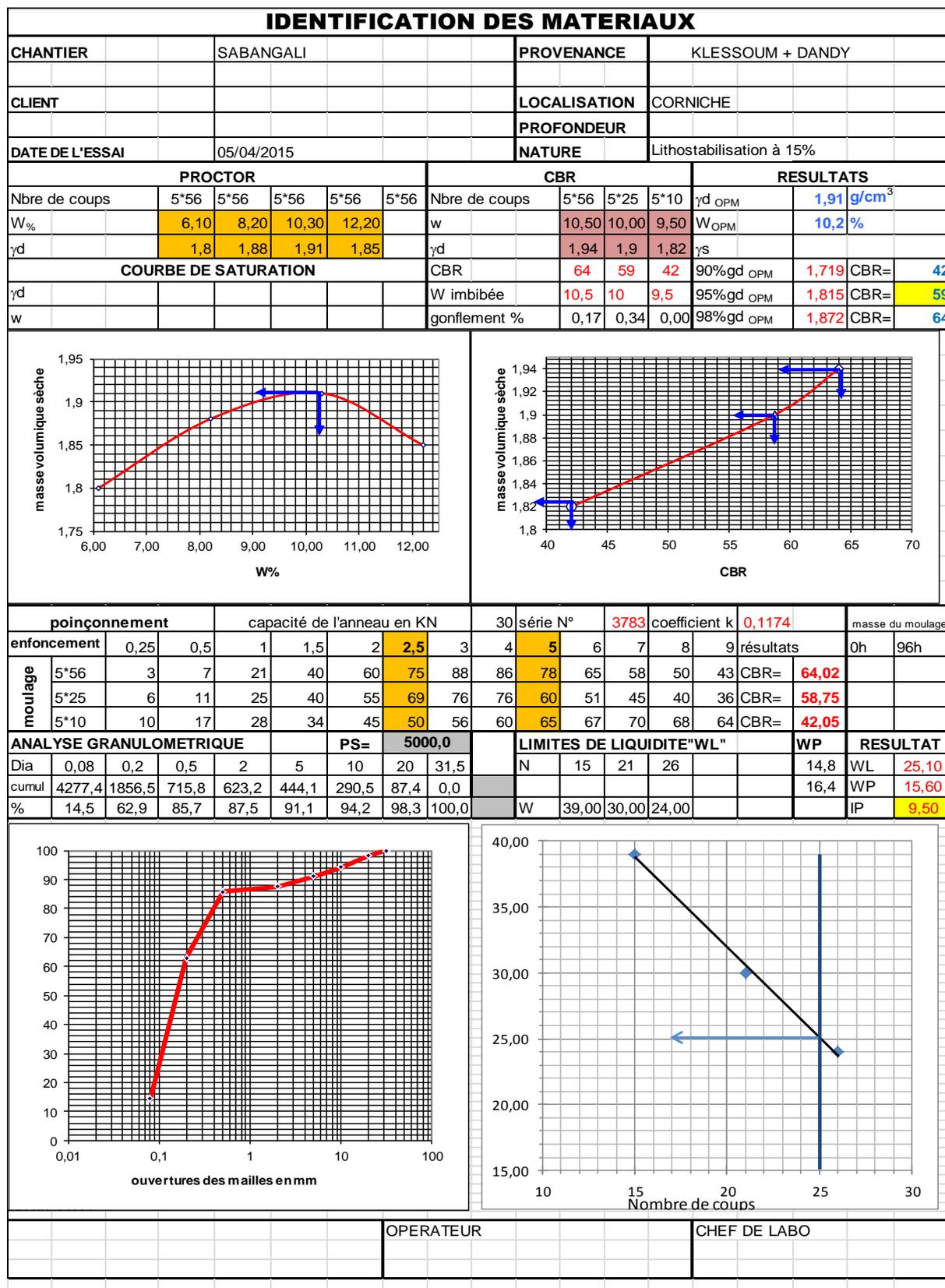


Figure 6 : essais de la litho à 15%

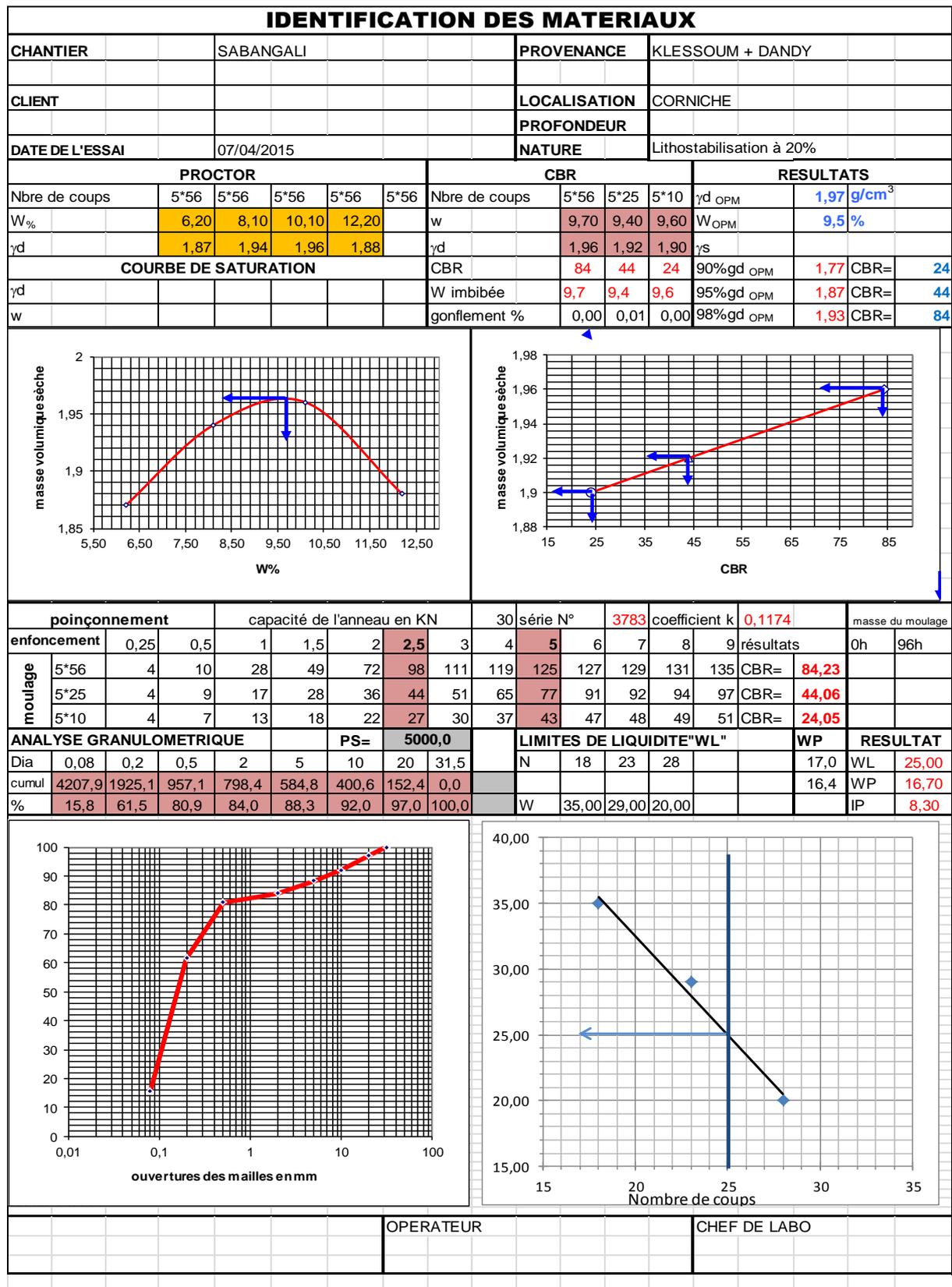


Figure 7 : essais de la litho à 20%

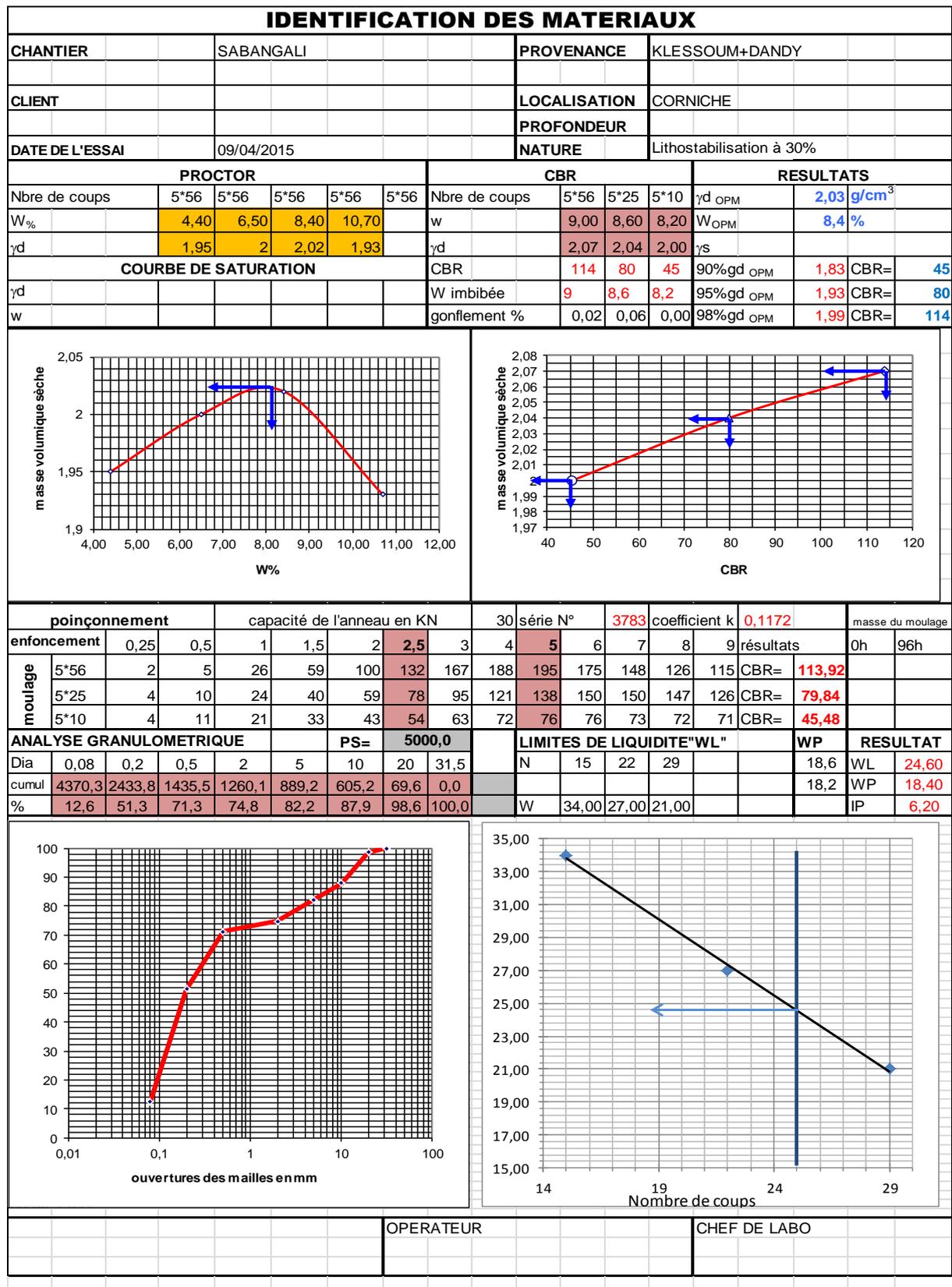


Figure 8 : essais de la litho à 30%

Entreprise	ESSAI DE DEFLEXION A LA POUTRE BENKELMAN				ICC		
CHANTIER			Sabangali				
COUCHE			fondation				
NATURE DES MATERIAUX			lithostabilisation				
ZONES DE TRAVAIL							
DATE							
PK	COTE GAUCHE		COTE DROITE		COTE AXE		Moyenne
	lecture 1	lecture 2	lecture 1	lecture 2	lecture 1	lecture 2	
0+000	51	102	49	98	46	92	97
0+100	46	92	38	76	42	84	84
0+200	43	86	32	64	46	92	81
0+300	39	78	39	78	41	82	79
0+400	31	62	42	84	45	90	79
0+500	45	90	41	82	42	84	85
0+600	42	84	40	80	46	92	85
0+700	39	78	42	84	41	82	81
0+800	42	84	41	82	39	78	81
0+900	45	90	45	90	35	70	83
1+000	41	82	41	82	36	72	79
1+100	48	96	42	84	34	68	83
1+200	42	84	43	86	39	78	83
1+300	39	78	41	82	42	84	81
1+400	37	74	39	78	39	78	77
1+500	33	66	45	90	41	82	79
1+600	43	86	42	84	37	74	81
1+700	52	104	43	86	41	82	91
1+800	47	94	42	84	43	86	88
1+900	42	84	41	82	41	82	83
2+000	53	106	45	90	42	84	93
2+100	46	92	47	94	38	76	87
2+200	45	90	46	92	35	70	84
2+300	39	78	42	84	36	72	78
2+400	42	84	48	96	37	74	85
2+500	36	72	49	98	42	84	85
2+600	37	74	50	100	45	90	88
2+700	51	102	49	98	41	82	94
2+800	50	100	46	92	45	90	94
2+900	49	98	48	96	47	94	96

Figure 9 : essais de déflexions

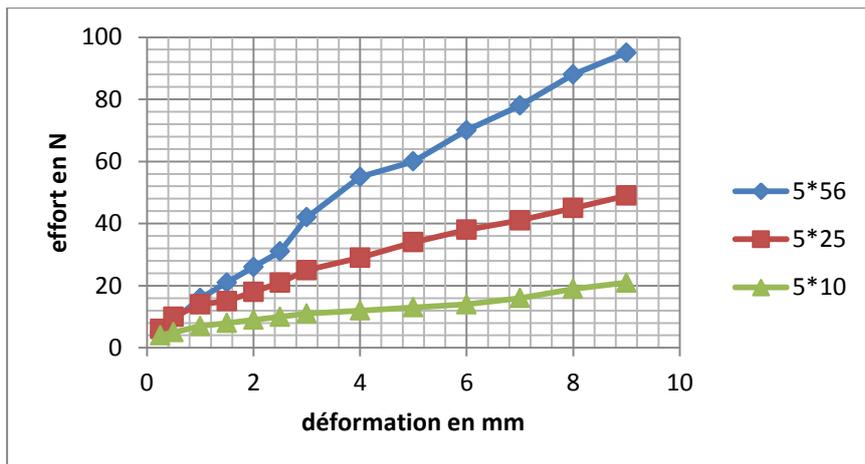


Figure 10 : courbe déformation-effort de l'échantillon N°1

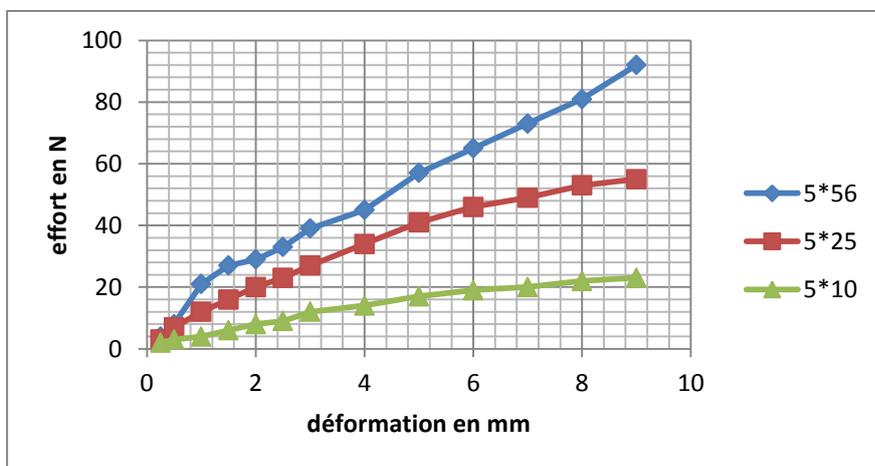


Figure 11 : courbe déformation- effort de l'échantillon N°2

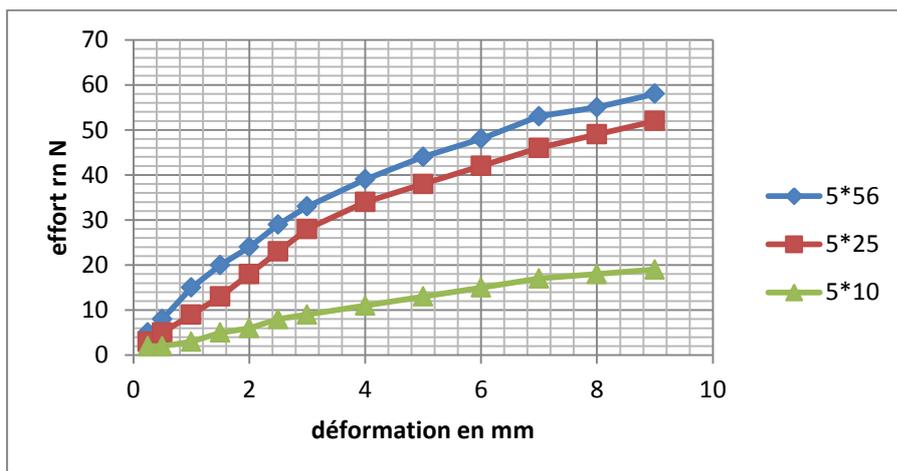


Figure 11 : courbe déformation –effort de l'échantillon N°3

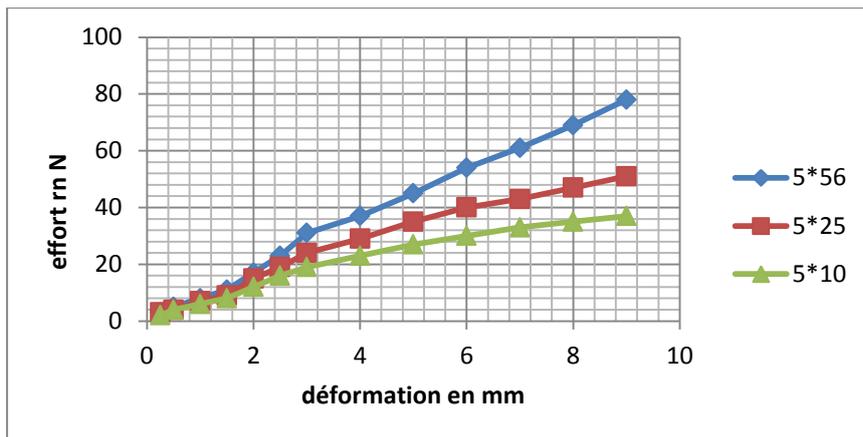


Figure 12 : courbe déformation- effort Sable de Klessoum

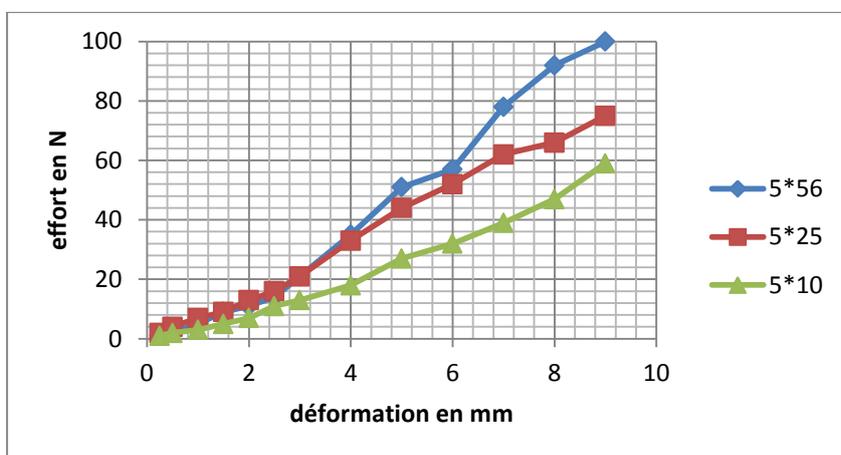


Figure 13 : courbe déformation –effort de la litho à 10%

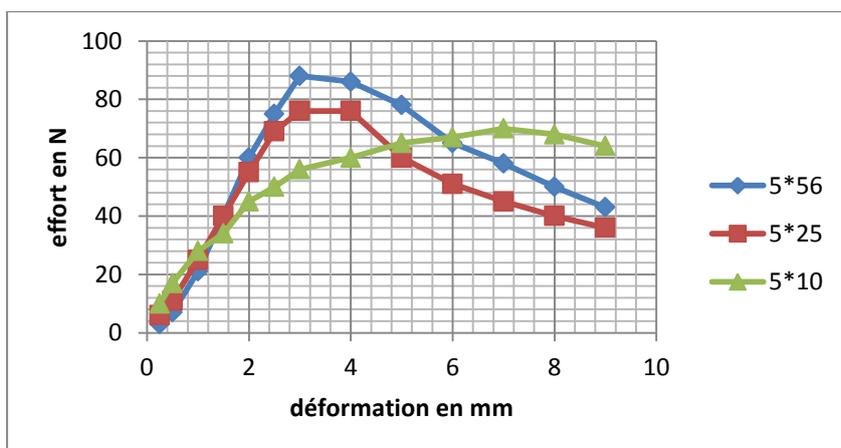


Figure 14 : courbe déformation –effort de la litho à 15%

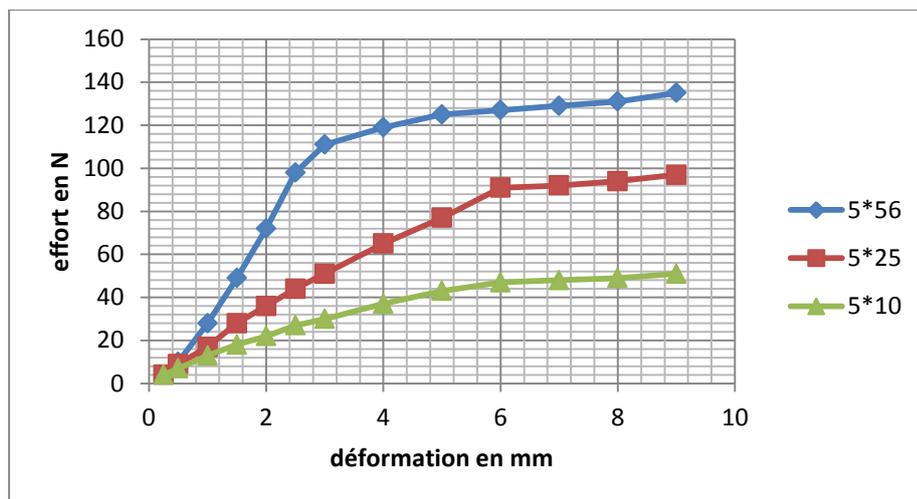


Figure 15 : courbe déformation – effort de la litho à 20%

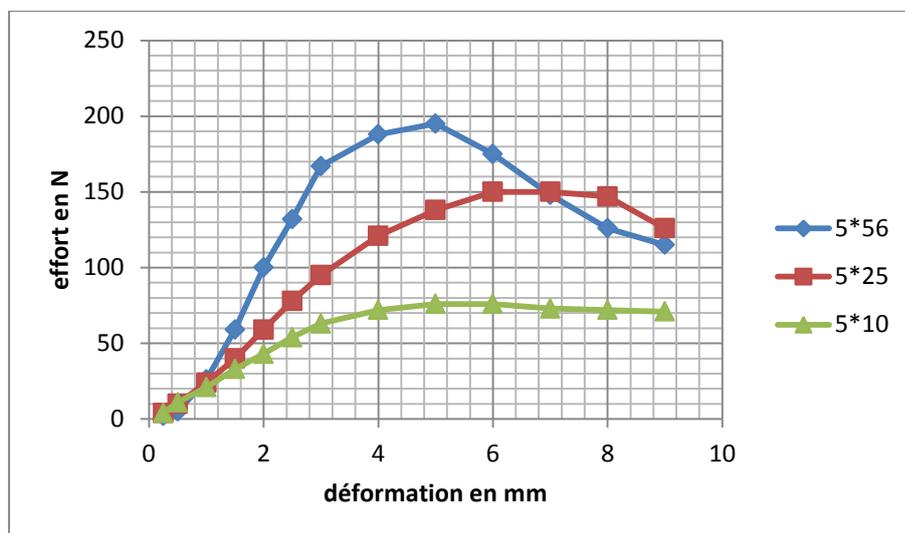


Figure 16 : courbe déformation – effort de la litho à 30%

Annexes 2 : Les photos de planches d'essais







Annexes 3 : La simulation de logiciel Alizé

Fichier Calculer Valeurs admissibles Bibliothèques Configurer Alizé Fenêtre ?

Titre : La lithostabilisation en couche de chaussée: Voirie Urbaine de Sabangali

Structure de base

	épais. (m)	module (MPa)	Nu	matériau type
collé	0,05	1300	0,35	bb
collé	0,2	675	0,35	autre
collé	0,3	225	0,35	autre
collé	infini	75	0,35	autre

Modifier la structure
 nb de couches : 4
 Ajouter 1 couche
 Supprimer 1 couche

Série de calculs
 nb de calculs : 1
 Voir/gérer les variantes

Niveaux de calcul
 Modifier les niveaux

Aide
 Nature des interfaces
 Epaisseurs mini-maxi

Calcul direct (charge réf.)
 Quitter Alizé

Trafic PL cumulé : données

<input checked="" type="checkbox"/> Moyenne journalière annuelle (MJA) :	60
<input checked="" type="checkbox"/> Taux accroissement géométrique (%) :	5
<input type="checkbox"/> Taux accroissement arithmétique (%) :	6,88
<input checked="" type="checkbox"/> Durée de service (années) :	20
<input type="checkbox"/> Trafic cumulé PL :	7,2414E+5

Cocher au plus 3 cases

Aide
 CAM : Guide Ipcp-sétra 94
 CAM : Catalogue 1998
 Risques : Guide Ipcp-sétra 94
 Risques : Catalogue 1998
 Structures catalogue 98

Valeurs admissibles : données

matériau type : gnt et sol
 coefficient CAM : 0,7

trafic cumulé NE : 5,0690E+5
 Coefficient A : 12000
 pente b : -0,222

Calculer EpsiZ admissible
 Calcul inverse NE = f(EpsiZ)

Bibliothèque des matériaux Imprimer Enregistrer

EpsilonZ admissible = 649,7 µdéf

Mémo ...
 3-EpsiZ= 649,7

effacer=dbl click
 Fermer

Trafic PL cumulé : données

<input checked="" type="checkbox"/> Moyenne journalière annuelle (MJA) :	60
<input checked="" type="checkbox"/> Taux accroissement géométrique (%) :	5
<input type="checkbox"/> Taux accroissement arithmétique (%) :	6,88
<input checked="" type="checkbox"/> Durée de service (années) :	20
<input type="checkbox"/> Trafic cumulé PL :	7,2414E+5

Cocher au plus 3 cases

Aide

CAM : Guide Icpc-sétra 94

CAM : Catalogue 1998

Risques : Guide Icpc-sétra 94

Risques : Catalogue 1998

Structures catalogue 98

Valeurs admissibles : données

matériau type :	bb	Téta equiv. (°C) :	30°C
coefficient CAM :	0,7	E10°10Hz (MPa) :	7200
risque (%) :	5,0	Etéq10Hz (MPa) :	1300
trafic cumulé NE :	5,0690E+5	Hstructurel MB (m) :	0,05
Epsilon6 (µdéf) :	100	écart type Sh (m) :	0,010
-1/b :	5	écart type SN :	0,250
		Kr (risque) :	0,815
		Kc (calage) :	1,1
		Ks (couche liée/pf1) :	1/1,2

EpsilonT admissible = 201,4 µdéf

Mémo ...
4-EpsiT= 201,4

effacer=dbl click

Fermer

Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur "bb"

La lithostabilisation en couche de chaussée: Voirie Urbaine de Sabangali

variante 1 : Durée=00:00sec

épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdéf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdéf)	SigmaZ (MPa)
0,050	1300,0	0,350	0,000	-83,9	0,039	-30,7	0,658
			0,050	-53,7	0,213	339,2	0,606
0,200	675,0	0,350	0,050	-53,7	0,128	608,3	0,606
			0,250	-282,3	-0,188	358,8	0,129
0,300	225,0	0,350	0,250	-282,3	-0,018	596,3	0,129
			0,550	-222,0	-0,052	319,7	0,038
infini	75,0	0,350	0,550	-222,0	-0,004	531,4	0,038

Grandeurs affichées

tableau 1 tableau 2
 tableau 3 tableau 4
 tableau 5 tableau 6
 tableau 7 tableau 8

Déflexion = 60,5 mm/100

entre-jumelage

Rdc = 148,5 m